



ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE VALORES MEDIDOS C80 EN AUDITORIOS

Referencia PACS: 43.55 Ka

Segura, Jaume³; Cerdá, Salvador¹; Montell, Radha²; Barba, Arturo²; Cibrián, Rosa⁴; Giménez, Alicia²

¹Departamento Matemática Aplicada, Univ. Politècnica de València, Camí de Vera s/n, Valencia –SPAIN
salcerjo@mat.upv.es

²E.T.S.I.Industriales., Univ. Politècnica de València, rala1@doctor.upv.es, radmonse@fiv.upv.es,
agimenez@fis.upv.es, arturo@arturobarba.com

³IRTIC - Universitat de València, C/Catedratic Dr José Beltrán, 2 - Paterna, SPAIN jsegura@uv.es

⁴Facultad de Medicina. Universitat de València, SPAIN 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 propose to study the distribution of sound in rooms using the technique of Krigin applied to experimental measurements of musical clarity (C_{80}). This has allowed us to get more values of this parameter throughout several rooms and we have compared the results with analytical models.

RESUMEN

Los requisitos de la ISO 3382 en la medida de salas no permiten un análisis profundo de la variabilidad de diferentes parámetros en una sala a partir de las medidas. En este trabajo, se propone el estudio de la distribución de sonido en las salas usando la técnica de Kriguin aplicada a la medida de la claridad musical (C_{80}). Esto nos ha permitido conseguir más valores de este parámetro en diversas salas y comparar los resultados con modelos analíticos.

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de estadística espacial permiten el estudio de la variación estadística de parámetros áreas limitadas. Estas técnicas fueron propuestas por R.A. Fisher en 1935, y desarrolladas por otros matemáticos e ingenieros como D.G. Krige (1951) [1] o G. Matheron (1962) [2], los cuales desarrollaron una técnica de predicción geoestadística llamada Kriguin. Esta técnica estadística ha sido aplicada a diferentes áreas, tales como la epidemiología, ecología, agricultura, meteorología, geología, oceanografía, etc. En el campo de la acústica, esta técnica ha sido aplicada en acústica ambiental para generar modelos semiempíricos y monitorizar la variación espacial de ruido ambiental [3].

El método de Kriguin se usa como una técnica para interpolación espacial de datos. Estos datos se componen de una serie de observaciones de variables de interés las cuales tienen cierta correlación espacial. Normalmente, el resultado del Kriguin es el valor esperado (promedio "Kriguin") y su varianza (varianza del "Kriguin") calculada para cada punto del área determinada. El promedio Kriguin en cada localización puede considerarse como el promedio del conjunto total de resultados condicionado a los datos. Por otra parte, la varianza Kriguin será la varianza del conjunto completo.

A fin de comparar con el modelo teórico, hemos usado el modelo de Barron [4][5]. Este modelo considera que la energía puede calcularse como el sonido directo, temprano y tardío. Así, el valor de la claridad (C80) usando el modelo de Barron viene dado por la expresión:

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

El método de Barron predice bastante bien este parámetro en una sala con un techo razonablemente difusor, cierta difusión en las paredes laterales, sin superficies cóncavas que produzcan focalizaciones, sin subdivisiones en espacios independientes, con espacios razonablemente proporcionados y sin recintos en forma de abanico. Una sala como esta puede ser considerada una sala razonablemente difusa [5]. De acuerdo con este modelo, la claridad en un auditorio viene dada en función del tiempo de reverberación, el volumen y la distancia fuente-receptor, como muestra la ecuación 1.

Por otra parte, Zamarreño & al. [6] mostraron que las relaciones energéticas no eran predichas correctamente en el caso de salas, como las iglesias, que tienen determinadas características especiales (con volúmenes acoplados, etc), por lo que en determinados casos, los valores determinados a partir del modelo de Barron estaban bastante separados de los datos experimentales. El modelo evolucionado que propusieron lo llamaron modelo μ y la de terminación del valor predicho de la claridad (C80) a partir de este modelo viene expresada en la ecuación 2.

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

La norma ISO 3382 [7] sugiere que el número de medidas a realizar en la sala depende del número de asientos y del volumen, por lo que para salas pequeñas este número es bajo. Si quisiéramos comparar medidas y modelos teóricos o computacionales, necesitaríamos un número mayor de medidas. Usando técnicas de estadística espacial, podemos obtener un número mayor de medidas interpoladas/extrapoladas y, por tanto, la comparación con los modelos teóricos puede hacerse más fácilmente.

En este trabajo proponemos la aplicación de esta técnica al estudio de la distribución del sonido en una sala. A partir de medidas experimentales, podemos obtener el Kriging correspondiente y esto nos permite obtener un gran número de valores y así podemos entender mejor cómo varía C80 con la distancia. En nuestro caso, utilizamos un mallado 12x12 para realizar el Kriging de las medidas. Los valores medidos han sido comparados con los obtenidos a partir del modelo de Barron [4][5] y del modelo μ [6].

