

# Análisis estadístico del impacto de la superficie, el frente y el fondo sobre el valor unitario de la tierra urbana.

Federico Monzani<sup>1</sup>, Juan Pablo Carranza<sup>1,2</sup>, Mario Andrés Piumetto<sup>3</sup>, Micael Jeremías Salomón<sup>1</sup>, Renzo Enrique Polo<sup>1</sup>, Mariano Augusto Córdoba<sup>4</sup> y María Virginia Monayar<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Estudio Territorial Inmobiliario, PNUD y Ministerio de Finanzas de la Provincia de Córdoba*

<sup>2</sup> *Secretaría de Investigación, Universidad Siglo 21.*

<sup>3</sup> *Centro de Estudios Territoriales de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba*

<sup>4</sup> *CONICET, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.*

<sup>5</sup> *CONICET, Instituto de Vivienda y Hábitat, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba.*

Fecha de recepción del manuscrito: 20/05/2019

Fecha de aceptación del manuscrito: 25/04/2020

Fecha de publicación: 30/04/2020

**Resumen**—El presente artículo tiene por objetivo estudiar la relación entre el tamaño y medida de los terrenos, en particular de la superficie, el frente y el fondo, y el valor por metro cuadrado de la tierra urbana. Se parte de las ideas y estudios propuestos por Fitte y Cervini (1939) ampliamente difundidos en la tasación de inmuebles urbanos y cuyos resultados se plasman en coeficientes que se aplican a la valuación de los inmuebles en el ámbito urbano. Se aplican diferentes técnicas econométricas, en las que el valor unitario de la tierra es una función del frente, el fondo o la superficie de cada lote, entre otras variables independientes. Se parte de la utilización de técnicas relativamente simples, hasta abarcar desarrollos más recientes como econometría espacial. Se utilizan datos del mercado inmobiliario y otras variables geográficas construidas mediante análisis espaciales en base a datos abiertos construidos y relevados en el “Estudio Territorial Inmobiliario de la Provincia de Córdoba”. Replicando el desarrollo de Fitte y Cervini (1939), con datos de mercado actuales, se arriba a conclusiones similares a las obtenidas por estos autores. Al considerar sólo el efecto de la superficie en el valor unitario de la tierra, y aplicando técnicas de econometría espacial para eliminar sesgos de auto-correlación espacial, se arriba a una estructura de coeficientes de superficie que van desde 1,2 para lotes pequeños hasta 0,9 para lotes cercanos a los 1500 metros cuadrados.

**Palabras clave**—Tasación de terrenos, Valuaciones masivas, Valor de la tierra, Mercado inmobiliario.

**Abstract**—The objective of this paper is to study the relationship between the size and measurements of land, in particular the surface, the front and the long, and the value per square meter of urban land. We start by evaluating the ideas and studies proposed by Fitte and Cervini (1939) widely disseminated in the valuation of urban real estate and whose results are reflected in the coefficients that are applied in urban land appraisal. Different econometric techniques are applied, where the value of the land is a function of the front, long or the surface of each lot, among other independent variables. Initially it was evaluated use of simple comparative techniques, for later include more recent developments such as spatial econometrics. We used data from the real estate market and other geographical features constructed by spatial analysis based on open data constructed and collected in the "Territorial Real Estate Study, of the Province of Córdoba, Argentina. Replicating the development of Fitte and Cervini (1939), with current market data, we arrived some similar conclusions. Nevertheless, by considering only the effect of the surface on the unit value of the land, and the application of spatial econometrics techniques to eliminate biases of spatial autocorrelation, we find a structure of surface coefficients ranging from 1.2 for lots small up to 0.9 for lots close to 1500 square meters.

**Keywords**—Land appraisal, Mass valuation, Land value, Real Estate Market.

## INTRODUCCIÓN

El propósito del presente artículo es estudiar la relación entre el tamaño y medida de los terrenos, en particular de la superficie, el frente y el fondo, y el valor por metro cuadrado de la tierra urbana. El ámbito de aplicación de este fenómeno se encuentra ampliamente influido por el desarro-

llo realizado por el arquitecto Fitte y el agrimensor Cervini en el año 1939. La construcción teórica desarrollada por estos autores ha sido tan poderosa que hoy, 80 años después, continúa siendo de un uso muy generalizado en la tasación de lotes baldíos urbanos, como también base de diferentes normativas oficiales y profesionales.

Para abordar el estudio de este problema se desarrolla una construcción de conocimiento progresiva, partiendo del abordaje teórico de las ideas que durante mucho tiempo han sustentado la aplicación de coeficientes de frente y fondo en tasaciones y valuaciones catastrales. El proceso inductivo de evaluación empírica de las ideas teóricas sigue una evolución similar a lo largo del texto: se parte de la aplicación de técnicas estadísticas muy accesibles, que se van complejizando hasta abarcar desarrollos más recientes como técnicas de econometría espacial (Anselin, 2001).

En este sentido, inicialmente aborda el desarrollo teórico de las ideas de Fitte y Cervini (1939) y su formulación matemática. Posteriormente, se intenta capturar empíricamente los efectos analizados mediante la aplicación de regresiones lineales simples, en donde el valor por metro cuadrado es función sólo del frente o del fondo de parcelas urbanas regulares. Dado que la omisión de variables relevantes en la explicación del valor por metro cuadrado puede generar sesgos en la estimación de los coeficientes (Sapra, 2005), se amplía el enfoque incorporando variables explicativas y procediendo a la estimación de los efectos mediante regresiones lineales múltiples. Luego se procede a analizar el impacto de la superficie sobre el valor por metro cuadrado de la tierra y se incorporan técnicas de econometría espacial (Anselin, 2001), con el objetivo de eliminar la autocorrelación espacial propia del estudio de fenómenos geográficos, que generan sesgos en los coeficientes estimados en las regresiones espaciales múltiples. Seguidamente, se realiza un análisis del impacto en las valuaciones catastrales de las estimaciones propuestas para, finalmente, realizar una discusión sobre los resultados obtenidos.

Para los análisis se utilizaron datos provenientes del Observatorio del Mercado Inmobiliario (OMI), aplicación desarrollada en el marco del “Estudio Territorial Inmobiliario de la Provincia de Córdoba” para el registro de precios del suelo, ya sean valores de ofertas y tasaciones.

Las variables explicativas utilizadas en las estimaciones fueron generadas en base a información alojada en la Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR), un geoportal web con mapas y geoservicios OGC que brinda acceso libre a una amplia gama de información geográfica, como datos catastrales de inmuebles urbanos y rurales, límites jurisdiccionales, datos ambientales, mineros, valor del suelo, entre otros <sup>1</sup>.

Los coeficientes desarrollados por Fitte y Cervini, con algunas tímidas modificaciones acumuladas a lo largo de los años, son utilizados por los catastros para la definición del valor unitario de la tierra (VUT). El VUT *homogeneizado* es el valor por metro cuadrado de la tierra correspondiente a un lote típico, y contra el cuál se referencian el resto de los lotes urbanos. Esta medida permite visualizar espacialmente el valor de la tierra como si todo el territorio estuviese dividido en

lotes del mismo tamaño (igual al del lote típico), eliminando el posible efecto que cambios en el frente o el fondo de cada lote puedan tener sobre el valor por metro cuadrado. Se considera que el VUT *homogeneizado* es un buen indicador para comprender la estructura de las ciudades e interpretar el territorio, su definición, monitoreo y actualización. Estos elementos son centrales para la actualización de las valuaciones catastrales respecto de los valores de mercado, y un insumo básico para contribuir a la equidad tributaria, así como también a una planificación y desarrollo del territorio más eficiente y eficaz.

Por lo tanto, indagar sobre la forma en que se aplican coeficientes de frente y fondo en las valuaciones catastrales, su vigencia y sus posibles actualizaciones, se vuelve de una importancia práctica relevante en un contexto de actualización de las valuaciones catastrales como el que se está desarrollando en la Provincia de Córdoba, y como están iniciando numerosas provincias argentinas, situación derivada del Pacto Fiscal firmado entre éstas y el gobierno nacional a fines de 2017.

