

Tipo de documento: Tesis de maestría

Maestría en Economía Urbana

**Determinantes del precio de inmuebles en
CABA: Una aproximación desde la econometría
espacial y el Covid-19**

Autoría: Cristiani, Sixto

Año de defensa de la tesis: 2023

¿Cómo citar este trabajo?

Cristiani, S. (2023) *Determinantes del precio de inmuebles en CABA: Una aproximación desde la econometría espacial y el Covid-19*". [Tesis de maestría. Universidad Torcuato Di Tella]. Repositorio Digital Universidad Torcuato Di Tella

<https://repositorio.utdt.edu/handle/20.500.13098/12045>

El presente documento se encuentra alojado en el Repositorio Digital de la Universidad Torcuato Di Tella bajo una licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 2.5 Argentina (CC BY-NC-SA 2.5 AR)
Dirección: <https://repositorio.utdt.edu>



**UNIVERSIDAD
TORCUATO DI TELLA**

Determinantes del precio de inmuebles en
CABA: Una aproximación desde la econometría
espacial y el Covid-19

Sixto Cristiani
Mayo 2023

Director: Juan Pablo Carranza

Agradecimientos:

Aristóteles solía decir que aquello más honorable es el dar, porque el recibir es fácil, no cuesta, cualquiera puede recibir, pocos dar. Ese dar, es máspreciado mientras más valiosa sea la cosa y la vorágine de la vida humana a veces no nos permite reflexionar sobre aquello que es realmente valioso.

Sin embargo, no hay dudas que, luego de una larga meditación, aquello que puede tener más valor para una persona, es su tiempo, no lo podemos recuperar y no lo podemos enlentecer. Lo segundo más importante se posee es la experiencia y el conocimiento, pues son únicos y son la esencia de la humanidad, la razón. A tamaña entrega de valor, sólo puede corresponder una igual demostración de agradecimiento, que, aunque no recupere el tiempo entregado, si puede hacer que este lo haya valido.

Es por eso que quiero expresar mi profunda y honesta gratitud hacia Juan Pablo Carranza, que me ha guiado y llevado por un camino sinuoso y ambiguo, no solo en este proyecto en particular, sino hacia una forma de encarar la búsqueda del conocimiento en general. Sin sus aportes el presente trabajo no hubiera sido posible.

Quiero expresar mi entera gratitud a Cynthia Goytia, quien, a través de los años, me ha llevado a profundizar sobre conocimientos impensados para mi, y me ha dado una nueva visión sobre las ciudades y el suelo sobre el que los hogares habitan. Agradezco especialmente su calidez y empatía.

A Alejandro Sparacino y Ricardo Pasquini, por su claridad de entendimiento de los fenómenos urbanos y económicos.

A Antonio Vázquez Brust, que, gracias a su compromiso por la apertura de conocimientos despertó, mi curiosidad sobre el mundo de los datos espaciales y su aplicación a problemas reales. Además de haber estado siempre a disposición para toda consulta.

A Martim Smolka, quien, siendo yo un niñoato irreverente respondió mis dudas y me inició en las problemáticas del suelo urbano.

A Diego Aulestía, por nuestras profundas conversaciones sobre el devenir urbano latinoamericano.

A Manuela Thourte y Tomás Mestre Olmedo quienes depositaron su confianza en mí y me permitieron conocer las profundas implicancias políticas, sociales y urbanas de la Ciudad de Buenos Aires.

A Max Beraud y Felipe Mesel, por nuestras conversaciones sobre urbanismo y los fallidos intentos de hacer la tesis.

A Mariano Sioli y Federico Thibon, por su paciencia.

Agradecer a Paula Romairone, por su apoyo incondicional y su comprensión.

A Ana Cristiani, por su constante respaldo a mis ambiciones.

También quiero expresarle mi gratitud al Bobby Cristiani, mi querido padre, que me ha enseñado el arte de la distensión y me ha regalado incontables anécdotas para poder despejar la obnubilación en tiempos de incertidumbre.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que hacen ciudad ya que es la asociación donde buscamos hacer el bien más importante.

