

## *Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de Interpolación Espacial para la Modelación de Valores Residenciales*

Raúl Matos Flores, PhD(c)  
Director  
Departamento de Ciencias Geomáticas  
Universidad Politécnica de Puerto Rico  
ramatos@upr.edu

---

### **RESUMEN**

*El presente escrito muestra los resultados de una metodología que, utilizando técnicas de interpolación espacial, procedió a modelar los valores de ventas residenciales en la periferia de la alineación del Tren Urbano para el año 2003. Se tomaron datos de las listas de ventas para los últimos seis meses del año 2003 los cuales fueron georreferenciados utilizando la cartografía de la zona. El estudio incluye una comparación de las técnicas de interpolación espacial Análisis de Superficie de Tendencia (Spline), valores con ponderación por la distancia y Kriging simple. El estudio buscaba concluir cuál técnica muestra menor error al momento de ilustrar la distribución de valor residencial en la zona de estudio. Se concluyó que la técnica de Kriging Simple representa el menor grado de error de las técnicas utilizadas. Las pruebas se realizaron con el módulo Geostatistical Analyst para el programa de SIG ArcGIS 8.3*

### **1. INTRODUCCIÓN**

Una de las reglas más importantes de la Geografía plantea que “todo ésta relacionado a todo lo demás, pero las cosas más cercanas entre sí están más íntimamente relacionadas” (Tobler 1970)[1]. Esta relación que muestran los elementos ubicados en un espacio fundamenta la aplicación de técnicas de interpolación espacial, definida por Lam (1983)[2] de la siguiente manera:

“Dado un grupo de datos espaciales discretos, seleccionar la función que mejor represente los valores en una superficie y que prediga los valores en otras áreas o sub-áreas”<sup>1</sup>.

El problema principal que maneja la interpolación

espacial es la dificultad de conocer todos los valores de una variable que se manifiestan sobre una superficie. Basado en una muestra de valores, la interpolación espacial estima los valores para las zonas desconocidas.

Diversos autores han clasificado los métodos de interpolación de varias maneras. Uno de los ejemplos más citados en las referencias es el de Lam (1983)[2]. Ella clasifica los métodos de interpolación en dos grupos, los de puntos y los de área. Para efectos de este estudio las técnicas de interpolación se clasifican en dos grupos. El primer grupo reúne los métodos directos o técnicas exploratorias. Burrough (1998)[3] se refiere a éstas como “métodos determinísticos locales”. Son varias las técnicas que se encuentran en esta categoría. Para esta investigación sólo se considera la técnica de Medias Móviles con Ponderación por la Distancia (Inverse Distance Weighting - IDW) y el Análisis de Superficie de Tendencia (Spline). El segundo grupo reúne las técnicas predictivas o de segundo orden. A éstos se les conoce como métodos globales. Dentro de ésta se encuentra la técnica de Kriging.

#### **1.1 MÉTODOS DIRECTOS O TÉCNICAS EXPLORATORIAS**

Las técnicas agrupadas en este epígrafe permiten la creación de la superficie de valores basándose en el supuesto que la varianza local de las observaciones no se da de manera aleatoria. En otras palabras, las observaciones individuales predicen los valores en su periferia basándose en la alta correlación espacial que existe entre ellos. La intención principal de estas técnicas es mostrar cómo la media o el valor esperado

---

<sup>1</sup> Traducción personal.

de la variable cambia a lo largo del área de estudio.

Es importante indicar que estas técnicas no emplean el uso de modelos estadísticos para la determinación de autocorrelación de la variable a interpolar. Por esta razón estas técnicas se consideran de tipo exploratorio o de visualización.

### **1.1.1 Medias móviles con ponderación por la distancia**

La aplicación de la técnica de Medias Móviles con Ponderación por la Distancia (Inverse Distance Weighting en inglés) presupone que los puntos más cercanos a los puntos muestrales son los que cuentan con valores más parecidos a éstos. Siendo así, en la medida en que el punto no muestral se aleja del punto muestral hace que esta semejanza disminuya. Para establecer el valor de una zona no muestreada se trata de seleccionar en torno a ésta una serie de tipo muestral y se calcula la media aritmética de sus valores. Los valores son ponderados por un factor que es inversamente proporcional a la distancia entre cada punto muestral considerado y el punto no muestral del que se desea establecer el valor. La expresión formal de esta explicación se ilustra de la siguiente manera:

$$Z_i = \frac{\sum_j (Z_j \times W_{ij})}{\sum_j W_{ij}}$$

Donde:

- $Z_i$  es el valor estimado del punto no muestral  $i$
- $Z_j$  es el valor del punto muestral  $j$
- $W_{ij}$  es el factor de ponderación en función de la inversa de la distancia entre  $i$  y  $j$

Para establecer el factor de ponderación se calcula el inverso de la distancia entre  $i$  y  $j$ .

