**Modernización en la valuación fiscal de los bienes raíces. Aplicación a la valuación fiscal en la ciudad de San Francisco (Córdoba) mediante algoritmos de aprendizaje automático teniendo en cuenta estructura espacial.**

Salomón, M.[[1]](#footnote-1); Carranza, J.P.[[2]](#footnote-2); Monzani, F.[[3]](#footnote-3); Córdoba, M.[[4]](#footnote-4); Montenegro, G.[[5]](#footnote-5); Piumetto, M.[[6]](#footnote-6)

**Introducción.**

Estudiar el valor del suelo es clave para el mejoramiento de la administración pública desde diversos frentes. No solo en aspectos fiscales vinculados a la capacidad de recaudación de los Estados locales, sino principalmente por aspectos referidos a la inequidad horizontal y vertical que se genera cuando la dinámica de crecimiento de las ciudades deja obsoletas las valuaciones fiscales vigentes. Además, la recuperación de la capacidad recaudatoria del impuesto a los bienes inmuebles brinda incentivos a la reducción de la presión fiscal vinculada a la imposición, mucho más distorsiva y regresiva, de la actividad económica.

En las últimas décadas, de la mano del avance tecnológico, la generación de grandes volúmenes de información y los progresos asociados a las ciencias de la computación, se han ido desarrollando cada vez más métodos de valuación masiva para el estudio de los bienes raíces que, en esencia, consisten en una valuación sistemática de un conjunto de inmuebles mediante metodologías sustancialmente diferentes al esfuerzo detallado de valuar una sola propiedad. Estos procedimientos de valuación masiva generalmente se llevan a cabo a través de técnicas estadísticas clásicas tales como regresión lineal múltiple, regresión lineal con pesos espaciales, geoestadística, o más recientemente mediante algoritmos relacionados con sistemas de aprendizaje automático como arboles de decisión, k-vecinos cercanos o redes neuronales.

A los fines de lograr conocer el valor unitario de la tierra (VUT) en las ciudades, se han aplicado diferentes enfoques metodológicos que, a grandes rasgos, se pueden agrupar en los siguientes (Borrero Ochoa, 2007):

* Método Comparativo – Relativo-: Principalmente utilizado por los catastros, consiste en la comparación de las valuaciones de inmuebles cercanos o de similares características respecto a una vivienda tipo, ajustando las mismas a través del uso de un conjunto de coeficientes.
* Método de la Renta: se basa en el cálculo esperado de las rentas futuras de un inmueble expresadas en valor presente, mediante el uso de una tasa de descuento. A diferencia de otros métodos, tiene en cuenta el tiempo. Frecuentemente utilizado en inmuebles no residenciales.
* Método de Valuación Masiva: mediante el uso de un conjunto de técnicas estadísticas, se interpolan precios de mercado de los inmuebles, en algunos casos, acompañados también de otras variables que revisten cierta relevancia para la estimación. Según Buitrago (2012), los métodos de predicción más utilizados son: redes neuronales, análisis de multinivel, coeficientes de variación espacial, regresiones con pesos espaciales, métodos geoestadísiticos, entre otros. Algunas de estas técnicas incorporan la información espacial en el análisis, otras las relaciones no lineales.

La práctica de valuación masiva mediante modelos lineales toma de la Ciencia Económica la idea de precios hedónicos, basados en la doctrina del utilitarismo de Jeremy Betham fundamentada en el placer y dolor, dos amos que rigen el bienestar de las personas y por ende de las sociedades. Los procedimientos de valuación masiva construidos bajo regresiones lineales múltiples contemplan un conjunto de factores o variables que afectan el valor del suelo, los cuales son considerados independientes, no interrelacionados entre sí e influyen aditivamente el valor de los inmuebles. Generalmente estos supuestos no reflejan la situación real de los bienes raíces, pues las características de un vecindario no son lineales ni independientes, ya que pueden afectarse mutuamente entre sí. Es decir, siguiendo a Tobler (1970) y a su formulación conocida como “primera ley de la geografía”: Todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes.