El presente artículo forma parte de un proyecto de investigación transversal, del que participan investigadores y profesionales del Centro de Estudios Territoriales (CET)<sup>2</sup>, del Estudio Territorial Inmobiliario (ETI)<sup>3</sup>, a cargo del revalúo masivo de la tierra en la Provincia de Córdoba, y la Infraestructura de datos espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR)<sup>4</sup>, y que contempla una serie de abordajes que exceden a lo aquí expuesto.

## UNA CONSTRUCCIÓN TEÓRICA DE LOS COEFICIENTES DE FRENTE Y FONDO Y SU EFECTO SOBRE EL VALOR DEL SUELO URBANO.

Las nociones relativas al efecto de la superficie sobre el valor por metro cuadrado de la tierra, plasmadas en el coeficiente de frente y fondo desarrollado por Fitte y Cervini en 1939, y presentado en el libro *Antecedentes para el estudio de normas para tasaciones urbanas en Capital Federal* (Fitte y Cervini, 1939), surgen de la necesidad del Banco Hipotecario Nacional de establecer criterios uniformes para guiar el estudio de las tasaciones de inmuebles urbanos. En esa época se observaban grandes fallas en la política crediticia derivadas de la falta de normas y diferencias en los criterios metodológicos aplicados, que derivaban en una elevada dispersión en los resultados a los que arribaban los tasadores, que muchas veces, lejos de ser una fuente de información y dar un elemento de juicio, distorsionaban y complicaban las decisiones de los analistas crediticios.

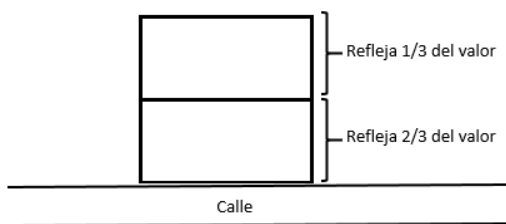
En la construcción del *coeficiente de fondo*, Fitte y Cervini (1939) parten de un método muy difundido en la época, surgido de una resolución judicial del Juez del Estado de Nueva York Murray Hoffmann en 1890, donde se observa que, en todo terreno de forma regular, la mitad de la superficie orientada hacia la calle representa las dos terceras partes (2/3) del valor. El criterio de Hoffmann, considerado el más difundido y aplicado de la época para la tasación de terrenos urbanos,

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

<sup>3</sup>Proyecto de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Ministerio de Finanzas de la Provincia de Córdoba.

<sup>4</sup>Ministerio de Finanzas de la Provincia de Córdoba.

<sup>1</sup>Se referencia al lector al sitio [www.mapascordoba.cba.gob.ar](http://www.mapascordoba.cba.gob.ar) para acceder a la gran cantidad de información contenida en la IDE



**Fig. 1:** Esquema del criterio definido por el Juez Hoffmann, tomado por Fitte y Cervini en la definición de sus coeficientes.

es válido exclusivamente para lotes regulares y mediales. La lógica aplicada se puede representar esquemáticamente mediante la Figura 1.

En el tratamiento del *coeficiente de frente*, Fitte y Cervini (1939) hacen referencia a un conjunto de normas culturales de la época, basadas en la tipología de construcción, las necesidades de la población y la legislación catastral y de uso del suelo, particularmente observadas en la ciudad de Buenos Aires. En un comienzo, los frentes de las parcelas se establecieron típicamente en 8,66 metros (diez varas de 86 centímetros) establecidas en las Leyes de Indias del período colonial. Sin embargo, los autores observaron que los frentes de 10 metros representaban mejor un lote típico de la época, dado que permitían edificaciones en altura (al posibilitar la existencia de ascensor y escaleras) y la tipología constructiva de ese tiempo. Estos aspectos encontraban sustento en la observación de que existía una predisposición a pagar sumas más elevadas por terrenos de 9,50 a 13 metros de frente. De esta manera, los autores proponen un frente ideal de 10 metros, sugiriendo que a partir de dicha medida, comienza a operar el efecto del monto de la operación, ya que cuanto mayor es la inversión de capital necesaria para adquirir el lote, menor es el número de interesados, disminuyendo la competencia e induciendo el precio total de la operación a la baja.

Del producto de estas dos funciones independientes, que capturan de manera separada el efecto del fondo y del frente en el valor por metro cuadrado de la tierra, resultan las tablas de coeficientes de Fitte y Cervini, que a pesar de surgir de un estudio acotado sólo al ámbito de la Ciudad de Buenos Aires y de las múltiples transformaciones acontecidas en el funcionamiento de los mercados inmobiliarios, han influido notablemente los métodos de tasación de terrenos urbanos durante los últimos 80 años y son aplicadas, con leves modificaciones, hasta la actualidad.

### Deducción matemática de las ideas de Fitte y Cervini

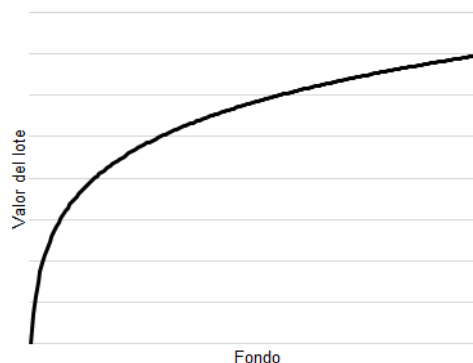
#### Coeficiente de fondo

En primera instancia, se supone que el valor de un lote baldío urbano de forma regular es igual al producto entre el valor por metro cuadrado y la superficie, es decir:

$$valor = (sup) (vut) = (fondo) (frente) (vut) \quad (1)$$

Donde:

- *valor* = es el valor total del lote.
- *sup* = es la superficie total del lote.



**Fig. 2:** Relación entre los metros de fondo y el valor total del lote.

- *vut* = es el valor unitario de la tierra, calculado como el valor total dividido por la superficie total.
- *fondo* = son los metros lineales de fondo del lote regular.
- *frente* = son los metros lineales de frente del lote regular.

Considerando un frente de 1 metro lineal (Pellice, 2012), resulta:

$$valor = (fondo) (vut) \quad (2)$$

Ante un incremento en el fondo, que se puede expresar como  $fondo + \Delta fondo$ , pareciera razonable argumentar, siguiendo el criterio del juez Hoffmann, que una mayor superficie del terreno se reflejará en un valor unitario de la tierra más pequeño, es decir  $vut + \Delta vut$ . Por lo tanto, a medida que la dimensión del fondo aumenta, el valor de la última parte del lote disminuye. Es decir que el valor de la parcela se incrementa a medida que se incrementa el fondo, pero a tasas decrecientes, tal como puede apreciarse en la Figura 2.

Este comportamiento puede representarse a través de la siguiente ecuación:

$$(fondo + \Delta fondo) (vut + \Delta vut) = vut fondo + \frac{1}{n} vut \Delta fondo \quad (3)$$

Donde:

- $\Delta fondo$  = incremento en el fondo, en metros lineales.
- $\Delta vut$  = incremento resultante en el valor unitario de la tierra.
- $\frac{1}{n} = \left( \frac{\Delta superficie}{\Delta fondo} \frac{fondo}{superficie} \right) + 1$ , es decir, uno más la elasticidad que mide el cambio porcentual en el *vut* ante un cambio de un 1% en el *fondo*.