La técnica de Medias Móviles con Ponderación por la Distancia se presenta en Geostatistical Analyst con dos opciones, una de radio de búsqueda fija y otra con radio de búsqueda variable. Para la primera de ellas, el radio del círculo usado para buscar entradas de puntos es igual para cada celda interpolada. Para especificar una cantidad mínima se debe asegurar que dentro del radio fijo al menos un número mínimo de

puntos de entrada será usado en el cálculo de cada celda interpolada. Se puede utilizar un radio de búsqueda fijo si los puntos en la muestra de entrada son abundantes y se ubican de manera más uniforme, condiciones que no reúnen los datos utilizados en este estudio.

Con un radio variable, el operador introduce la cantidad de puntos que desea se utilicen para calcular el valor de la celda interpolada. Esto hace que el radio varíe de tamaño según reúna los puntos establecidos. Se debe especificar una distancia máxima para limitar el tamaño potencial del radio del círculo. Si el número de puntos requerido no se alcanza antes que la distancia máxima, la interpolación se realizará pero con los puntos encontrados. En este caso se utilizó un radio de búsqueda variable ya que los puntos en la muestra no se distribuyen de manera uniforme.

La utilización de un exponente (Power) más alto pone más énfasis sobre los puntos cercanos, creando una superficie que tiene más detalle, siendo ésta menos suavizada. Un exponente bajo tiene más influencia para rodear puntos de aquellas áreas más lejanas suavizando el resultado final. En este caso se estableció un poder de valor medio de 2. La selección de este número responde al acuerdo común entre diversos autores sobre procesos de interpolación con esta técnica (Johnston, 2001)[4]. Los resultados se pueden observar en la Figura 1.

### **1.1.2 Análisis de Superficie de Tendencia (Spline)**

La técnica del Análisis de Superficie de Tendencia (Spline) estima valores usando una función matemática que reduce al mínimo la curvatura de la superficial total, dando como resultado una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos muestreados. Hay dos métodos Spline: el regularizado y el de tensión.

El método regularizado crea una superficie suave, cuya pendiente cambia de manera gradual introduciendo valores que puedan estar fuera de la gama de datos. Por el contrario, el método de tensión sacrifica la gradación continua para adaptarse a los valores de los puntos de la muestra. Esto crea una

superficie lisa con valores estrechamente obligados por la gama de datos de la muestra.

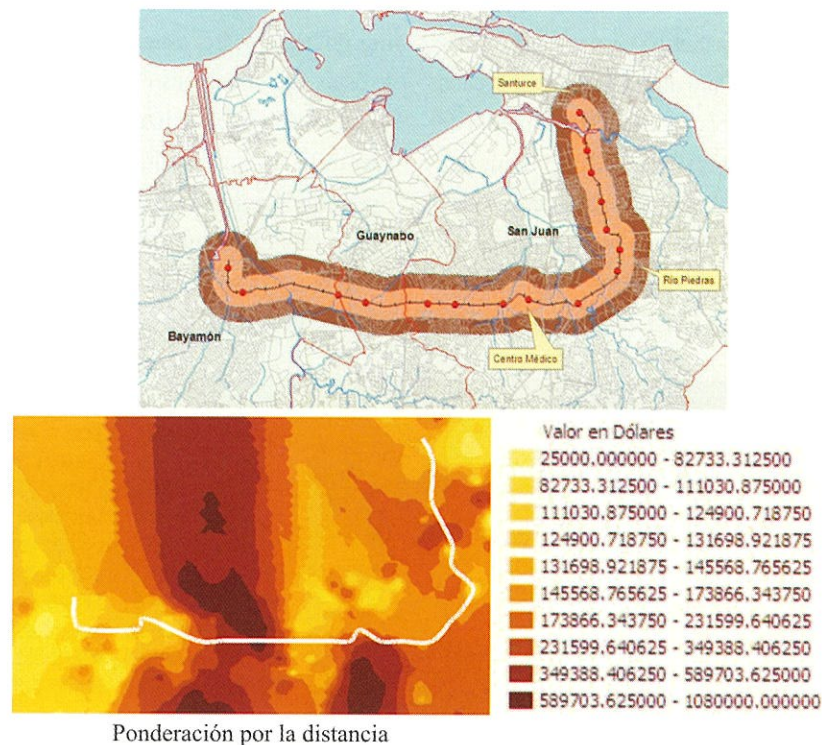
Para la aplicación de la técnica de Análisis de Superficie de Tendencia (Spline) regularizado en el Geostatistical Analyst se debe definir un “peso” que es el que expresa la minimización de curvatura de superficie a generar. Mientras más alto el peso, más lisa resultará la superficie. Los valores que participan en este parámetro deben ser iguales o mayores que cero. Los valores típicos que pueden ser usados son: 0; 0.001; 0.01; 0.1, y 0.5. Para el Análisis de Superficie de Tendencia con tensión, el “peso” define el peso de tensión. A mayor peso, la superficie gana suavidad. También en este caso los valores introducidos tienen que ser iguales o mayores que cero. Los valores típicos son 0; 1; 5; y 10. Por otro lado, el parámetro “Número de puntos” (Number of points) identifica la cantidad de puntos a utilizar en el cálculo de cada célula o píxel interpolado. Mientras más puntos de entrada especificados, mayor será la influencia de los puntos distantes y más suave será la superficie. Para la interpolación de los valores de ventas residenciales