En términos estadísticos cuando existe autocorrelación espacial los resultados obtenidos mediante modelos lineales clásicos quedan sujetos a error, llevando a conclusiones erróneas. Para resolver este problema surgen nuevos modelos dentro de la estadística convencional que contemplan la estructura espacial de los datos, tales como las técnicas de Kriging o diferentes tipos de desarrollos que conforman lo que se conoce como Econometría Espacial. Sin embargo, estos desarrollos no resuelven los problemas generados en los supuestos de independencia de las variables y la conformación aditivita del modelo. Para abarcar estas particularidades del análisis propio de la geografía económica, más recientemente se ha comenzado a utilizar un conjunto de técnicas algorítmicas, sustentadas en la evolución de la ciencia computacional, que permiten el uso de un gran número de variables y observaciones, y en cuya aplicación se relajan gran parte de los supuestos vinculados a la estadística clásica.

**Objetivo.**

Entendiendo la valuación masiva como un mecanismo de estimación a gran escala, se procederá a generar un modelo estadístico que permita estimar el valor unitario de la tierra (VUT) urbana en la ciudad de San Francisco, Córdoba, en base a un conjunto de variables independientes (“inputs”) que, a priori, definen el VUT (“output”).

El método utilizado para la estimación es un algoritmo de aprendizaje automático (“machine learning”) conocido como Random Forest, junto con una técnica geoestadística (Kriging Ordinario) en el tratamiento de los errores de predicción, lo cual constituye la principal innovación del presente trabajo de investigación, ya que mejora notablemente la capacidad predictiva del modelo.

En segunda instancia, realiza una comparación entre la técnica de estimación aplicada con otros métodos estadísticos alternativos y se evalúa el desempeño diferencial en las capacidades predictivas en cada caso.

**Metodología.**

A los fines de lograr la estimación del VUT para cada zona de la ciudad de San Francisco, Córdoba, se utilizará el siguiente procedimiento:

* Se evalúan y procesan los datos a través de la depuración por Outliers y Outliers espaciales (inliers).
* Siguiendo a Breiman (1984), se entrena el algoritmo de aprendizaje automático llamado Random Forest mediante un proceso de validación cruzada sobre un subconjunto de la base de datos.
* En base al algoritmo entrenado se estima el modelo sobre la totalidad de la base de datos para obtener predicciones del VUT.
* Se determinan los residuos de la estimación a partir de los valores predichos y los valores observados.
* Se aplica sobre los residuos el metódo de interpolación geoestadística conocido como Kriging Ordinario, ajustando el semivariograrama correspondiente, a los fines de incorporar la dependencia espacial de los residuos dentro del modelo.
* Finalmente, para arribar a la predicción del VUT, en primer lugar, se aplica el modelo obtenido mediante la técnica Randon Forest sobre la base de predicción y, posteriormente, a través del modelo Kriging se predicen los residuos sobre esta misma base. Por último, se suman las estimaciones de ambos métodos.

**Fuentes Estadística.**

La elaboración de la base de datos para estimar el VUT de la ciudad de San Francisco, fue realizada, en el marco del proyecto PNUD AR/16/005: Mejora de la capacidad de gestión del Ministerio de Finanzas de la Provincia de Córdoba. Los datos relevados fueron recolectados por un equipo multidisciplinario de agentes locales y especialistas en tasación. Se realizaron visitas a campo para constatar la calidad de la información recolectada. Adicionalmente, se incorporaron datos de valuaciones que son utilizadas como base para el cálculo de impuestos aplicados a contratos u operaciones onerosas (impuesto de sellos). Posteriormente los datos fueron sistematizados y cargados en una aplicación web para su gestión y control de calidad cualitativo por parte de un grupo técnico de expertos. A partir de la base de datos conformada, se procedió al cálculo de diferentes variables geográficas con potencialidad para la predicción del VUT. Para ello, se utilizó el software libre QGIS (Quantum Geographic Information System).

**Conclusión.**

La metodología aplicada en el presente trabajo de investigación tiene el potencial de ser de gran utilidad a la hora de modernizar las instituciones de Estados locales vinculadas a la gestión del territorio e implementar los planes de revalúos masivos en las ciudades, lo cual genera un impacto positivo en su capacidad institucional y facilita los procesos de planificación urbana, en un entorno caracterizado por el crecimiento caótico de las manchas urbanas. Además, la actualización de las valuaciones fiscales genera incentivos para una reforma tributaria eficiente que se oriente hacia la imposición de la riqueza en vez de sobre la actividad económica.