Índice

1. Introducción.	4
2. Marco teórico.	6
3. Estado del arte.	15
4. Metodología y Resultados.	19
4.1 Base de datos utilizada.	19
4.2 Estimación mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios.	30
4.3 Análisis de la existencia de dependencia espacial en el modelo MCO.	32
4.4 Incorporación de la dependencia espacial.	38
4.5 Resultados del modelo SAC.	39
5. Consideraciones finales.	47
Referencias bibliográficas.	50

1. Introducción.

Los precios de los inmuebles son causa y consecuencia del desarrollo económico, social y ambiental de las ciudades. Este precio se compone de las características intrínsecas de las edificaciones, sus usos posibles, las expectativas futuras de cambio y las externalidades presentes, que están dominadas por la localización relativa del terreno. Se trata de un fenómeno complejo que precisa de la consideración de múltiples capas de información territorial que permitan explicar la formación del precio de mercado. En este sentido, los precios del suelo simultáneamente reflejan y restringen qué actividades se pueden realizar rentablemente en un espacio geográfico determinado e impactan en las decisiones de los hogares, del Estado y del mercado inmobiliario.

A partir de la pandemia y la creciente digitalización del trabajo se han reestructurado las estrategias de localización de los hogares, anteriormente basadas en la necesidad de trasladarse al centro de negocios de las ciudades, o a diferentes clusters de actividad económica, para llevar a cabo su jornada laboral. Si bien esta situación no es transversal a todas las actividades económicas, este replanteo de la modalidad de trabajo en, al menos, algunas actividades, tiene el potencial de reconfigurar el conjunto de atributos deseables para un inmueble, tornando menos deseable el centro de la ciudad, haciendo más deseable la periferia, lo que a su vez aumenta la frontera de la suburbia, aumentando aún más la presión ya existente sobre sectores periurbanos.

Esta situación tiene consecuencias potencialmente fuertes en la gestión urbana, ya que la forma en la cual los hogares quieren y deciden asentarse en la ciudad configuran la demanda de vivienda en diferentes zonas, la eficiencia o sobrecarga de servicios públicos como el transporte, el agua y la electricidad, la conservación o destrucción de ecosistemas y la pérdida o conservación de superficies cultivables. Las consecuencias de los cambios estructurales de las ciudades son complejas, y eventos como la pandemia y las cuarentenas, de rápido efecto y gran impacto se conjugan en el tiempo con aquellos desarrollos paulatinos que influyen en el desarrollo de las ciudades, como los cambios en la estructura económica, el cambio climático, los cambios políticos e institucionales, la inmigración y la llegada de nuevas tecnologías.

En este marco, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo identificar la contribución relativa a la formación del precio de los inmuebles de diferentes variables

territoriales asociadas a la localización relativa y al entorno (como la proximidad de espacios verdes, la distancia al centro de negocios y a vías principales de comunicación, entre otras). Además, y en línea con los párrafos precedentes, una vez identificada la contribución relativa de cada una de estas variables territoriales sobre el precio de mercado, se propone identificar el impacto de la pandemia de Covid-19. Paralelamente, se dedica un espacio considerable a la aplicación de técnicas de econometría espacial a la problemática planteada, con el objetivo de analizar su consistencia para abordar este tipo de fenómenos poco explorados desde este tipo de metodologías. En el desarrollo, se busca hacer consideraciones no solo analíticas, sino propositivas, toda vez que el conocimiento está inserto en la sociedad, en la política y puede influir sobre las decisiones de todos los actores sociales (Montero 2001), y en sintonía con los planteos de (Fujita 1989) *“Nos interesaremos también en la teoría normativa para identificar el tamaño y la estructura espacial eficiente de las ciudades y haciendo las sugerencias necesarias para lograrlo, ya que según los ch ‘No! El verdadero deber de un economista no es explicar nuestra triste realidad, sino mejorarla’.”*

Por lo tanto, la presente tesis de maestría aborda las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuál es el impacto de la distancia al centro, de las distancias a diferentes equipamientos urbanos y de las características del entorno sobre el precio de lista de los departamentos de la ciudad de Buenos Aires? ¿Cuál fue el impacto de la pandemia de Covid-19 en los precios de lista de los departamentos en la ciudad de Buenos Aires?