se utilizó la técnica de Análisis de Superficie de Tendencia con tensión, se estableció un peso de 0.1, el número de puntos fue 8 y el tamaño de la celda resultante de 30 metros. Tras revisar una serie de estudios donde se utiliza esta técnica, éstos concluyen por separado que esos valores son los habituales en interpolaciones de este tipo. Los resultados se pueden observar en la Figura 2.

### 1.2 Modelos Predictivos

Estos métodos utilizan todos los datos disponibles para efectuar una estimación válida para toda la región de interés. Los métodos globales son utilizados más bien para examinar y eliminar posibles tendencias presentes en los datos más que para efectuar una interpolación. Una vez que los efectos globales han sido eliminados, los valores residuales de las variaciones globales son interpolados usando un método local.

Los modelos predictivos hacen uso intensivo de las geoestadísticas. Las estadísticas convencionales se fundamentan en variables aleatorias e



**Figura 1:** Mapa de zona de estudio y resultado de interpolación de valores con técnica de medias móviles con ponderación por la distancia

independientes que no asumen continuidad y no permiten la extensión de cada valor en un ambiente espacial. Esto significa que es teóricamente imposible estimar los valores individuales de puntos o celdas en un mapa. Bajo las estadísticas convencionales a todos estos valores se les asignaría el mismo valor promedio. Aquí estriba la importancia de las geoestadísticas para las ciencias espaciales. Éstas dependen de técnicas de interpolación para asignar valores a las zonas donde no existen datos.

Uno de los métodos más conocidos para la interpolación de valores dentro de la geoestadística es el Kriging. El Kriging se ejecuta en dos etapas: primero el cálculo del comportamiento de la superficie a interpolar (semivariograma); y en segundo lugar la interpolación con una de las técnicas de Kriging disponibles utilizando el semivariograma apropiado el cual expresa la conducta de la superficie.

El término Kriging proviene del ingeniero de minas sudafricano D. G. Krige. Como se ha dicho, el proceso comienza con el cálculo del semivariograma. Esto se realiza con una muestra de los valores a interpolar. Este proceso provee información básica sobre el cambio que ocurre en la varianza con respecto al incremento en la distancia. Para una distancia específica ( $h$ ), el semivariograma es el cuadrado del promedio de la diferencia entre los pares de valores ( $z$ ). Para una serie de valores desconocidos ( $h$ ) se calculan una serie de semivariogramas. Basado en estas funciones empíricas se selecciona el modelo que mejor permita el ajuste a la curva teórica. Existen muchos modelos

encontrándose entre éstos los esféricos, los exponenciales, los lineales y los gaussianos.

Es importante decidir si se deben considerar los efectos locales (efecto nugget) o las tendencias sistemáticas (drifts). Esto implica algún conocimiento sobre la distribución de los puntos y el tipo de superficie que representa.

Uno de los resultados más valiosos de la interpolación con Kriging es que no sólo se obtiene un mapa con la superficie interpolada sino que además se obtiene un mapa de errores de estimación. En el caso de muestras con muchos valores como puede ser la topografía de una zona, este mapa no es de mucha importancia, pero los casos donde cada valor muestral interesa para el cálculo final, ésta puede ser una buena guía para la identificación de zonas donde es necesario obtener más información.

Existen varias alternativas de Kriging, encontrándose entre éstas el ordinario, el universal y el simple. De una comparación preliminar de este estudio se encontró que el Kriging simple arrojaba los mejores resultados para los datos bajo estudio.

Una vez seleccionado el método simple la interpolación se llevó a cabo en dos fases. La primera de éstas fue el análisis exploratorio de los datos. En esta fase se busca analizar estadísticamente los datos a ser utilizados para la interpolación.