Para que el *vut* decrezca a medida que aumenta el fondo, de la forma que observó el juez Hoffmann, *n* deberá tomar valores positivos y mayores a 1. Desarrollando la igualdad y desestimando el término infinitesimal dado por  $\Delta fondo \cdot \Delta frente$ , se tiene que:

$$fondo \Delta vut + vut \Delta fondo = \frac{1}{n} vut \Delta fondo \quad (4)$$

<sup>5</sup>el incremento esperado en el valor unitario de la tierra tiene signo negativo

$$fondo \Delta vut = \frac{1}{n} vut \Delta fondo - vut \Delta fondo \quad (5)$$

$$fondo \Delta vut = \left(\frac{1}{n} - 1\right) vut \Delta fondo \quad (6)$$

$$\frac{\Delta vut}{vut} = \left(\frac{1}{n} - 1\right) \frac{\Delta fondo}{fondo} \quad (7)$$

Integrando la expresión anterior:

$$\int \frac{\Delta vut}{vut} = \left(\frac{1}{n} - 1\right) \int \frac{\Delta fondo}{fondo} \quad (8)$$

$$\ln(vut) + t = \left(\frac{1}{n} - 1\right) \ln(fondo) + c \quad (9)$$

En donde  $t$  y  $c$  son dos constantes. Tomando antilogaritmo en ambos miembros, resulta:

$$vut e^t = fondo^{\left(\frac{1}{n}-1\right)} e^c \quad (10)$$

$$vut = fondo^m k \quad (11)$$

En donde:

$$k = \frac{e^c}{e^t} \quad (12)$$

$$m = \left(\frac{1}{n} - 1\right); \forall -1 \leq m \leq 0 \quad (13)$$

Para verificar el criterio de Hoffmann plasmado en la ecuación 11, que requiere que  $n$  sea un número entero mayor que cero, de donde se desprende que  $m$  debe estar comprendido entre -1 y 0.

A los fines de comparar el  $vut$  de un lote cualquiera contra el  $vut$  de un lote de referencia (llamado lote típico) a medida que cambia la dimensión del fondo, se puede calcular una serie de coeficientes que resuman el impacto de dichos cambios sobre el valor unitario de la tierra. Para definir el lote con fondo típico se pueden seguir diversos criterios, aunque generalmente surge de las medidas de posición: media, mediana o valor modal.

Retomando la ecuación 11 y considerando un fondo típico de, por ejemplo, 30 metros, se podría obtener el  $vut$  del lote típico (en donde se sigue suponiendo que el frente es siempre igual a 1 metro, para aislar sólo el efecto del fondo) con la ecuación:

$$vut_{tipico} = fondo_{tipico}^m k \quad (14)$$

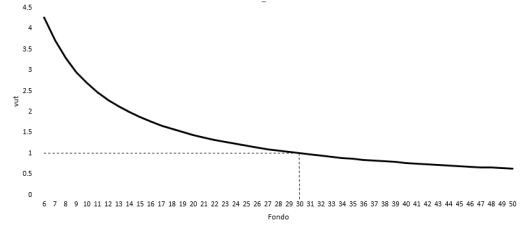
Por otro lado, el  $vut$  de cualquier otro lote  $i$ , de un fondo diferente, vendrá dado por:

$$vut_i = fondo_i^m k \quad (15)$$

En consecuencia, la diferencia entre el lote típico y cualquier otro lote de dimensiones diferentes vendrá dado por:

$$coeficiente\ de\ fondo = \frac{vut_i}{vut_{tipico}} = \left(\frac{fondo_i}{fondo_{tipico}}\right)^m \quad (16)$$

Esta estructura de coeficientes arroja una forma funcional como la detallada en la Figura 3, en donde el valor unitario de la tierra disminuye asintóticamente a medida que los metros de fondo aumentan. Como es lógico a partir de la ecuación 16, el coeficiente de fondo se iguala a 1 cuando el fondo se corresponda con el definido a priori como “fondo típico”, en este caso, 30 metros. De la función representada por la ecuación 16 se desprende que, para conocer la estructura de los coeficientes de fondo, es necesario encontrar una estimación sólida del parámetro  $m$ .



**Fig. 3:** Estructura del coeficiente de fondo a partir de un lote típico de 30 metros.

### Coeficiente de frente

Siguiendo el desarrollo de Fitte y Cervini (1939), el efecto del tamaño del frente de un lote baldío regular puede ser aproximado por una función cuadrática de la siguiente forma:

$$vut = a + b frente - c frente^2 \quad (17)$$

En donde se asume que el impacto de un aumento en los metros de frente sobre el valor es en una primera instancia creciente para luego volverse decreciente. Es decir, a medida que la dimensión del frente aumenta, el  $vut$  también aumenta hasta alcanzar un máximo, para luego decrecer. Con el objetivo de identificar el frente típico se puede identificar el óptimo de la función cuadrática propuesta. Para ello se deriva e iguala a cero la expresión anterior, y se obtiene:

$$\frac{\partial vut}{\partial frente} = b - 2c frente = 0 \quad (18)$$

$$frente^* = \frac{b}{2c} \quad (19)$$

Otra manera de aproximarse al frente típico es a través de las medidas de posición: media, mediana o valor modal.

De la misma manera en que el coeficiente de fondo se obtuvo comparando el  $vut$  de un lote cualquiera  $i$  contra el  $vut$  de un lote con un fondo típico, el coeficiente de frente se puede determinar en función de la comparación contra un frente típico:

$$coeficiente\ de\ frente = \frac{vut_i}{vut_{tipico}} = \frac{a + b frente_i - c frente_i^2}{a + b frente_{tipico} - c frente_{tipico}^2} \quad (20)$$

Finalmente, el coeficiente de frente-fondo se obtiene mediante el producto entre el coeficiente de fondo y el coeficiente de frente. Esto es así dado que, en el proceso de homogeneización del valor unitario de la tierra, que implica representar el valor por metro cuadrado de cualquier lote “ $i$ ” como si este tuviera las dimensiones de un lote con frente y fondo típicos, se tiene que:

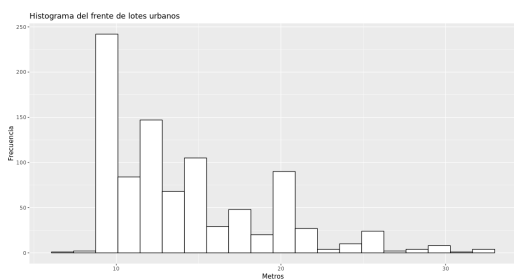
$$(sup_i) (vut_i) = (sup_{tipico}) (vut_{tipico}) \quad (21)$$

$$(frente_i) (fondo_i) (vut_i) = (frente_{tipico}) (fondo_{tipico}) (vut_{tipico}) \quad (22)$$

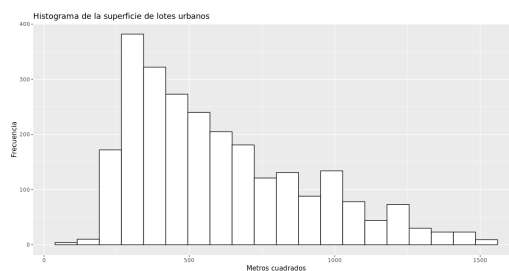
$$vut_i = \frac{(frente_{tipico}) (fondo_{tipico})}{(frente_i) (fondo_i)} (vut_{tipico}) \quad (23)$$

### DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS Y LAS VARIABLES UTILIZADAS

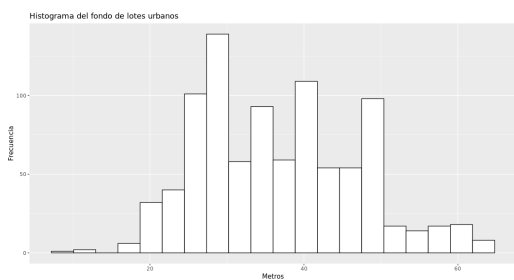
Los datos muestrales fueron obtenidos del Observatorio del Mercado Inmobiliario desarrollado en el marco del “Estudio Territorial Inmobiliario” de la Provincia de Córdoba.



