

HERRAMIENTA DE KRIGING PARA LA INTERPOLACIÓN ESPACIAL. A CASE STUDY.

PACS: 43.55.Cs

Machín, J.; Arana, M.; San Martín, R.; Arregui, A.;
Universidad Pública de Navarra. Departamento de Física.
Campus de Arrosadia. 31006. Pamplona. Spain
Tel.: 948 169568
Fax: 948 169565
E-mail: abel.arregui@unavarra.es

ABSTRACT

The Kriging's tool is a geostatistical estimator that is commonly used in areas such as topography and noise maps. It could also be used in room acoustics. Starting from a sample, it leads to predict outcomes in positions where no measurements are available. Several acoustic parameters have been measured at all seats (375) in the Auditorium of the Conservatory of Music of Navarre. By using the Kriging's tool from different samples, a comparison among predictions and experimental results is carried out in order to quantify the feasibility of the interpolation that is offered by this technique.

RESUMEN

La herramienta de Kriging es un estimador geoestadístico que se utiliza habitualmente en ámbitos como la topografía y los mapas de ruido. También puede utilizarse en acústica de salas. Partiendo de una muestra, permite predecir resultados en lugares en los que no se dispone de datos. Se han medido múltiples parámetros acústicos en todos los asientos (375) del Auditorio del Conservatorio Superior de Música de Navarra. Utilizando el método de Kriging para diferentes muestras, compararemos sus predicciones con los resultados experimentales, a fin de cuantificar la fiabilidad de la interpolación que esta técnica ofrece.

1. INTRODUCCIÓN.

La técnica de interpolación denominada "Kriging" se basa [1,2] en los trabajos elaborados por D.G. Krige en el campo de la geoestadística. Se basa fundamentalmente en utilizar una ponderación dependiente de la distancia al punto del que se quiere predecir su valor. Este

método de interpolación, utilizado habitualmente en otros campos, también se ha utilizado en alguna ocasión en el ámbito acústico, concretamente en la acústica de salas [3]. Por ello, el objetivo de esta comunicación es verificar la idoneidad de éste método que, adaptado a la acústica arquitectónica, estima los valores de parámetros acústicos en butacas que no han sido medidas, a partir de los datos de las que sí lo han sido.

Para estudiar el caso, disponemos de los valores de parámetros monoaurales y binaurales en la totalidad de las butacas (375) del auditorio del Conservatorio Superior de Música de Navarra. Los parámetros binaurales (IACC) y de eficiencia lateral (JLF) fueron medidos con una única posición de fuente impulsiva; en cambio, el resto de parámetros fueron medidos con tres posiciones de fuente.

En el análisis espacial de los datos tomados se encontró una gran variabilidad en los valores de algunos parámetros (C80, D50, Ts). Además, ésta se produce en distancias muy cortas, de modo que el valor de una butaca y la contigua pueden, en algunos casos, diferenciarse en varios jnd (just noticeable difference). Esta es una de las causas que nos hace plantearnos el tema de ésta comunicación, ya que la aplicación del método de interpolación debería estar sujeta de alguna forma a la variabilidad (desviación estándar) de los valores y al número de puntos medidos.

En el momento de realizar mediciones en una sala, la Norma ISO 3382 [4] dice explícitamente que deberían tomarse puntos de la audiencia que representen la totalidad del espacio y caractericen las zonas susceptibles de ser diferentes al resto. En principio puede parecer que una de las debilidades del método de interpolación es que se basa únicamente en las muestras tomadas, por lo que, a no ser que se caracterice exhaustivamente y como dice la Norma, la influencia de los elementos arquitectónicos como paredes, etc, (que modifican los valores de los parámetros acústicos en zonas concretas) sería enmascarada por el método de interpolación.

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Los dispositivos experimentales utilizados en las medidas fueron acordes con los requerimientos de la norma. Un PC Toshiba provisto de interface de audio Digidesign VX con software WinMLS 2004 Professional, amplificador Electro-Voice Q44-II (2x450W), altavoz dodecaédrico DO12, fuente de alimentación de ocho canales Norsonic tipo 335, micrófonos GRAS 40AC omnidireccionales, termómetro, higrómetro y cableado tipo LEMO con conectores SpeakOn. Como señal de excitación, se utilizaron sweeps de 20 s de duración.