2. METODOLOGÍA

La metodología experimental usada se ha realizado a partir de la medida de los valores de los parámetros determinantes en las salas consideradas basándonos en la norma ISO-3382 [7] y la IEC 60268 [8][9][10]. El equipo usado consistía en: un ordenador portátil con una tarjeta de sonido profesional (VxPocket v2), dos micrófonos GRAS Tipo 40 AK y los preamplificadores asociados y su alimentación correspondiente (GRAS Tipo 26AK y GRAS 12AA), una etapa amplificadora M-1000 y una fuente dodecaédrica DO12. Se utilizó el software WinMLS [11] para la captura y el análisis de las señales impulsivas. La respuesta impulsiva en cada sala fue obtenida mediante el uso de una señal *sweep* logarítmica sinusoidal. Todas las medidas fueron realizadas con las salas vacías y la fuente sonora situada en el centro del escenario.

En la tabla 1, se muestran las salas estudiadas y sus principales características.

Sala	Uso	# Asientos	# Medidas	V(m ³)	RT(s)
Salón de grados ETSII, UPV	Conferencias, congresos y recitales solistas	142	16	434	0.68
Paraninfo UPV	Conferencias, congresos y recitales solistas; Orquesta de cámara y coro	385	24	2700	1.3
Auditori Ribarroja	Teatro, ópera, danza y conciertos	783	39	7830	1.79

Tabla 1: Salas estudiadas

2.1 Método de Krigin.

Se han analizado los datos para la claridad musical en las tres salas y se han dispuesto espacialmente con las coordenadas correspondientes dentro de la sala donde fueron medidas. Si utilizamos la notación $Z(x)$ como C80, entonces el conjunto de datos puede expresarse como $\{Z(x), x \in D\}$, donde D son todas las localizaciones de medida en cada sala.

En este contexto, lo que pretendemos predecir es el valor del proceso $Z(x_0)$ en la localización x_0 , particularmente en el conjunto de validación. El registro de parámetros disponible contiene información del conjunto de covariables que pueden ejercer una influencia. Como resultado, se modela $Z(x)$ como la suma de una tendencia y una función de las covariables que influyen en el proceso que expresa la variación a gran escala más un error aleatorio que muestra la variación a pequeña escala.

$$Z(x) = \mu(x) + \delta(x) \quad (2)$$

donde $E[Z(x)] = \mu(x)$ y $\delta(x)$ son procesos estacionarios intrínsecamente Gaussianos con 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 realizados mediante el uso del paquete estadístico R [12] para ajustar los variogramas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 muestra los valores de C80 para las salas estudiadas comparadas con el modelo de Barron y el modelo μ . Para estos resultados, podemos establecer que:

- Sala de Grados de la ETSII: Esta es una sala pequeña y muy seca. Los valores de C80 están próximos a la curva de Barron. El ajuste de los valores de C80 medidos mediante el modelo μ , con una correlación $R=0,5948$.
- Paraninfo: Los valores medidos de C80 están dispersos y son mayores que los que predice el modelo de Barron. El ajuste de los valores de C80 medidos con el modelo μ no da una buena correlación.
- Auditorio de Ribarroja: Los valores experimentales de C80 están también dispersos muy por encima de la curva de C80 obtenida mediante el modelo de Barron, lo cual muestra a primera vista que posiblemente esta sala no siga los principios de este modelo. Por su parte, el modelo μ ajustado con estos valores tampoco da buena correlación.

En la siguiente tabla presentamos los valores de μ calculados a partir de su ajuste de C80 medidos.

	μ	V	L
Sala ETSII	0,0261	504	15,1
Paraninf	0,0234	2571	25
Audit. Ribarroja	$2,4902 \cdot 10^{-14}$	11704	38