La aplicación de las técnicas de Kriging surte un mejor efecto cuando los datos cuentan con una distribución normal. Bajo esta condición la media y la mediana deben arrojar valores similares, el sesgo debe

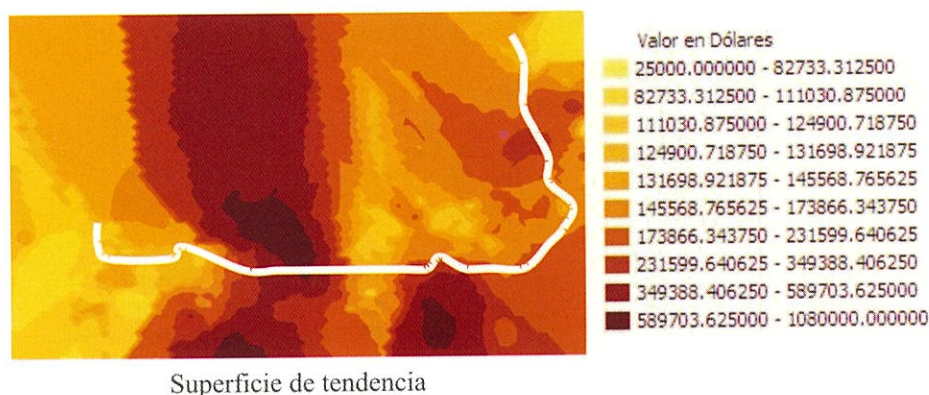


Figura 2: Interpolación valores técnica del Análisis de Superficie de Tendencia (Spline)

estar cerca de cero y la kurtosis con un valor cercano a tres (Johnston 2001)[4]. Al observar los histogramas generados con los datos para los períodos seleccionados se encontró que los mismos mostraban un sesgo positivo (Figura 3). Los valores de media y mediana son 226,500 y 145,000 respectivamente. El sesgo es 2.3204 y la kurtosis 7.8829. Éstos son valores muy lejanos de lo que se podría esperar como óptimo para utilizar la técnica de Kriging. Para corregir esta condición se le aplicó una transformación logarítmica a los datos (Ver Figura 4). De las alternativas de transformación de datos existentes la logarítmica es la ideal cuando los datos están sesgados de manera positiva.

Como segundo paso se procedió a estudiar el análisis estructural de los datos. Se busca medir la variabilidad espacial de los mismos. Se hace uso de

una serie de herramientas que permiten identificar esta condición destacándose el uso de semivariogramas experimentales.

El semivariograma<sup>2</sup> ayuda en la determinación de la correlación espacial que de la variable bajo análisis. Se puede definir ésta como la función matemática que mide la variabilidad (desemejanza) de una variable cuando sus valores se observan en puntos que están separados a una distancia concreta (Bosque 2000)[5]. Una vez definidos los puntos del semivariograma, es necesario ajustar éste a un modelo teórico. Los modelos básicos más usados se desarrollan construyendo matemáticamente una función aleatoria y calculando su semivariograma teóricamente. Para

<sup>2</sup> Los términos variograma y semivariograma se utilizan indistintamente para nombrar este proceso.