El auditorio (Fig. 1) tiene un volumen de 4.414 m³ y capacidad para 375 personas. El área de audiencia se divide en dos partes, platea (273 asientos) y palcos (102 asientos). Ambas están separadas por un pasillo de 2 metros de ancho. Para las medidas, la fuente dodecaédrica se colocó en tres posiciones diferentes del escenario (Fig. 2) a una altura de 1.5 m. Los micrófonos se colocaron, en el centro de cada asiento, a altura de 1.2 m sobre el suelo.

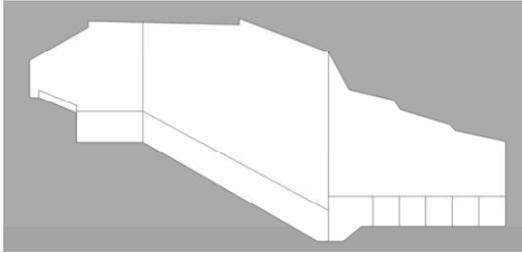


Fig. 1: Perfil e interior del auditorio.

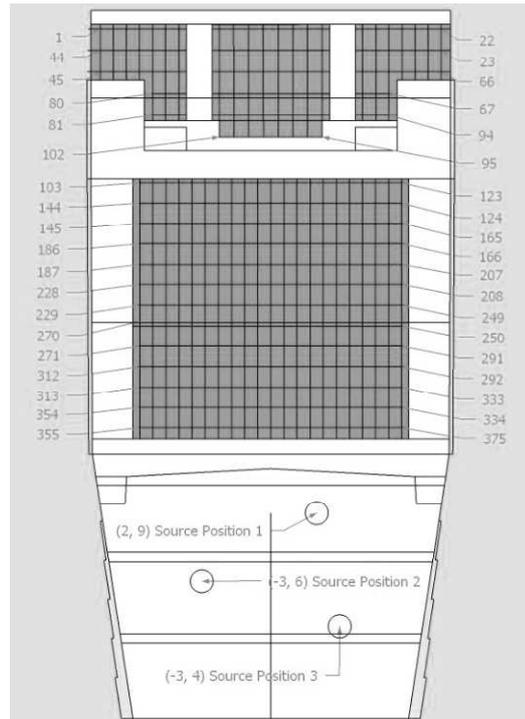


Fig. 2: Disposición de fuentes y receptores

3. RESULTADOS

3.1 Selección aleatoria.

Una vez se han obtenido los valores para todas las butacas, se procede a realizar la interpolación. Para realizar los cálculos, se divide la audiencia en 12 sectores (3 en el palco y 9 en la platea), de los cuales se elige una butaca aleatoria de cada uno de ellos. Los datos de éstas butacas los vamos a utilizar como datos de partida para la interpolación.

Los resultados obtenidos mediante la técnica de Kriging se comparan con los reales mediante el RMSE (Root Mean Square Error):

$$RMSE = \sqrt{\sum_i \frac{(x_{mi} - x_{ki})^2}{375}}$$

Donde:

x_{mi} = valor medido en la butaca i

x_{mk} = valor interpolado por kriging en la butaca i

$i = 1 \dots 375$

El RMSE para distintos parámetros se expresa en jnd en la tabla 1 y en la que podemos apreciar que la interpolación más fiable se obtiene en el para T30, para el cual el RMSE es de 0,22 jnd y en el plano espacial, ninguna de las butacas se diferencia de la interpolada en más de 1 jnd. Este es un resultado en parte esperado, debido a que en los datos obtenidos experimentalmente, el porcentaje de butacas con valores superiores a un jnd respecto a la media es también 0.

El parámetro con una interpolación menos ajustada (atendiendo al RMSE) es el EDT, con un RMSE de 0,72 jnd y un 18% de butacas en los que los valores interpolados se separan en más de 1 jnd respecto a las medidas realizadas (Tabla 1).

Tabla 1. RMSE en jnd y porcentaje de butacas que se diferencian en más de 1 jnd

RMSE en jnd (12 puntos aleatorios)										
Fuente	1_2		1_2_3							
Param	T30	% but> 1jnd	EDT	% but> 1jnd	C80	% but> 1jnd	D50	% but> 1jnd	Ts	% but> 1jnd
	0,22	0	0,72	18	0,46	3	0,63	12	0,41	1

En cuanto a la visión espacial de los resultados, la Fig. 3 representa el parámetro EDT_m . Se puede ver para cada una de las 3 imágenes de la figura la estructura de la sala: cada pequeño rectángulo corresponde a una butaca y se pueden apreciar las zonas de audiencia (la platea en la parte inferior y el palco en la superior, con los pasillos en color negro). En dicha figura, la parte correspondiente a las “Medidas experimentales”, las butacas elegidas como muestra se marcan con un punto. A partir de estos datos, se procede a hallar la “predicción por Kriging” (en el que también se hallan los valores correspondientes al pasillo, por simplificar la representación) y en la imagen “Diferencia en JND Medidas-Predicción” se muestra la resta (en jnd) de las anteriores mallas, junto al porcentaje de butacas que se encuentran en cada intervalo.