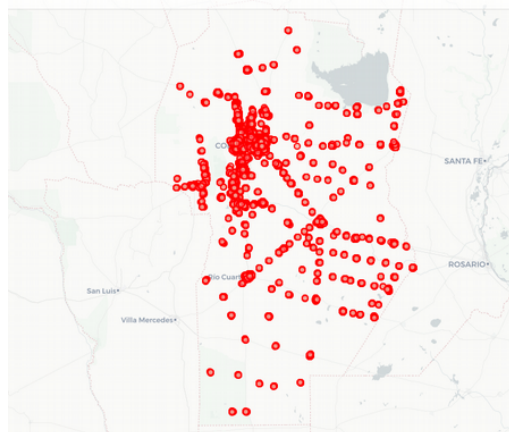
**Fig. 4:** Histograma de los metros de frente en los lotes de la muestra.



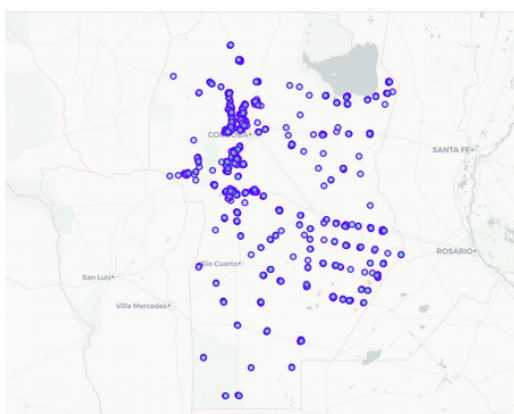
**Fig. 7:** Histograma de los metros cuadrados de superficie en los lotes de la muestra.



**Fig. 5:** Histograma de los metros de fondo en los lotes de la muestra.



**Fig. 8:** Distribución espacial de la muestra 2.



**Fig. 6:** Distribución espacial de la muestra 1.

En una primera instancia, para estimar los coeficientes de frente y de fondo acorde al marco analítico de Fitte y Cervini (1939), sobre el total de datos contenidos en el Observatorio se utilizó un subconjunto de 920 lotes baldíos urbanos de forma regular. La muestra está distribuida estadísticamente conforme se muestra en la Tabla 1 y en las Figuras 4 y 5, y espacialmente según se aprecia en la Figura 6.

En una segunda instancia, para estimar directamente el impacto de la superficie sobre el valor por metro cuadrado de la tierra, se utilizó una muestra de 2543 lotes baldíos urbanos con superficies comprendidas entre los 50 y los 1496 metros

**TABLA 1:** DISTRIBUCIÓN DE LOS METROS DE FRENTE Y DE FONDO EN LOS DATOS DE LA PRIMERA MUESTRA

Medida	Mín.	1er. cuartil	Mediana	Media	3er. cuartil	Máx.
Frente	7,40	10,00	12,50	14,32	17,10	32,98
Fondo	10,00	29,45	35,02	36,82	44,31	64,70

cuadrados, eliminando la restricción sobre la regularidad en la forma. Esta muestra se distribuye estadísticamente conforme se detalla en la Tabla 2 y en la Figura 7, y espacialmente en la Figura 8.

Las variables geográficas utilizadas en el estudio fueron construidas mediante análisis espaciales en base a datos geográficos abiertos en la Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Córdoba (IDECOR).

Un análisis espacial es un conjunto de técnicas matemáticas y/o estadísticas aplicadas sobre objetos distribuidos en el espacio, que consideran especialmente sus propiedades espaciales y topológicas. El análisis produce variables cuantitativas o cualitativas que caracterizan el elemento o su entorno.

Para determinar la existencia de la relación de las medidas lineales de frente y fondo sobre el VUT urbano se crearon dos tipos de variables geográficas:

1. Variables de entorno: construidas a partir de distintos conjuntos de datos temáticos, asignando a cada elemento en la muestra un valor que deriva de los valores situados en su entorno inmediato, al que se denomina *área de cálculo*. Para el presente estudio, el área de cálculo fue definida en un radio de 500 metros, en base a estándares establecidos por investigaciones similares (Angel et al., 2010). Se contemplaron dos tipos de variables de

**TABLA 2:** DISTRIBUCIÓN DE LOS METROS CUADRADOS DE SUPERFICIE EN LOS DATOS DE LA SEGUNDA MUESTRA

Medida	Mín.	1er. cuartil	Mediana	Media	3er. cuartil	Máx.
Superficie	50	356	524	602,7	796,5	1496

entorno:

- Catastrales: tomando como punto de partida el parcelario gráfico de la Dirección General de Catastro de la Provincia de Córdoba, se realizaron diferentes análisis espaciales. El resultado es una función de la combinación de los atributos de cada parcela contenida en el radio.
  - Satelitales: ante la posible desactualización de las bases catastrales, que deriva en la utilización de datos que no representan la realidad y, consecuentemente, en métricas deficientes, los análisis se complementaron con datos derivados de imágenes satelitales Sentinel 2, de acceso libre.
2. Variables de distancia: construidas en base a numerosas características urbanas relevantes, determinadas por especialistas locales en el marco del “Estudio Territorial Inmobiliario” de la Provincia de Córdoba. En todas las observaciones muestrales se calculó la distancia euclidiana más próxima a cada característica urbana analizada.

El listado de las variables utilizadas es el siguiente:

- a)  $d\_ruta$  = Distancia a rutas más cercanas, en metros.
- b)  $d\_viasprin$  = Distancia a vías principales, en metros.
- c)  $d\_viassec$  = Distancia a vías secundarias, en metros.
- d)  $d\_alta$  = Distancia a zonas de elevado perfil inmobiliario, en metros.
- e)  $d\_baja$  = Distancia a zonas de bajo perfil inmobiliario, en metros.
- f)  $d\_lineadiv$  = Distancia a líneas divisorias de valor, en metros.
- g)  $d\_lineaqui$  = Distancia a líneas de quiebre de valor, en metros.
- h)  $prom\_edif$  = Tamaño promedio de las edificaciones en el entorno, en metros cuadrados.
- i)  $perc\_baldm$  = Cantidad total de metros cuadrados baldíos en el entorno sobre la sumatoria de metros cuadrados de lotes.
- j)  $perc\_edif$  = Cantidad total de metros cuadrados edificados en el entorno sobre la sumatoria de metros cuadrados de lotes.
- k)  $perc\_bald$  = Cantidad total de lotes baldíos en el entorno sobre cantidad total de lotes.

Se incluyen, además, una serie de variables calculadas a partir de la clasificación de imágenes satelitales Sentinel 2, basadas los desarrollos de Kawamura *et al.* (1996), Zha *et al.* (2003), Ridd (1995) y Deng y Wu (2012):

- l)  $ui$  = Refleja la relación de densidad de edificación por píxel, por lo cual, generalmente se usa para el mapeo de zonas urbanas. Donde se pueden distinguir que los valores negativos cercanos a 0 son coberturas de superficies

edificadas, los suelos desnudos están representados por valores positivos. La vegetación toma valores negativos cercanos a -1.

- m)  $bci$  = Índice de composición biofísica, que permite darle características de brillo, verdor y humedad a la información brindada por el satélite, posibilitando identificar diferentes composiciones biofísicas urbanas y, de esta manera, establecer las coberturas del suelo.
- n)  $nbd_i$  = Permite estimar zonas con superficies edificadas (consolidadas) o en desarrollo (sin consolidar) respecto a áreas con vegetación o desnudas, se utiliza para estudiar el espacio urbano.
- ñ)  $ind\_veg$  = Cantidad total de píxeles clasificados como vegetación sobre la cantidad total de píxeles en un entorno de 500 metros.
- o)  $sntl\_pavim$  = Cantidad total de píxeles clasificados como construidos sobre la cantidad total de píxeles en un entorno de 500 metros. La clasificación de los píxeles surge de un proceso de teledetección de imágenes Sentinel 2.

### LAS IDEAS DE FITTE Y CERVINI EN LA PRÁCTICA. UNA PRIMERA APROXIMACIÓN MEDIANTE REGRESIONES LINEALES

Con el objetivo de conocer los coeficientes de frente y fondo conforme al desarrollo teórico derivado de Fittle y Cervini (1939), se procede a la estimación de dos regresiones lineales simples, donde el logaritmo del valor unitario de la tierra está en función del logaritmo de los metros de fondo, en una primera estimación, y en función de la cantidad de metros de frente, en una segunda instancia.