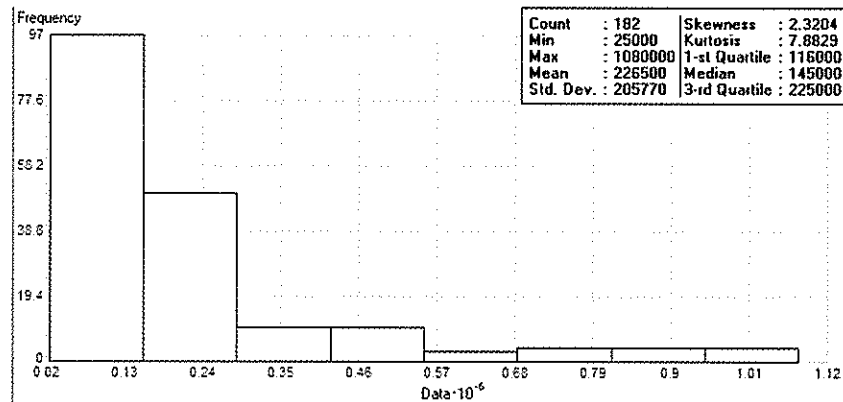


Figura 3: Histograma valores ventas

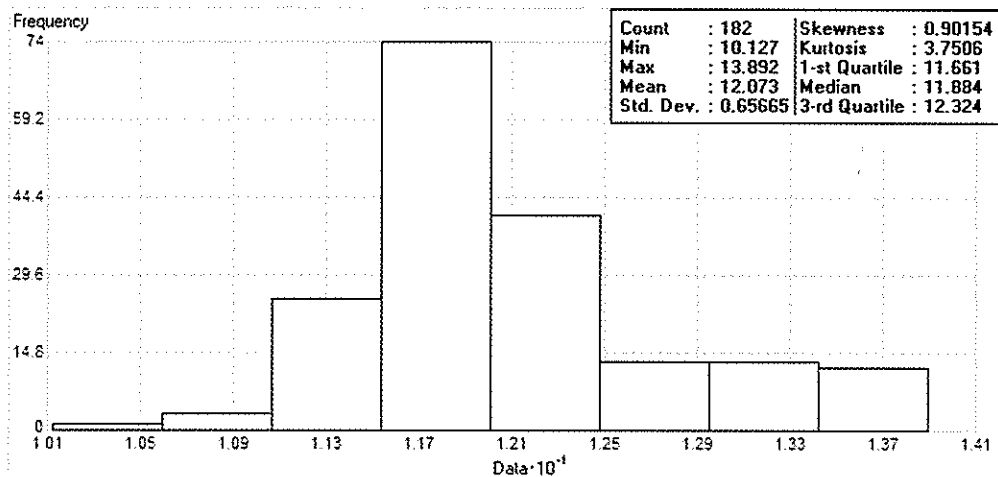


Figura 4: Histograma valores ajustados con conversión logarítmica.

los dos grupos de datos se calcularon varios semivariogramas encontrando que el mejor ajuste a los valores se obtenía utilizando el modelo esférico.

Otra técnica que ayuda en el análisis de la

Semivariograma Kriging simple

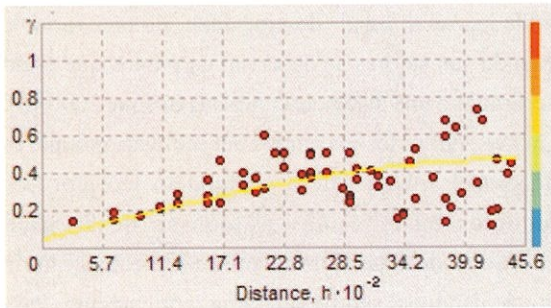


Figura 5: Semivariograma con modelo esférico calculado para Kriging simple

variabilidad espacial de los datos son los gráficos cuantile-cuantile (QQ Plots). Estas gráficas permiten comparar la distribución de cuantiles de dos grupos de datos. Esto permite establecer si las dos series de datos provienen de poblaciones con una misma distribución. Estas gráficas son parecidas a los gráficos

de probabilidad, la diferencia estriba en que los cuantiles para una de las muestras son sustituidos por los cuantiles de una distribución teórica.

Al observar el gráfico QQ para la zona de estudio (Figura 6) se puede apreciar el ajuste de los valores generados por el Kriging simple a la línea de los valores esperados. La gráfica muestra valores extremos tanto al principio como al final de la distribución. El Kriging simple posibilita el mejor manejo de estos valores extremos. Las otras alternativas de Kriging tendían a subestimar la predicción de valores. Los resultados del Kriging simple se pueden observar en la Figura 7.

## 2. ELECCIÓN MÉTODO INTERPOLACIÓN

Una vez generadas las interpolaciones se procedió a analizar las mismas para seleccionar la más adecuada para el estudio. Para ello, se calcularon una serie de estadísticas descriptivas con el objeto de observar la semejanza entre los valores originales y los que se predijeron. Se calculó además el Error Medio Cuadrático de cada uno de los procesos y se compararon éstos para seleccionar el más adecuado.