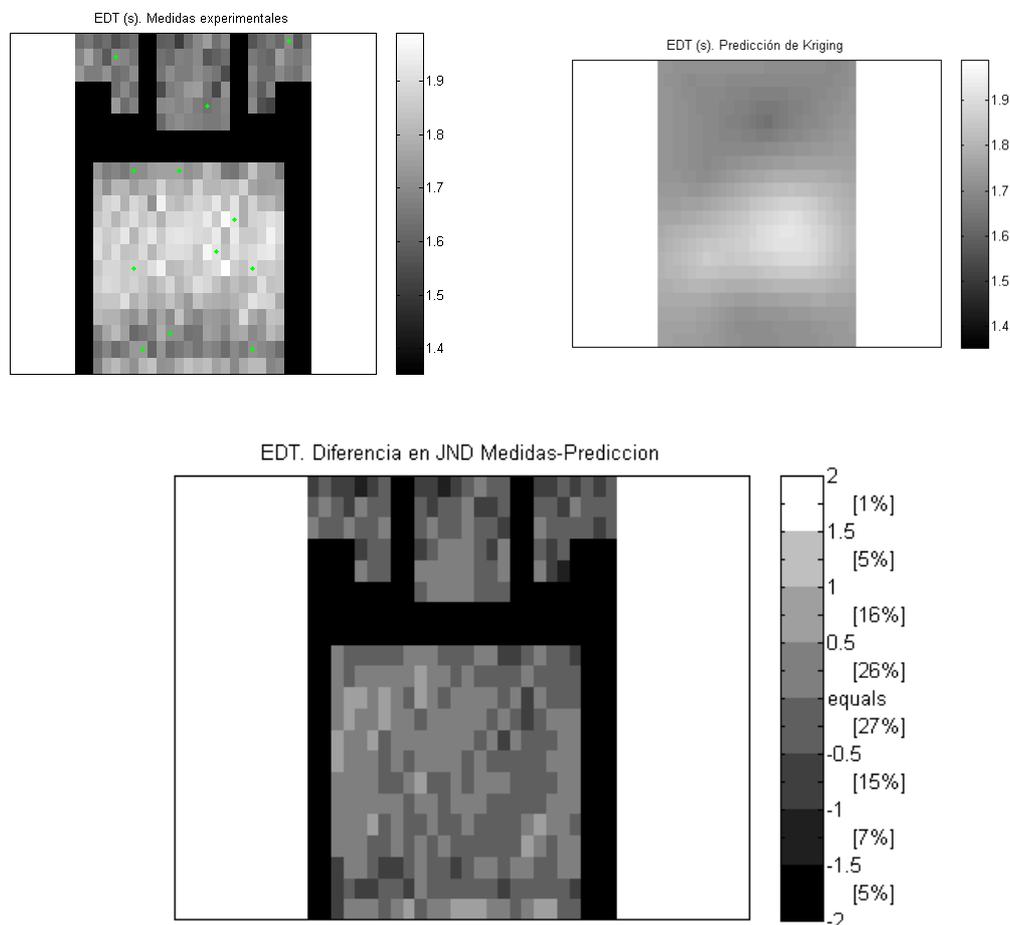


Figura 3. Vista espacial de los valores medidos, estimados y su diferencia.

Como se puede apreciar en la imagen inferior de la Figura 3, los puntos más negros y más blancos representan butacas con mayores diferencias. Estas representaciones cambian según las butacas escogidas aleatoriamente.

Evaluaremos a continuación la desviación estándar total, tanto de los resultados experimentales como de los predichos por la herramienta de Kriging. La Tabla 2 muestra tales resultados.

Tabla 2. Valor medio y desviación (predicha y experimental) para todo el local

		T30_m	EDT_m	C80_m	D50_m	Ts_m
Kriging	media	1,91	1,77	0,6	38	120
	desviación	0,01	0,07	0,5	4	6
Experimental	media	1,92	1,77	0,4	38	120
	desviación	0,02	0,10	0,8	6	8

Como podemos observar los resultados (a efectos de valorar las características acústicas del local en su conjunto) son, esencialmente, idénticos. Sin embargo, las desviaciones de la predicción son inferiores a las desviaciones reales (experimentales). Se puede decir que la técnica *suaviza* la varianza real. Este resultado es similar al que se obtiene cuando se utilizan programas de predicción basados en acústica geométrica (e.g. Odeon) en los que, a partir de un cierto orden de reflexión, se utilizan técnicas estadísticas para la distribución sonora del local en el recinto.