#### Resultados

##### Coefficiente de fondo

Relacionando las ideas deductivas de Fittle y Cervini, el coeficiente  $m$  se puede estimar mediante la siguiente especificación aplicando un modelo de mínimos cuadrados ordinarios:

$$\ln(vut) = \beta_0 + m \ln(fondo) + u \quad (24)$$

Como se aprecia a en la Tabla 3, el estimador del parámetro  $m$  resultó significativo y se encuentra dentro del intervalo esperado ( $-1 < m < 0$ ). Sin embargo, el coeficiente de determinación  $R^2$  refleja un ajuste muy pobre.

De los resultados obtenidos surge un valor de  $n = 5,20$  y  $m = -0,80$ .

**TABLA 3:** REGRESIÓN LINEAL SIMPLE PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE FONDO

Variables	Coefficiente	Error Estándar	Valor t	$Pr(>  t )$
$constante$	9,348	0,298	31,293	0,000
$\ln(fondo)$	-0,807	0,083	-9,673	0,000
$R^2$ ajustado = 0,092				
$F = 93,57$ , $p$ -valor = 0,000				
$n = 920$				

*Coefficiente de frente*

De manera similar, se procede a estimar una regresión lineal en donde la variable dependiente es el valor por metro cuadrado de la tierra y las variables independientes son el frente y el frente al cuadrado, respetando el comportamiento cuadrático observado por Fitte y Cervini (1939):

$$vut = \beta_0 + \beta_1 frente + \beta_2 frente^2 + u \quad (25)$$

La estimación obtenida puede apreciarse en la Tabla 4, de donde resulta que tanto el frente como el frente al cuadrado tienen los signos esperados y son estadísticamente distintos de cero.

El modelo fue estimado sin ordenada al origen ya que la especificación que sí contemplaba este término arrojaba signos en los coeficientes que no permitían ser coherentes con el desarrollo de teórico de Fitte y Cervini (1939). Es decir, la estimación con ordenada al origen arrojaba una función que inicialmente decrece para luego volverse perpetuamente creciente. Si bien el coeficiente de determinación,  $R^2 = 0,386$ , muestra un valor relativamente adecuado para un modelo meramente empírico, esto puede ser deberse a la omisión de la ordenada de origen en la estimación de la ecuación cuadrática.

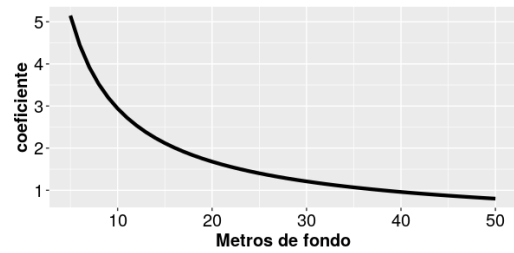
Con el objetivo de determinar el coeficiente de frente y fondo y analizar su impacto simultáneo sobre el valor unitario de la tierra urbana, es necesario definir las medidas de un lote típico. En la práctica, generalmente se recurre a las medidas de posición de ambas variables (media, mediana o valor modal). Se procede, entonces, a utilizar la mediana, ya que es una medida de posición menos sensible a la influencia de valores extremos, resultando un fondo típico de 38 metros, que concuerda con lo observado por Fitte y Cervini (1939) para ciudades pequeñas, y un frente típico en 13 metros. En las Figuras 9 y 10 se presentan los coeficientes de fondo y de frente de manera individual, respectivamente, mientras que su impacto simultáneo sobre el valor unitario de la tierra urbana se detalla en las Figuras 11 y 12.

Si bien las estimaciones econométricas arrojan coeficientes que se encuentran en línea con la teoría desarrollada en Fitte y Cervini (1939), el ajuste de las rectas de regresión resultó bastante pobre. Esta situación puede deberse a la omisión de variables relevantes en la explicación del valor unitario de la tierra urbana, lo cual también puede inducir a sesgos en la estimación de los coeficientes.

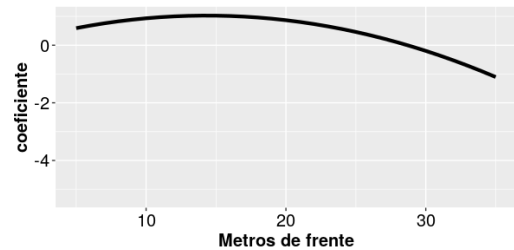
Es importante notar que, si bien la función estimada alcanza máximos en torno al valor de 5 y mínimos iguales a cero, frecuentemente las tablas presentan una forma funcional truncada entre los valores 1,3 y 0,5.

**TABLA 4:** REGRESIÓN LINEAL SIMPLE PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE FRENTE

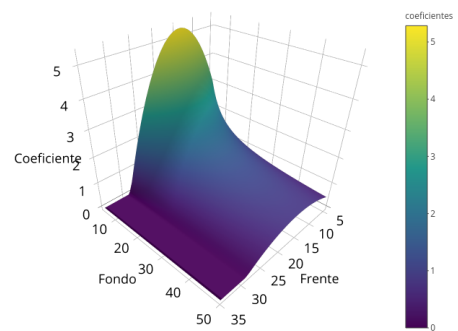
Variables	Coefficiente	Error Estándar	Valor t	$Pr(>  t )$
<i>frente</i>	138,595	7,953	17,430	0,000
<i>frente</i> <sup>2</sup>	-4,832	0,425	-11,350	0,000
$R^2$ ajustado = 0,386				
$F = 290,4$ , $p$ -valor = 0,000				
$n = 920$				



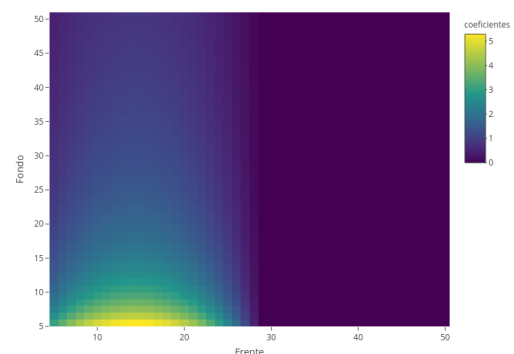
**Fig. 9:** Función estimada para el coeficiente de Fondo.



**Fig. 10:** Función estimada para el coeficiente de Frente.



**Fig. 11:** Coeficientes de frente y fondo según regresiones lineales simples.



**Fig. 12:** Matriz de coeficientes de frente y fondo según regresiones lineales simples.

*Corrección de sesgos por omisión de variables relevantes.*

Para detectar la presencia de sesgos originados en la omisión de variables relevantes, se procedió a aplicar el test de Ramsey (Sapra, 2005), que permite diagnosticar si la forma funcional aplicada es correcta. La hipótesis nula consiste en

que bajo un modelo alternativo que contemple variables adicionales, éstas últimas tienen una influencia significativa en la variable de respuesta. El estadístico bajo la hipótesis nula sigue una distribución F con tantos grados de libertad como parámetros se hayan incluido en el modelo.

Como se puede apreciar en la Tabla 5, en la regresión realizada sobre el fondo como variable independiente, no se puede rechazar la hipótesis nula, lo cual induce a considerar posibles variables omitidas en la estimación que están generando sesgos en el coeficiente  $m$  estimado por mínimos cuadrados ordinarios.

En cuanto a la regresión realizada con el frente y el frente al cuadrado como variables independientes, se rechaza la hipótesis nula de omisión de variables relevantes, no existiendo evidencias estadísticamente significativas para rechazar el modelo planteado, tal como se observa en la Tabla 6.

Con el propósito de eliminar el sesgo originado en la omisión de variables relevantes en estimación del coeficiente de fondo, se agregó a la especificación el resto de las variables independientes detalladas anteriormente. Esto no rompe con el esquema teórico desarrollado, ya que la forma lineal de la regresión asegura la independencia de los efectos analizados.