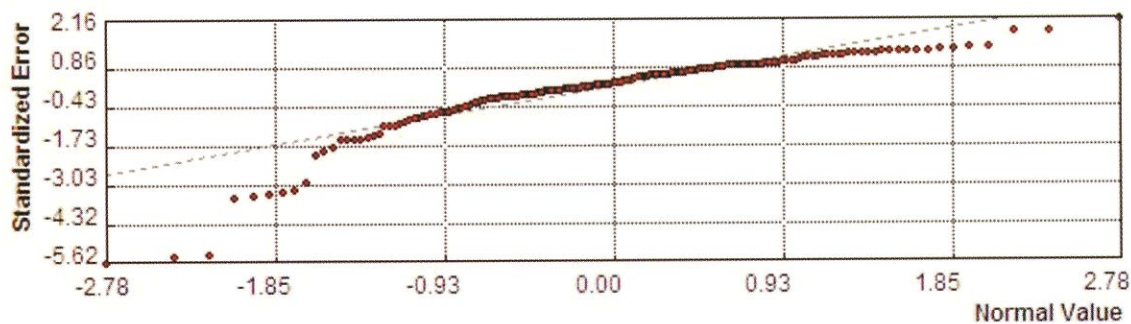


Figura 6: Gráficos Cuantile-cuantile para zona de estudio

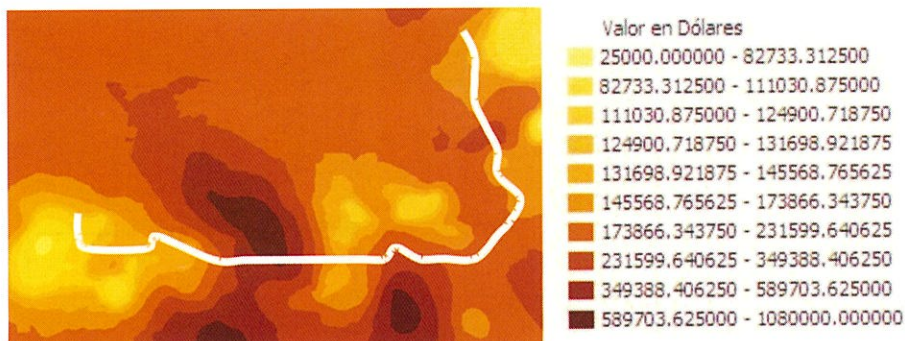


Figura 7: Resultados interpolación Kriging simple

Los resultados obtenidos para cada modelo se resumen en la Tabla 2.1

La Tabla 2.1 muestra los resultados de los cálculos estadísticos descriptivos para los valores de ventas residenciales. Se puede reconocer que todas las técnicas utilizadas subestimaron el valor mínimo de las residencias. El caso más significativo fue el de las Medias Móviles con Ponderación por la Distancia. Ésta subestimó el mínimo por 23,223 dólares. El menos marcado fue el Kriging ordinario con 7,235 dólares. El valor máximo también se subestimó en todos los modelos. El menos marcado fue la técnica de Medias Móviles con Ponderación a la Distancia con una diferencia de 163,156 dólares.

Con respecto a la Media la interpolación con Kriging ordinario arrojó el valor más parecido a los datos originales. Por otro lado, el valor más cercano a la Mediana lo mostró la técnica de Medias Móviles con Ponderación por la Distancia. La desviación estándar más parecida a la de los datos originales la calculó la técnica de las Medias Móviles con

Ponderación por la Distancia. La técnica de Kriging simple es la que muestra el menor Error Medio Cuadrático.

Isaaks y Srivastava (1989)[6] plantean que en el caso de tener que comparar varias técnicas para seleccionar una de ellas las medidas estadísticas a observar deben ser la Media y el Error Medio Cuadrático. La técnica de Kriging simple muestra el Error Medio Cuadrático más bajo. En cuanto a la Media, la técnica de Kriging simple muestra el valor más parecido al de los valores de la muestra. Se podría entender que tratándose de valores discretos la técnica de Medias Móviles con Ponderación por la Distancia y la de Análisis de Superficie de Tendencia mostraría los mejores resultados. En algunos datos estadísticos se puede observar el desempeño superior de la técnica de Medias Móviles con Ponderación por la Distancia. Sin embargo, en los dos valores más importantes no es así. Por otro lado, las técnicas Kriging resultan ser mejores para datos continuos cuyos valores de muestra se toman de manera sistemática. En este caso

*Tabla 2.1: Ventas residenciales 2003*

<b>Año</b>	<b>No. Total Ventas</b>	<b>Precio Mediano</b>	<b>Precio Promedio</b>	<b>Precio Máximo</b>	<b>Precio/p.c.</b>
<b>1996</b>	288	\$75,000.00	\$90,729.00	\$292,000.00	\$78.47
<b>1997</b>	313	\$76,000.00	\$87,429.00	\$289,000.00	\$77.88
<b>1998</b>	249	\$85,000.00	\$98,025.00	\$300,000.00	\$83.54
<b>1999</b>	344	\$98,000.00	\$115,747.00	\$324,000.00	\$94.39
<b>2000</b>	484	\$98,000.00	\$117,433.00	\$348,000.00	\$97.28
<b>2001</b>	494	\$110,000.00	\$130,653.00	\$350,000.00	\$101.00
<b>2002</b>	586	\$120,000.00	\$157,834.00	\$854,000.00	\$112.64
<b>2003</b>	816	\$131,000.00	\$168,739.00	\$647,000.00	\$112.85
<b>2004</b>	1115	\$135,000.00	\$179,162.00	\$726,600.00	\$115.89
<b>2005</b>	1282	\$148,900.00	\$195,758.00	\$726,400.00	\$123.28
<b>2006</b>	366	\$150,000.00	\$221,840.00	\$820,000.00	\$137.18

las condiciones de los datos son todo lo contrario a lo sugerido como condiciones óptimas para utilizar técnicas Kriging, sin embargo éstas mostraron el Error Medio Cuadrático (EMC) más bajo. Resulta interesante este hecho y merecería una investigación más profunda en el futuro.