3.2 Influencia de la selección

Este mismo proceso, repetido 10 veces, da como resultado la Tabla 3. Cada vez han sido elegidas 12 butacas diferentes (una por cada sector), siguiendo los criterios antes mencionados. Podemos apreciar que los resultados promedio no cambian con respecto a lo visto anteriormente, siendo el parámetro T30 el mejor estimado y el EDT el peor.

El EDT es, sistemáticamente, según la selección de butacas, el de mayor valor de RMSE en promedio, así como el mayor valor en el porcentaje de butacas en las cuales la diferencia entre el valor real y el estimado supera 1 jnd. Dicho resultado es coherente con el análisis de los resultados experimentales de la totalidad de la audiencia, puesto que el parámetro EDT es el de mayor desviación estándar (Tabla 2).

RMSE en jnd (12 PUNTOS ALEATORIOS)										
Fuente	2_3		2_3_4							
Param	T30	% but > 1jnd	EDT	% but > 1jnd	C80	% but > 1jnd	D50	% but > 1jnd	Ts	% but > 1jnd
1	0,22	0	0,72	18	0,46	3	0,63	12	0,41	1
2	0,20	0	0,72	18	0,42	3	0,54	9	0,41	3
3	0,21	0	0,73	19	0,51	6	0,65	13	0,51	7
4	0,22	0	0,72	16	0,57	8	0,69	15	0,51	7
5	0,20	0	0,69	16	0,61	11	0,60	10	0,37	1
6	0,22	0	0,85	22	0,43	3	0,48	4	0,39	2
7	0,21	0	0,79	19	0,46	4	0,58	9	0,44	2
8	0,20	0	0,76	18	0,41	3	0,51	5	0,38	2
9	0,20	0	0,74	18	0,50	6	0,63	14	0,45	3
10	0,21	0	0,73	15	0,44	4	0,56	7	0,35	1
promedio	0,21	0,00	0,74	17,90	0,48	5,10	0,59	9,80	0,42	2,90
desv	0,01	0,00	0,05	1,97	0,07	2,69	0,07	3,74	0,06	2,28

Tabla 3. RMSE en jnd y porcentaje de butacas que se diferencian en más de 1 jnd, calculado a partir de 10 selecciones aleatorias

No obstante, hemos observado que la técnica de estimación de Kriging es muy sensible a valores puntuales extremos, lo que puede hacer que, al escoger *solamente* 12 butacas, una selección de éste tipo estime incorrectamente los valores de butacas cercanas.

El caso más desfavorable se obtiene en el parámetro EDT en la selección aleatoria número 6 (Figura 4), con un RMSE de 0,85 jnd y 22 % de butacas con una diferencia mayor de 1 jnd. Esta elección propicia que la interpolación en dicha zona sea especialmente poco acertada.