Para tal fin, se espera que la técnica de Random Forest combinada con la técnica de geo-estadística de Kriging Ordinario ajuste adecuadamente al momento de estimar los valores unitarios de la tierra, y que estas estimaciones sean más confiables que las obtenidas mediante otros métodos de valuación, generando un marco adecuado que facilite el diseño de políticas públicas vinculadas a la gestión del territorio y genere incentivos a una política tributaria local más equitativa.

**Bibliografía.**

* Anselin L. (1995). “Local indicators of spatial association – LISA”. Geographical Analyisis, 27: 93 -115
* Anselin L. (2001). “Spatial Effects in Economics Practice in Environmental and Resource Economics”. Am. J. Agric. Economics. 83 (3): 705 – 710
* Borrero, O., & Oscar, A. (2007). Avalúos de inmuebles y garantías. Bogotá: Multiletras Editores Ltda.
* Bonet, J. A., Muñoz Miranda, A., Pineda Mannheim, C. R., et.al. (2014). “El potencial oculto: Factores determinantes y oportunidades del impuesto a la propiedad inmobiliaria en América Latina”.
* Breiman, Leo. *Classification and regression trees.* Chapman & Hall, 1984.
* Buitrago Reyes. (2011). “Estudios sobre la dinámica inmobiliaria de Bogotá: LA CIUDAD VISTA DESDE EL CATASTRO”. Recuperado <https://www.catastrobogota.gov.co/sites/default/files/06-2_1.pdf>
* Cacciamano, G (2017). “Estudio de correlación del valor del suelo urbano con variables y rasgos del territorio, tesina de grado”, UNC FCEFN.
* DE CESARE, C. M. (2012). “Mejoramiento del desempeño del impuesto sobre la propiedad inmobiliaria en América Latina”.
* Hengl T., Geuvelink, G.B.M. and Stein A. (2003). “Comparison of krig- ing with external drift and regression-kriging”. Technical note, ITC, Available on-line at [http://www.itc.nl/library/Academic output/](http://www.itc.nl/library/Academic%20output/)
* Hengl, T., Heuvelink, G. B., y Rossiter, D. G. (2007). “About regression-kriging: from equations to case studies”. Computers & geosciences, 33(10), 1301-1315.
* Matheron G. (1971) “The theory of regionalized variables and its aplications”. Cahiers du centre de Morpgologies Mathrmatique de Fonntainebleau, No. 5, Paris, 211 pp.
* Monayar, V., Cisterna, C., & Pedrazzani, C. (2017). “Estructura urbana y estructura de precios del suelo. Análisis de las transformaciones del espacio urbano en la zona noroeste de la ciudad de Córdoba-Argentina”. Breves Contribuciones del IEG-Instituto de Estudios Geográficos ' Dr. Guillermo Rohmeder'-, 23(23).
* Mora-Esperanza, J. G. (2008). “Modelos de valoración automatizada”. CT: Catastro, (62), 7-26.
* Moran P., (1948) “The interpretation of statiscal map”. J. Roy. Stat. Soc. B. Method. 10, 243 – 51.
* Oliver, M. A., y Webster, R. (2014). “A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging”. Catena, 113, 56-69.
* Pérez-Planell, Ll et all
* Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. Economic Geography, volumen 46, N° 2, 234-240
* Viera, M. A. D., & González, R. C. (2002). Geoestadística aplicada. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba: México DF, Mexico, 31-57.

# 

1. Lic. en Economía, Universidad Nacional de Córdoba. [↑](#footnote-ref-1)
2. Mgter. en Administración Pública y Lic. en Economía, Universidad Nacional de Córdoba. [↑](#footnote-ref-2)
3. Mgter. en Estadística Aplicada y Lic. en Economía, Universidad Nacional de Córdoba. [↑](#footnote-ref-3)
4. Dr. en Ciencias Agropecuarias e Ing. Agrónomo, Universidad Nacional de Córdoba. [↑](#footnote-ref-4)
5. Lic. en Economía, Universidad Nacional de Córdoba. [↑](#footnote-ref-5)
6. Ing. Agrimensor, Universidad Nacional de Córdoba. Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Teledetección y Cartografía, Universidad de Alcalá de Henares, España. Coordinador del Estudio Territorial Inmobiliario de la Provincia de Córdoba. [↑](#footnote-ref-6)