En los datos existe un valor de venta de 25,000 dólares. Este valor resulta ser extremo para la distribución. Se puede asumir que para los resultados del 2003 es este valor extremo es el que afecta las técnicas de ponderación por la distancia y Análisis de Superficie de Tendencia. Estas técnicas suelen ser vulnerables a condiciones como éstas. Ese resultado se trató de evitar en el caso de la técnica de Análisis de Superficie de Tendencia al aplicarla con el método de tensión. Y por esto su EMC es parecido al de la técnica Kriging. Dados estos resultados se seleccionó la interpolación realizada con la técnica Kriging simple.

### 3. COMENTARIO FINAL

De los resultados observados se concluye que la técnica de interpolación Kriging simple presenta menos errores en la representación de los valores de ventas residenciales. Ese resultado es basado en el tipo de dato y la muestra tomada para este caso. Con otra muestra el resultado pudo ser diferente. Se concluye que las técnicas de interpolación a seleccionar pueden variar con el tipo de dato que se desea representar. Existe una serie de observaciones que se deben tomar en consideración en el futuro para investigaciones similares.

Los procesos de interpolación tomaron como base las ventas realizadas en la zona de estudio. Varios autores citados plantean que en el proceso de Kriging la cercanía entre las muestras puede afectar el desempeño final de la interpolación. En el futuro se podría experimentar sólo con una muestra de los valores o identificar un valor muestral por cada una de las urbanizaciones de la zona.

Se debe considerar en el futuro la inclusión de datos sobre ventas comerciales y de otros tipos. De esta forma se podría estar generando un mapa con valores del suelo.

Se debe contemplar la utilización de ventas en todo el territorio municipal de manera que se puedan comparar los valores a distancias mayores.

Considerar otras variables como pueden ser el área de ocupación y la edad de la residencia al establecer un valor para la propiedad.

### REFERENCIAS

[1] Tobler, W., (1970) "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region," *Economic Geography*, Volumen 46 (2): 234- 240

[2] Lam N. S., (1983) *Spatial Interpolation Methods: A Review*, *The American Cartographer*, Volumen 10 (2), Pag. 129-149

[3] Burrough, P. A., McDonnell, R. A., (1998) *Principles of Geographical Information Systems., Spatial Information Systems and Geostatistics*: New York, Oxford University Press Inc.

[4] Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., Lucas, N., (2001) *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*, Redlands: ESRI Press

[5] Bosque, J., (2000) *Sistemas de Información Geográfica*, RIALP: Madrid

[6] Isaaks, E.H., y Srivastava, R.M. (1989) *An Introduction to Applied Geostatistics*. Nueva York: Oxford University Press.

### BIBLIOGRAFIA

• Alonso, W., (1964) *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*, Harvard University Press: Cambridge

• Armstrong, R. J., (1994) *Impacts of Commuter Rail Services as Reflected in Single Family Residential Property Values*, *Transportation Research Record* (No. 1466), 88