Para intentar responder estas preguntas, se realiza un análisis de regresión espacial para evaluar la relación entre el precio por metro cuadrado de departamentos y la localización relativa a diferentes amenidades en la ciudad de Buenos Aires. Para ello, se utiliza la metodología propuesta por Anselin (1988) para detectar la autocorrelación espacial y controlar por su posible efecto en los resultados. Asimismo, se incluye una variable dummy que indica si el departamento estaba siendo ofrecido con anterioridad a la irrupción de la pandemia de Covid-19 en Argentina.

Consideramos que la temática propuesta es innovadora y relevante, y hace un aporte al llenar un vacío en la literatura respecto a cómo el Covid-19 impactó en las dinámicas de las ciudades, y por lo tanto en cómo se componen los precios del suelo. Actualmente el grueso de las investigaciones realizadas en este sentido están orientadas a ciudades chinas y estadounidenses. Sin embargo, no hay hasta el momento una metodología robusta, integral y comparable para realizar estudios de este tipo en ciudades de Argentina.

2. Marco teórico.

El marco teórico de la presente tesis se inserta en tres áreas dentro de la economía urbana. En primer lugar la investigación busca analizar la validez en la Ciudad de Buenos Aires (CABA) del modelo de Alonso (1964) y sus subsiguientes desarrollos, que permiten comprender cómo se compone el precio del suelo en las ciudades. Este, a su vez, tiene su efecto en las dinámicas de la construcción de edificios residenciales, industriales, comerciales y de oficinas, moldeando la estructura de las ciudades, y por ende el desarrollo económico y la situación de habitabilidad general de las urbes. El modelo de Alonso, que se desarrollará en los próximos párrafos, es la piedra basal para los análisis del mercado del suelo urbano y las decisiones de localización de los hogares. Aún siendo un modelo simple es una poderosa herramienta conceptual sobre la cual construir modelos más complejos.

En segundo lugar, para el tratamiento metodológico de los objetivos propuestos, se toman los aportes de Anselin (1998) para realizar un análisis en profundidad de las dimensiones espaciales del fenómeno. Este aporte es necesario ya que los desarrollos econométricos clásicos, aquellos que no toman en cuenta la dependencia espacial de los datos, dan resultados sesgados e incorrectos cuando buscan explicar fenómenos urbanos. La metodología desarrollada por Anselin (1998) permitirá ajustar los modelos para poder integrar la econometría al complejo nudo de interrelaciones de las variables espaciales que se dan en las ciudades.

Finalmente se toman los últimos avances en términos del análisis del impacto del covid en las ciudades, tanto del uso del espacio público, espacios verdes, transporte y vivienda.

Retomando las bases de la economía urbana, la teoría de la renta del suelo es una herramienta clave para entender el precio y la distribución de la tierra urbana. En el modelo de Alonso (1964) la demanda de la tierra está determinada por la accesibilidad a las actividades económicas, las amenidades urbanas y valor del suelo por los costos de transporte asociados. Este modelo también asume que hay un centro de negocios en la ciudad, donde la actividad económica es más concentrada y la accesibilidad es mayor: al tratarse de un factor inmovil, la tierra en el centro de la ciudad es la más valiosa y la que tiene una mayor renta económica,

mientras que la tierra más alejada del centro tiene una renta menor debido a su menor accesibilidad.