La estimación de esta nueva regresión para capturar el efecto del fondo sobre el valor unitario de la tierra urbana se puede apreciar en la Tabla 7, en donde se observa que la magnitud del coeficiente  $m$  se reduce de manera considerable, pasando de un valor de  $-0,8$  a  $-0,5$ . De los resultados obtenidos surge un valor de  $n = 2,03$ , coherente con las estimaciones empíricas recuperadas por Fitte y Cervini (1939), donde  $m = -0,58$  y  $n = 2,38$ . La calidad de la estimación también se incrementa de manera notable, ya que se pasa de un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,09$  a un  $R^2 = 0,59$ .

El test de Ramsey replicado sobre esta nueva especificación que incluye nuevas variables independientes, permite rechazar la hipótesis nula de existencia de variables omitidas. El sesgo ha sido eliminado.

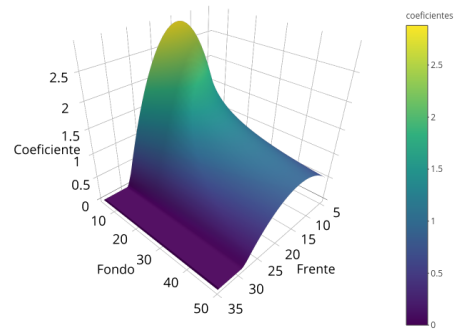
La inclusión de las variables omitidas en la regresión lineal del logaritmo del fondo contra el logaritmo del valor unitario de la tierra urbana en lotes de forma regular, no altera significativamente la forma funcional estimada para el efecto simultáneo del frente y del fondo. Sin embargo, la escala de los coeficientes, medida en el eje vertical, se reduce casi a la mitad, pasando de valores en torno a 5 a valores cercanos a 2,5, tal como puede apreciarse en las Figuras 13 y 14.

**TABLA 5:** TEST DE RAMSEY PARA DETERMINAR LA EXISTENCIA DE VARIABLES OMITIDAS EN LA ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE FONDO

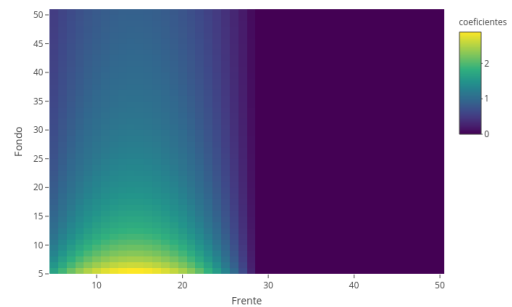
Estadístico	df1	df2	p-valor
0,676	2	916	0,508

**TABLA 6:** TEST DE RAMSEY PARA DETERMINAR LA EXISTENCIA DE VARIABLES OMITIDAS EN LA ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRENTE

Estadístico	df1	df2	p-valor
3,779	2	915	0,023



**Fig. 13:** Coeficientes de frente y fondo sin variables omitidas.



**Fig. 14:** Matriz de coeficientes de frente y fondo sin variables omitidas.

### ANÁLISIS DE LA SUPERFICIE COMO MEDIDA DE AJUSTE DEL VALOR POR METRO CUADRO DE LA TIERRA URBANA

El análisis de los coeficientes de frente y fondo tiene la debilidad de ser aplicable sólo a lotes de forma regular, da-

**TABLA 7:** REGRESIÓN LINEAL MULTIPLE PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE FONDO

Variable	Coefficiente	Error Std.	Valor t	Pr(>  t )
constante	9.5703	0.4942	19.37	0.0000
ln(fondo)	-0.5088	0.0591	-8.61	0.0000
d_ruta	0.0000	0.0000	1.36	0.1744
d_viasprin	0.0000	0.0000	1.53	0.1255
d_viassec	-0.0000	0.0000	-2.60	0.0095
d_alta	0.0000	0.0000	2.49	0.0129
d_baja	0.0000	0.0000	2.18	0.0297
d_lineadiv	-0.0000	0.0000	-1.43	0.1540
d_lineaqui	-0.0000	0.0000	-2.01	0.0449
prom_edif	0.0028	0.0004	7.47	0.0000
prom_lote	-0.0000	0.0000	-3.20	0.0014
perc_edif	3.0520	0.3257	9.37	0.0000
perc_baldm	0.2378	0.2278	1.04	0.2968
perc_bald	0.0841	0.1857	0.45	0.6509
sntl_pavim	0.5440	0.2053	2.65	0.0082
ui	4.6814	0.8046	5.82	0.0000
bci	-0.6930	0.1984	-3.49	0.0005
ndbi	-5.8436	0.9636	-6.06	0.0000
ind_veg	0.2448	0.1369	1.79	0.0741

$R^2$  ajustado = 0,591

$F = 74,77$ ,  $p$ -valor = 0,000

$n = 920$



do que para lotes irregulares el fondo se vuelve una medida de difícil cálculo e interpretación. Para intentar suplir esta limitación, se procede a analizar el efecto de la superficie, sin distinguir entre magnitudes de frente o de fondo, sobre el valor unitario de la tierra urbana.

Dado que ya no existen limitaciones sobre la forma de los lotes, se trabajará con una muestra diferente, que incluye lotes regulares e irregulares, y tiene 2543 observaciones.

**Resultados**

*Regresión lineal múltiple*

En una primera instancia, se estima un modelo mediante una regresión lineal múltiple, en donde el valor unitario de la tierra es una función de la superficie de cada lote y la superficie al cuadrado, entre otras variables independientes, acorde a la siguiente especificación:

$$vut_i = \beta_0 + \beta_1 sup_i + \beta_2 sup_i^2 + \sum \gamma_i X_{ij} + \mu \quad (26)$$

Donde:

*vut* = valor total del lote *i* dividido a la superficie del lote *i* en metros cuadrados.

*sup* = es la superficie del lote *i* en metros cuadrados.

$\mu$  = es un término de error aleatorio, normalmente distribuido.

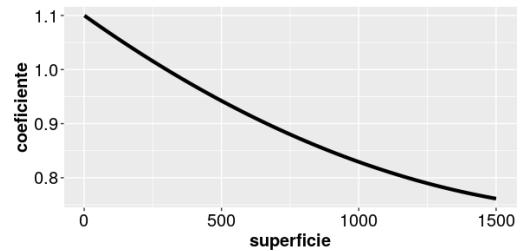
$X_{ij}$  = es una matriz de variables independientes, compuesta por: *x* (coordenadas cartesianas relativas a la longitud), *y* (coordenadas cartesianas relativas a la latitud), *d\_ruta*, *d\_viasprin*, *d\_viassec*, *d\_alta*, *d\_baja*, *prom\_edif*, *prom\_lote*, *perc\_edif*, *perc\_baldm*, *perc\_bald*

Como se puede apreciar en la Tabla 8, el coeficiente asociado al impacto de la superficie sobre el valor unitario de la tierra es estadísticamente significativo e igual a -0.53. Este coeficiente implica que el valor por metro cuadrado se reduce en \$0.53 cuando la superficie aumenta en 1 metro cuadrado. El coeficiente del término cuadrático no resulta estadísticamente significativo. El resto de los coeficientes tienen la magnitud y el signo esperado. El coeficiente de determinación de la regresión tiene valores semejantes a los observados en investigaciones relacionadas al valor de la tierra urbana, en torno a 0.53.