Tabla 2: Valores de μ calculado en las diferentes salas

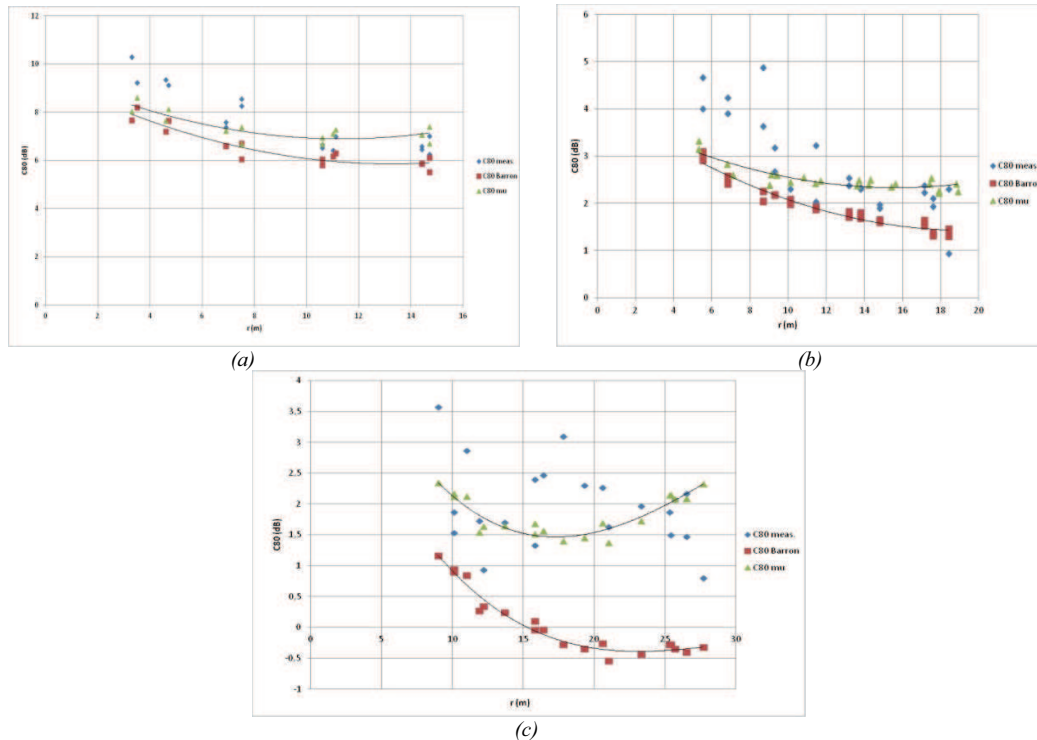


Figura 1: Comparación de valores de C80 medidos con los obtenidos mediante el modelo de Barron y el modelo μ . (a) Sala de Grados de la ETSII, (b) Paraninf and (c) Auditorio de Ribarroja

La aplicación del Krigin ordinario permite una mayor precisión en la obtención de la distribución espacial de parámetros en la sala. Teniendo en cuenta sus peculiaridades, hemos realizado la aplicación de esta técnica a las medidas de C80 a las tres salas rectangulares consideradas, con el fin de obtener sus valores en una malla 12x12. La figura 2 muestra estos valores calculados mediante esta técnica y comparados con los modelos analíticos de Barron y μ para las salas estudiadas.

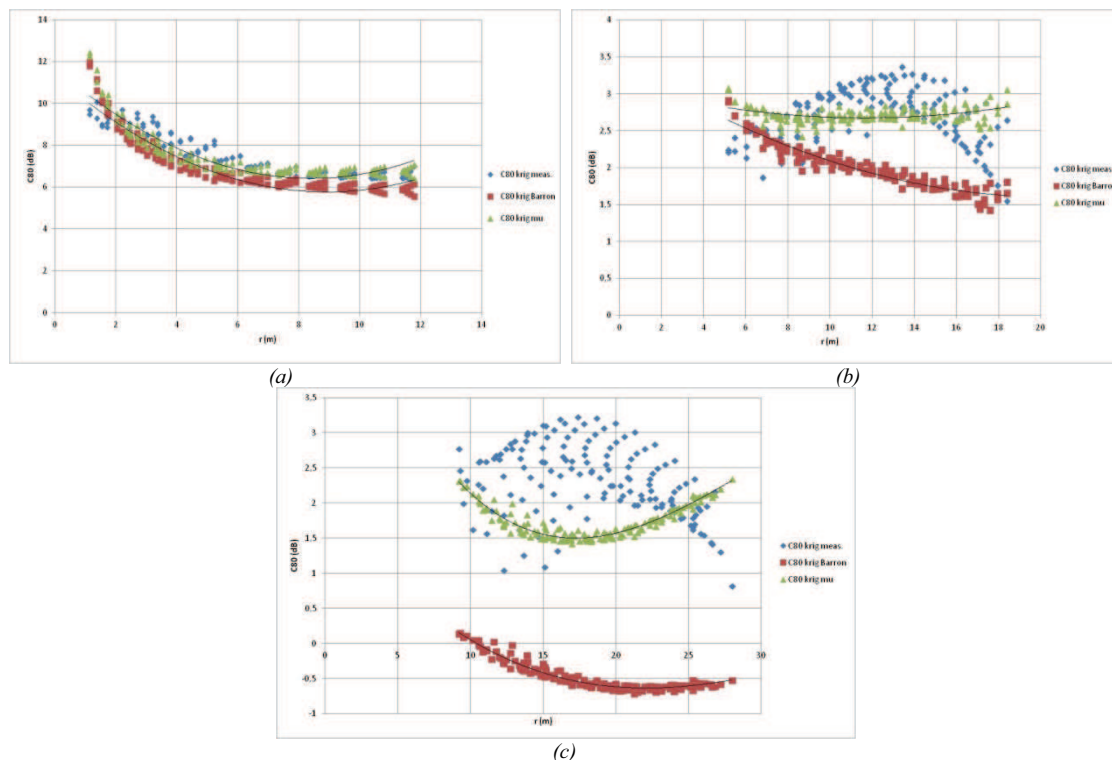


Figura 2: Comparación de valores de Krigin de C80 con los obtenidos mediante el modelo de Barron y el modelo μ . (a) Sala de Grados de la ETSII, (b) Paraninf and (c) Auditorio de Ribarroja