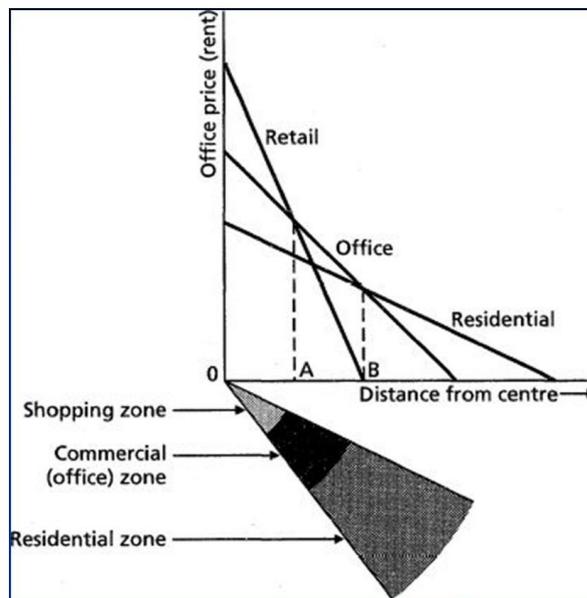


Gráfico 1: Curva de Alonso.

El modelo de Alonso puede ser extendido para considerar la emergencia de múltiples centralidades, un rasgo común en las ciudades post industriales de comienzos del siglo actual.

Por su parte, para Fujita (1989) *“Todo hogar que se traslada a una ciudad y tiene que elegir la ubicación de su residencia se enfrenta con un conjunto complejo de decisiones”*. En este conjunto de decisiones existen tres factores básicos: accesibilidad, espacio, y amenidades ambientales. La función de demanda de localización de los hogares dependerá de diversas características como el tamaño del hogar (cantidad de miembros), etapa del ciclo de vida de los integrantes hogar, los trabajos actuales y esperados por parte de los jefes del hogar, el capital social y cultural acumulado por sus miembros, y variables raciales e identitarias. Sobre la composición familiar *“La función de la demanda se vuelve menos pronunciada a medida que aumenta el número de dependientes.”*, Fujita (1989). De eso se deriva que los hogares con pocos dependientes (como solteros y parejas trabajadoras con pocos hijos), al contar con un poder adquisitivo más elevado, tenderán a residir cerca del centro de la ciudad. Hacia los suburbios, en tanto, se encontrarán hogares de ingresos medios con familias numerosas y pocos viajes hacia el centro de negocios. Aún más lejos, se ubicarán hogares ricos con familias más grandes y pocos viajeros. En la práctica, las ciudades latinoamericanas

se expanden mediante manchas urbanas, este tipo de desarrollo consiste en la creación de nuevas áreas urbanizadas en ubicaciones periféricas, saltando por encima de las zonas ya urbanizadas y sin integrarse con ellas. Este modelo se caracteriza por la construcción de grandes desarrollos inmobiliarios en áreas rurales o suburbanas, generalmente lejos de los centros urbanos consolidados y en una tipología de barrio cerrado, con todas las consecuencias ambientales y sociales que convellan dichos desarrollos. En estas áreas, el modelo de Alonso también tendría su influencia local, desde la periferia hacia las centralidades locales.

En lo que respecta a la puja por el suelo urbano por parte de los residentes Smolka y Goytia (2019) argumentan que *“No son las rentas más altas del suelo lo que hace subir el precio de la vivienda en los mejores lugares, sino más bien el valor de evitar los altos costos de transporte y los servicios de baja calidad en las peores ubicaciones”*. Los autores aclaran que las mayores ganancias de los propietarios de la tierra, *basadas* en la emergencia de una renta económica del suelo, no son originadas por ningún tipo de coerción, sino por la competencia entre *trabajadores* para *acceder* a las mejores localizaciones Smolka y Goytia (2019).

Otro concepto utilizado por Fujita (1998) es el de las "externalidades urbanas" en la teoría económica urbana. Las externalidades urbanas, es decir, los efectos directos e indirectos de las actividades económicas y la densidad poblacional sobre el bienestar de los habitantes de la ciudad, son un elemento clave en la dinámica urbana. A medida que una ciudad crece y se densifica, se observan efectos que, ocurriendo en una parte del espacio, tienen impacto en lugares próximos. Estas externalidades pueden ser positivas, como la generación de nuevas oportunidades de empleo y la creación de redes sociales, o negativas, como la congestión del tráfico, el aumento de la delincuencia o la contaminación.