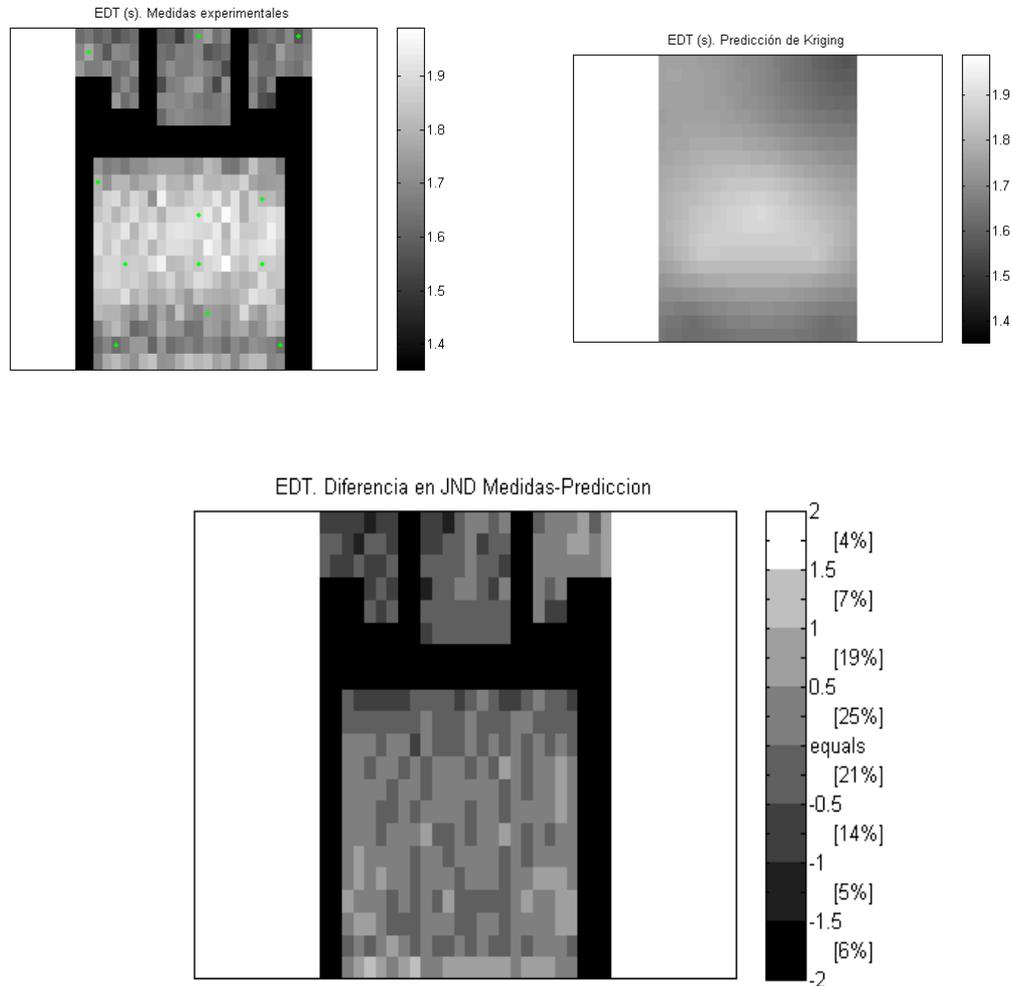


Figura 4. Vista espacial de los valores medidos, estimados y su diferencia.

Las predicciones de Kriging para el caso de una selección de 12 puntos de medida enmascaran una mayor variabilidad de los resultados, como vemos en las figuras 3 y 4. También se debe tener en cuenta que los datos utilizados son un promedio de 2 posiciones de fuente (para el T30) y de 3 posiciones de fuente (para el resto de parámetros). Además se están representando valores medios, lo que implica otro promediado en frecuencia. La desviación en una frecuencia concreta, para una posición de fuente, es mucho mayor, por lo que el valor del RMSE y el porcentaje de las butacas con valores-diferencia por encima de 1 jnd aumentan con respecto a los resultados mostrados.

CONCLUSIONES

La predicción de parámetros acústicos mediante el método de interpolación de Kriging disminuye la desviación estándar, en el global de la audiencia, comparada con la desviación de los resultados experimentales. El incremento del número de butacas para la muestra seleccionadas debería ser *razonablemente* alto para representar la variabilidad real del auditorio. Para el caso concreto a estudio, con una muestra de 12 posiciones de micrófono el método de interpolación de Kriging estima muy satisfactoriamente el parámetro T30. De hecho, en ninguna posición la predicción difiere más de 1 jnd respecto al resultado experimental. Cuando la variabilidad del parámetro es mayor (e.g. EDT) las predicciones no resultan tan precisas. En nuestro caso, en un 18% de las posiciones las predicciones difieren en más de 1 jnd de los resultados experimentales. Aunque la aleatoriedad de la selección presenta resultados muy similares, parece ser muy sensible a la elección de puntos próximos a superficies reflectantes (paredes). En resumen, la técnica de Kriging resulta apropiada para la evaluación *global* de la acústica de un recinto pero no para la predicción puntual del valor de los parámetros acústicos.

Referencias

- [1] Krige, D.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] Krige, D.G. (1966). "A study of gold and uranium distribution patterns in the Klerksdorp gold field". Geoplot 4 (1) , pp. 43-53.
- [3] Segura, J., Cerdá, S., Giménez, A., Montell, R., Barba, A., Cibrián, R. (2011). "Análisis mediante estadística espacial de la distribución de diversos parámetros de salas", Tecnicacústica 2011. Paper ASL 014. Cáceres. Spain
- [4] International Standard Organization (2009). ISO 3382-1:2009(E) Acoustics-Measurement of room acoustic parameters. Part1: Performance spaces.