Haciendo utilización de la estimación detallada en la Tabla 8, se puede obtener un coeficiente de superficie, calculado como el cociente entre los efectos estimados para un lote cualquiera y los efectos estimados para un lote típico, entendido como el lote con superficie mediana (igual a 602.7 metros cuadrados). Es decir, el coeficiente de superficie vendrá dado por expresión correspondiente a la ecuación 27:

$$\frac{vut_i}{vut_{tipico}} = \frac{1628,81 - 0,5344 sup_i - 0,00013 sup_i^2}{1628,81 - 0,5344 \cdot 602,7 - 0,00013 \cdot 602,7^2} \quad (27)$$

De donde surge la forma funcional detallada en la Figura 15, que describe el coeficiente de superficie con valores de ajuste que van de 1,1 para lotes de menor superficie, hasta 0,75 para lotes de superficies mayores, cercanas a 1500 metros cuadrados. Es decir, según esta estructura de coeficientes, por ejemplo, el valor por metro cuadrado de un lote de 1500 metros cuadrados debe multiplicarse por 0,75 para



**Fig. 15:** Forma funcional del coeficiente de superficie.

ser comparable con el valor por metro cuadrado de un lote de 602,7 metros cuadrados.

*Corrección de la auto-correlación espacial*

Dada la naturaleza geográfica del problema de estudio, cabe la posibilidad de que exista un sesgo de auto-correlación espacial. Es decir, hay probabilidad de que se verifique la primera ley de la geografía, o ley de Tobler o principio de auto-correlación espacial, que enuncia: “*Todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes*” (Tobler, 1970). En este sentido, si bien el modelo de mínimos cuadrados ordinarios asegura que los residuos de la estimación se distribuyan de manera normal con media igual a cero, puede suceder que, una vez dispuestos en el espacio, existan zonas en donde se aglomeren residuos de signo positivo y zonas en donde se aglomeren residuos negativos. En este caso, corresponde hacer correcciones en la especificación del modelo para capturar estos efectos espaciales (Elhorst, 2010) (Eurostat, 2018).

Con el objetivo de verificar si existe auto-correlación espacial, se realiza una prueba de hipótesis llamada test *I* de Moran global (Anselin, 1995), que permite conocer si los residuos de la regresión de mínimos cuadrados ordinarios se encuentran aleatoriamente distribuidos en el espacio o si, por el contrario, tienden a aglomerarse según su signo y mag-

**TABLA 8:** REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE SUPERFICIE

Variable	Coficiente	Error Std.	Valor t	Pr(>  t )
constante	1628.8149	1918.0533	0.85	0.3958
<i>sup</i>	-0.5345	0.2552	-2.09	0.0363
<i>sup</i> <sup>2</sup>	13.3339	16.7525	0.80	0.4261
<i>x</i>	-0.0015	0.2756	-5.48	0.0000
<i>y</i>	0.0006	0.2032	3.14	0.0017
<i>d_ruta</i>	0.0952	0.0358	2.66	0.0078
<i>d_viasprin</i>	-0.1215	0.0418	-2.91	0.0037
<i>d_viassec</i>	-0.0118	0.0373	-0.32	0.7505
<i>d_alta</i>	0.0872	0.0286	3.05	0.0023
<i>d_baja</i>	0.1128	0.0258	4.37	0.0000
<i>prom_edif</i>	1.8969	0.2046	9.27	0.0000
<i>prom_lote</i>	0.1677	0.0439	3.82	0.0001
<i>perc_edif</i>	8664.0402	270.0786	32.08	0.0000
<i>perc_baldm</i>	825.9822	219.8247	3.76	0.0002
<i>perc_bald</i>	234.4114	191.1097	1.23	0.2201
<i>R</i> <sup>2</sup> ajustado = 0,527				
<i>F</i> = 203,8, <i>p</i> - valor = 0,000				
<i>n</i> = 2543				

nitud. Como se puede apreciar en la Tabla 9, se rechaza la hipótesis nula de independencia espacial en los residuos.

**TABLA 9:** TEST I DE MORAN GLOBAL PARA DETECTAR AUTO-CORRELACIÓN ESPACIAL EN LOS RESIDUOS

I de Moran observado	Expectativa	Varianza
0,405	-0,004	0,000

$H_0$  = Los residuos se distribuyen de manera independiente en el espacio.  
p-value <2.2e-16

Para intentar comprender la forma que asume esta dependencia espacial, si se observa en el rezago de la variable dependiente, en el término de error, o en ambas, se realizan las pruebas de hipótesis conocidas como “multiplicadores de Lagrange robustos” (Anselin, 1988). De ellas surge que, para eliminar la dependencia espacial de la estimación, se debe controlar por auto-correlación espacial tanto en el término de error como en la variable dependiente. Por lo tanto, se procede a la estimación del siguiente modelo en dos etapas:

$$vut_i = \beta_0 + \beta_1 sup_i + \beta_2 sup_i^2 + \rho Wvut_{i-1} + \sum \gamma_i X_j + \mu \quad (28)$$

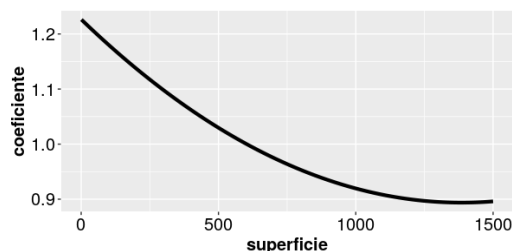
$$\mu = \lambda W\mu + \varepsilon \quad (29)$$

En donde  $W$ , llamada matriz de vecindarios, es una matriz estandarizada por filas que indica si dos o más observaciones son consideradas vecinas. En su construcción, dos observaciones son consideradas vecinas si se encuentran dentro de un radio de 1000 metros. Por lo tanto, el término  $Wvut_{i-1}$  representa al valor del metro cuadrado de la tierra urbana en el vecindario de la observación  $i$ . De igual manera,  $W\mu$  resume el valor de los residuos de la estimación en el vecindario de cada observación. El resultado de esta nueva especificación puede apreciarse en la Tabla 10.

**TABLA 10:** REGRESIÓN ESPACIAL PARA ESTIMAR EL COEFICIENTE DE SUPERFICIE

Variable	Coefficiente	Error Std.	Valor t	Pr(>  t )
constante	2386,5673	3020,0319	0,7902	0,4293
$p_{sup}$	-0,9311	0,2173	-4,2842	0,0000
$p_{sup^2}$	33,6054	14,0308	2,3951	0,0166
x	0,0001	0,0001	-4,2226	0,0000
y	0,0001	0,0001	2,2045	0,0274
d_ruta	0,0541	0,0445	1,2156	0,2241
d_viasprin	-0,1751	0,0518	-3,3813	0,0007
d_viassec	-0,0196	0,0484	-0,4063	0,6845
d_alta	0,0504	0,0400	1,261	0,2072
d_baja	0,1146	0,0345	3,3221	0,0008
prom_edif	1,2287	0,2133	5,7583	0,0000
prom_lote	0,1943	0,0484	4,0144	0,0000
perc_edif	8536,4787	304,9597	27,9921	0,0000
perc_baladm	1322,8627	211,1646	6,2646	0,0000
perc_bald	-97,6221	192,848	-0,5062	0,6127
$Wvut_{i-1}$	0,1261	0,0336	3,7502	0,0001
$W\mu$	0,5127	0,0286	17,8950	0,0000

Akaike modelo lineal = 41403  
Akaike regresión espacial = 40656  
n = 2543



**Fig. 16:** Coeficiente de superficie con corrección por auto-correlación espacial.

Dado que la corrección por auto-correlación espacial introduce una importante fuente de endogeneidad al modelo, es importante distinguir entre los efectos directos y los efectos indirectos de los cambios de cada variable independiente sobre el valor del metro cuadrado de la tierra. La descomposición de los efectos se puede apreciar en la Tabla 11.