- Benjamin John D., Sirmans G. S., (1996) *Mass Transportation, Apartment Rent and Property Values*, The Journal of Real Estate Research, Volumen 12, 1
- Bible, F. A., Cheng-Ho., (1996) *Applications of Geographic Information Systems for the Analysis of Apartment Rents*. The Journal of Real Estate Research. Volumen 12 (1), Páginas 79 – 88
- Can, A. (1998) *GIS and Spatial Analysis of Housing and Mortgage Markets*. Journal of Housing Research, Volumen 9 (1), Páginas 61 – 86
- Castle, C., (1998) *GIS in Real Estate: Integrating, Analyzing and presenting Locational Information*. Cambridge: Appraisal Institute
- Cervero, R. (1995) *Land Market Impacts of Urban Rail Transit and Joint Development: An Empirical Study of Rail Transit in Washington, D.C. and Atlanta*. (UCTC no. 135), California: The University of California Transportation Center
- Christaller, W., (1966) *Central Places In Southern Germany*, New Jersey: Prentice Hall
- Dubois, G., Malczewski, J., De Cort, M., (2003) *Mapping Radioactivity in the Environment: Spatial Interpolation Comparison 97*, Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre of the European Commission
- Forenbrock, D. J., Benshoff, S. y Weisbrod G., (2001) *Assessing the Social and Economic Effects of Transportation Projects*. (NCHRP Web Document 31 (Project B25-19), National Cooperative Highway Research Program of the Transportation Research Board
- Gatzlaff, Dean H y Smith, Marc T, (1993) *The Impact of Miami Metrorail on the Value of Residences Near Station Locations*, Land Economics, 69,1
- Giuliano, G., (1989) *New Directions for Understanding Transportation and Land Use*. (UCTC 2), California: The University of California Transportation Center
- Gloudemans, Robert J. (2002) *An Empirical Analysis of the Incidence of Location on Land and Building Values*, Lincoln Institute of Land Policy Working Paper
- Haggett, P., (1967) *Locational Analysis in Human Geography*. London: Edward Arnold LTD
- Heikkila, E. J., (2000) *The Economics of Planning*. New Jersey: Center for Urban Policy Research
- Hughes, W. T., (1992) *Traffic Externalities and Single-Family House Prices*. Journal of Regional Science, Volumen 32, Páginas. 487–500
- Isard, W., *Location and Space Economy: A General Theory Relating to Industrial Location, Market Areas, Land Use, Trade and Urban Structure*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1956
- Johnston, R. A., (1995) *The Evaluation of Transportation and Land Use Plans Using Linked Economic and GIS Models*. (UCTC No. 268), California: The University of California Transportation Center
- Koutsopoulos, K.C., (1977) *The Impact of Mass Transit on Residential Property Values*, Annals of the Association of American Geographers, Volumen 67,4
- Kravchenko, A., Bullock, D. G., (1999) *A Comparative Study of Interpolation Methods for Mapping Soil Properties*. Agronomy Journal, Volumen 91, Mayo-Junio
- Lake, I. R., Lovett, Andrew A., Bateman, Ian J., Day, Betty. (2000) *Using GIS and large-scale digital data*

- to implement hedonic pricing studies. *International Journal of Geographical Information Science*, Volumen 14 (No. 6), Páginas 521 – 541
- Landis, J., (1995) *Rail Transit Investments, Real Estate Values and Land Use Change: A comparative analysis of five California Rail Transit Systems*. (UCTC no. 285), The University of California Transportation Center: California
  - Lewis-Workman, S. y Daniel Brod. (1997) *Measuring the Neighborhood Benefits of Rail Transit Accessibility*. *Transportation Research Record*, 1576, Páginas . 147-153
  - Li, L., Revesz, P., (2003) *Interpolation Methods for Spatio-temporal Geographic Data*, *Computers, Environment and Urban Systems*, 27
  - Longley, P. (Editor). (1996) *Spatial Analysis: Modeling in a GIS Environment*. London: Geoinformation International
  - Malczewski, J., (1999) *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons
  - Matos, R. (2002) "Rail Transit Systems and Land Value: Modeling the Immediate Effects of San Juan Metropolitan Area Tren Urbano Project on Residential Land Value" Universidad de Huddersfield, Inglaterra
  - Peterson, K., (1998) *Development of Spatial Decision Support Systems for Residential Real Estate*. *Journal of Housing Research*, Volumen 9 (1), Páginas 135 – 156
  - Rigaux, P., (2002) *Spatial Databases: With Applications to GIS*. California: Morgan Kauffman Publishers
  - Rodriguez, F.A., Sirmans, C. F., Marks, Allen P., (1995) *Using Geographic Information Systems to Improve Real Estate Analysis*, *The Journal of Real Estate Research*, Volumen 10 (2), Páginas 163 – 173
  - Siska, P. P., Hung, I., (2001) *Assessment of Kriging Accuracy in the GIS Environment*, The 21st Annual ESRI International User Conference, San Diego
  - Stuart Chapin, F., (1985) *Urban Land Use Planning*. Chicago: University of Illinois Press
  - *The Appraisal of Real Estate.*, Chicago: The Appraisal Institute, 1999
  - Thrall, G. I., (1998) *GIS Applications in Real Estate and Related Industries*. *Journal of Housing Research*, Volumen 9 (1), 33-59
  - Von Thunen, J. H., (1875) *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, 3rd ed., Berlin (traducción al inglés)
  - Tobler W., *Geographical Interpolation*, CSISS Summer Institute, 2001, [http://www.geog.ucsb.edu/~tobler/presentations/shows/Pycno\\_files/v3\\_document.htm](http://www.geog.ucsb.edu/~tobler/presentations/shows/Pycno_files/v3_document.htm) Consultado el 24 de febrero del 2004
  - Wackernagel, H., (1995) *Multivariate Geostatistics. An Introduction with Applications*. Berlin: Springer Verlag
  - Weinberger, R. R., (2000) *Commercial Rents and Transportation Improvements: Case of Santa Clara County's Light Rail*. (WP00RW2), Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy
  - Zeiler, M., (2000) *Modeling Our World*. California: ESRI Press