En la siguiente tabla presentamos los valores de μ calculados a partir de su ajuste de C80 medidos e interpolados mediante Krigin.

	μ	V	L
Sala ETSII	0,0274	504	15,1
Paraninf	0,0193	2571	25
Audit. Ribarroja	$4,1915 \cdot 10^{-15}$	11704	38

Tabla 3: Valores de μ calculado a partir de los valores de Krigin en las diferentes salas

A la vista de los resultados obtenidos mediante la técnica de Krigin, podemos decir que:

- Salón de grados de la ETSII: los resultados del Krigin confirman que es una sala seca y vemos que la distribución de C80 se ajusta bastante bien al modelo de Barron, aunque el ajuste del modelo μ a los valores experimentales es mucho mejor y produce menor error.
- Paraninfo: en esta sala, los valores calculados mediante Krigin están claramente dispersos por encima de los valores de la curva que perfila el modelo de Barron. El modelo μ vuelve a ajustar mejor estos valores produciendo menor error en la comparación con los valores experimentales. La distribución de valores experimentales muestra una clara curva negativa que no predice ni el modelo μ ni el de Barron.
- Auditorio de Ribarroja: en este caso, la distribución de valores de C80 están también esparcidos muy por encima de la curva de Barron. La curva de μ se ajusta mejor a los valores experimentales. La tendencia de la distribución de C80 tiene curva negativa (segunda derivada), como en el caso anterior, cosa que no predice ni el modelo μ ni en de Barron.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha hecho la aplicación del método de Krigin ordinario, basado en estadística espacial, a conjuntos de medidas en diferentes salas. Esta interpolación/extrapolación ha producido un mayor número de puntos de los que recomienda la ISO 3382. Esto nos permitirá comparar con resultados simulados.

A partir del análisis y comparación con otros modelos analíticos (en este caso el modelo μ y el de Barron), hemos observado diferencias entre la distribución de valores medidos y los predichos por estos modelos en salas de tipo rectangular. Aunque el modelo μ se ajusta mejor a los valores experimentales en ambos casos, las diferencias observadas indican que existen características adicionales que afectan al diseño acústico de salas, las cuales marcan la diferencia en los supuestos de estos modelos y tienen un impacto significativo en la claridad musical de la sala.

Con este método, pensamos que es posible identificar qué factores afectan a la distribución espacial de diferentes parámetros, por lo que nuestra intención es continuar trabajando en esta línea para encontrarlos.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por fondos FEDER y el Ministerio de Ciencia e Innovación Español, dentro del proyecto BIA2008-05485.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Krige D.G., "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. 1951
- [2] Matheron G., *Traite de Géostatistique Appliquée*. Éditions Technip, Paris, 1962

- [3] O. Baume, B. Gauvreau, M. Brengier, F. Junker, H. Wackernagel, and J.P. Chils, "Geostatistical modeling of sound propagation: Principles and a field application experiment". *J. Acoust. Soc. Am.*, 126 (6), pp. 2894-2904, 2009.
- [4] Barron M. "Bass sound in concert auditoria". *J. Acoust.Soc. Am.* 97(2), p.1088-1098, 1995.
- [5] Barron M, Lee L.J., "Energy relations in concert auditoriums I". *J Acoust Soc Am*, 84(2), p. 618-628, 1988.
- [6] Zamarreño T., Girón S., Galindo M., "Acoustic energy relations in Mudejar-Gothic churches". *J. Acoust.Soc. Am.* 121(1), p.234-250, 2007.
- [7] ISO 3382:1997(E), Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Second Edition, 1997-06-15
- [8] IEC 60268-3, Sound System Equipment –Part 3: Amplifiers – Third Edition. International Electrotechnical Commission.
- [9] IEC 60268-4, Sound System Equipment –Part 4: Microphones – Third Edition. International Electrotechnical Commission.
- [10] IEC 60268-5, Sound System Equipment –Part 5: Loudspeaker – Third Edition. International Electrotechnical Commission.
- [11] L. Morset, WinMLS 2004 user manual, Morset Sound Development, <http://www.winmls.com/>, 2004.
- [12] K. Hornik, The R statistical software. <http://cran.r-project.org>, 2011.