**TABLA 11:** EFECTOS DIRECTOS, INDIRECTOS Y TOTALES DEL MODELO DE REGRESIÓN ESPACIAL

Variable	Directo	Indirecto	Total
sup	-0,9347	-0,1258	-1,06
sup <sup>2</sup>	33,7341	4,5424	38,2766
x	0,0001	-23,7896	-200,461
y	0,0001	9,5452	80,4321
d_ruta	0,0543	0,0073	0,0617
d_viasprin	-0,1758	-0,0236	-0,1995
d_viassec	-0,0197	-0,0026	-0,0224
d_alta	0,0506	0,0068	0,0574
d_baja	0,115	0,0154	0,1305
prom_edif	1,2334	0,166	1,3994
prom_lote	0,195	0,0262	0,2213
perc_edif	8569,1859	1153,884	9723,0702
perc_baladm	1327,9312	178,8127	1506,7439
perc_bald	-97,9961	-13,1956	-111,1918

Es importante notar que el coeficiente asociado a la superficie al cuadrado se vuelve estadísticamente significativo luego de esta corrección. Por otro lado, la magnitud del coeficiente asociado a la superficie aumenta considerablemente, pasando de -0,53 a -0,93. Los coeficientes que capturan la dependencia espacial en el término de error y en el rezago espacial de la variable dependiente son, también, estadísticamente significativos. El criterio de información de Akaike indica que el ajuste del modelo ha mejorado luego de la corrección por auto-correlación espacial. La forma funcional estimada puede apreciarse en la Figura 16, donde el rango de variación del coeficiente de superficie se ha modificado levemente, con máximos en torno a 1,25 y mínimos en torno a 0,9.

### CONSIDERACIONES FINALES

El objetivo del presente artículo fue analizar el impacto del tamaño y medida de los terrenos baldíos urbanos sobre el valor unitario de la tierra. En el estudio y tratamiento práctico de este fenómeno hay una influencia notable del enfoque construido hace 80 años por Fitte y Cervini (1939).

Sin embargo, poco se ha avanzado en la reconsideración de este enfoque, teniendo en cuenta los enormes cambios acon-

tecidos en los mercados de tierra urbana, las preferencias de la población, la tipología constructiva, las condiciones de acceso a la vivienda y, principalmente, la antigüedad del enfoque y el hecho de que haya sido realizado inicialmente sólo para el ámbito de la ciudad de Buenos Aires.

Aplicando la estructura teórica desarrollada por estos autores (Fitte y Cervini, 1939) a datos actuales de mercado, y utilizando un herramental analítico disponible a finales de la década de 1930 como las regresiones lineales múltiples, se llega a conclusiones muy próximas. La estimación del parámetro  $m$  se ubicó en 0,50, mientras que Fitte y Cervini (1939) mencionan estimaciones de  $m$  en torno a 0,58. Quizás, las diferencias más notables se encuentran en la estimación del coeficiente de frente, lo cual genera una estructura de coeficientes de frente y fondo con valores cercanos a 2,5 para lotes pequeños y alcanza mínimos cercanos a cero en lotes de mayor escala. Esta similitud en los resultados es sorprendente y dota de una vigencia práctica notable a las conclusiones de ambos autores luego de 80 años.

Ampliando el enfoque para no quedar sujetos sólo a la aplicación en lotes de forma regular, y analizando el efecto de la superficie total sobre el valor unitario de la tierra, se arriba a un coeficiente de ajuste de dimensiones más reducidas, que varía entre 1,1 y 0,8. Sin embargo, la naturaleza geográfica del fenómeno hace necesaria la corrección de sesgos originados en la auto-correlación espacial de los datos de mercado.

La realización de una regresión espacial para eliminar estos sesgos altera levemente la estructura del coeficiente de superficie estimado, pasando a ubicarse entre 1,2 para lotes de menor superficie y 0,9 para lotes cercanos a los 1500 metros cuadrados. Es decir, el valor unitario de la tierra de un lote con una superficie de 1500 metros cuadrados debe multiplicarse por 0,9 para poder ser comparable con el valor unitario de un lote típico, definido como aquel con una superficie de 602 metros cuadrados (la dimensión del lote mediano). De igual manera, el valor unitario de la tierra de un lote de, por ejemplo, 200 metros cuadrados, debe multiplicarse por 1,15 para expresarse en términos del lote típico.

Los resultados obtenidos no tienen la pretensión de ser concluyentes, ni de reemplazar en la práctica a los criterios de tasación y homogeneización de lotes urbanos que durante tanto tiempo se han mantenido vigentes. Por el contrario, se busca habilitar la discusión sobre la conveniencia de actualizar el enfoque, a la luz de las nuevas prácticas y dinámicas del mercado inmobiliario, y de la amplia gama de herramientas que permitirían una aproximación más precisa al fenómeno; desde la posibilidad de contar con observatorios web que para gestionar miles de datos, hasta los avances en técnicas estadísticas y econométricas que representan avances en el tratamiento de la información y la calidad de las estimaciones.

### Equipo de trabajo

El desarrollo del presente artículo fue posible gracias al esfuerzo de muchos profesionales en la generación de la información utilizada. En el relevamiento del mercado inmobiliario intervinieron la Arq. Adriana Menendez, el Arq. Saulo Nazareno, el Arq. Marcos Chesta, el Arq. Sergio Quilaleo y la Ing. Florencia Centeno. En la revisión y procesamiento de

los datos de mercado: el Arq. Tomás Najleti, la Ing. Nadia Llarrull, la Ing. Elena Toccaceli y la Ing. Manuela Tosello. En la generación de variables y cálculos espaciales: el Ing. Hernán Morales, la Lic. Luz Fuentes, la Lic. Mara Rojas, la Ing. Camila Garmendia y la Mgter. Abril Margonari. En el desarrollo de las herramientas informáticas para el Observatorio del Mercado Inmobiliario: El Lic. Martín Bustos Mena, el Ing. Aldo Algorry y el analista Carlos Salinas.

### REFERENCIAS

- [1] Angel, S., Parent, J., y Civco, D. (2010). *The Fragmentation of Urban Footprints: Global Evidence of Sprawl, 1990-2000*. Lincoln Institute of Land Policy, Boston.
- [2] Anselin, L. (1988). "Lagrange Multiplier Test Diagnostics for Spatial Dependence and Spatial Heterogeneity". *Geographical Analysis*, 20(1):1-17.
- [3] Anselin, L. (1995). "Local indicators of spatial association - LISA". *Geographical Analysis*, 27(1):93-115.
- [4] Anselin, L. (2001). "Spatial Econometrics", pp. 691-710. En: *A Companion to Theoretical Econometrics*. Blackwell Publishing Ltd, .
- [5] Deng, C. y Wu, C. (2012). "BCI: A biophysical composition index for remote sensing of urban environments". *Remote Sensing of Environment*, 127(1):247-259.
- [6] Elhorst, J. P. (2010). "Applied spatial econometrics: raising the bar". *Spatial Economic Analysis*, 5(1):9-28.
- [7] Eurostat, I. (2018). *Handbook of Spatial Analysis*. Institut national de la statistique et des études économiques, Montrouge, Francia.
- [8] Fitte, R. E. y Cervini, A. C. (1939). *Antecedentes para el estudio de normas para tasaciones urbanas en Capital Federal*. Talleres del Banco Hipotecario Nacional, Buenos Aires, Argentina.
- [9] Kawamura, M., Jayamana, S., y Tsujiko, Y. (1996). "Relations between social and environmental conditions in Colombo Sri Lanka and the Urban Index estimated by stellite remote sensing data". *International Archive of Photogrametry and Remote Sensing*, 31(7):321-326.
- [10] Pellice, R. H. (2012). *Valuación de inmuebles*. Editorial de la Universidad de San Juan, San Juan, Argentina.
- [11] Ridd, M. (1995). "Exploring a V-I-S (vegetation impervious surface soil) Model for Urban Ecosystem Analysis through Remote Sensing: Comparative Anatomy for Cities". *International Journal of Remote Sensing*, 16:2165-2185.
- [12] Sapra, S. (2005). "A regression error specification test (RESET) for generalized linear models". *Economics Bulletin*, 3(1):1-6.
- [13] Tobler, W. R. (1970). "A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region". *Economic Geography*, 46:234-240.
- [14] Zha, Y., Gao, J., y Ni, S. (2003). "Use of Normalized Difference Built-Up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery". *International Journal of Remote Sensing*, 24:583-594.