Además, Fujita (1998) profundiza sobre el modelo monocéntrico de Alonso (1964) y agrega que las ciudades se desarrollan en forma de cintas a lo largo de los corredores de transporte, como ríos o carreteras, debido a la interacción entre las economías de escala y los costos de transporte. La ubicación de las actividades económicas y las zonas residenciales se determinan en función de la accesibilidad a los corredores de transporte, lo que genera una serie de cintas concéntricas de desarrollo urbano. Estos modelos son útiles para analizar la ciudad de Buenos Aires, ya que esta ciudad se desarrolló a lo largo del río de la Plata y cuenta con una serie de corredores de transporte importantes, como las avenidas 9 de Julio, Corrientes, Rivadavia, Libertador, Santa Fe, Cabildo y la autopista 25 de Mayo. La ubicación

de las actividades económicas y las zonas residenciales en Buenos Aires está estrechamente relacionada con la accesibilidad a estos corredores de transporte.

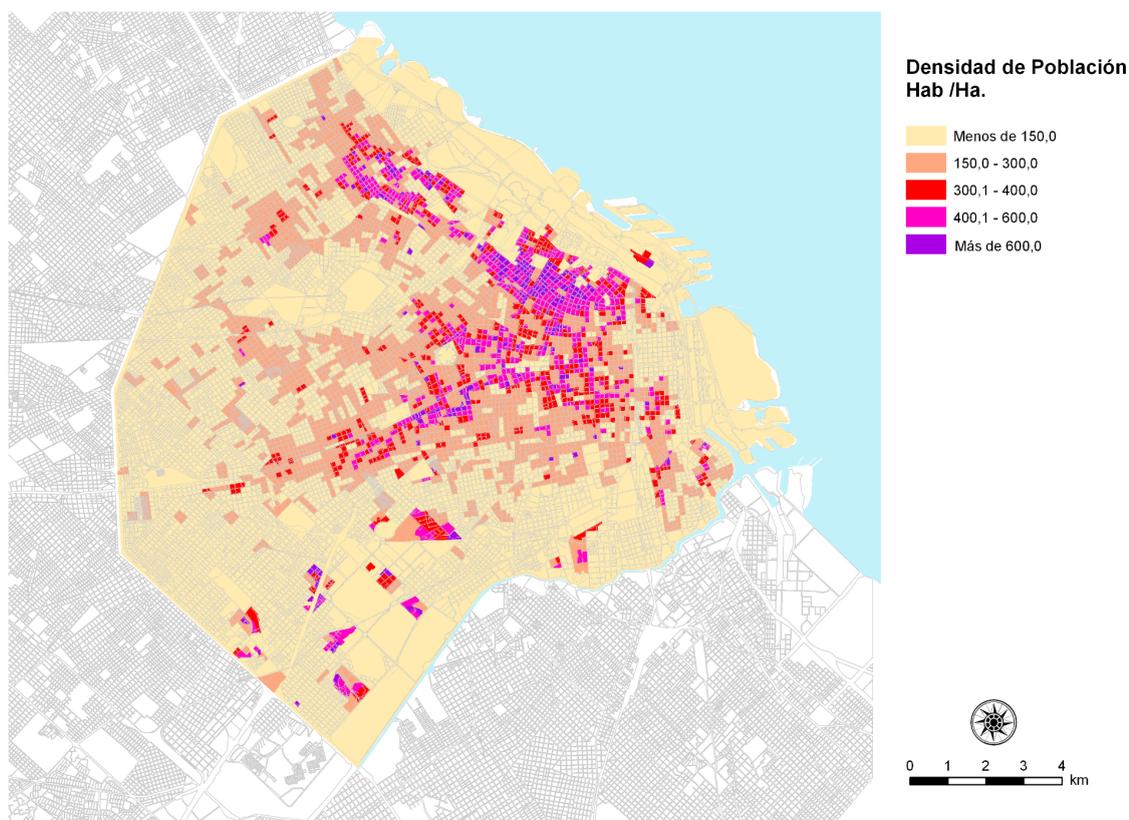


Gráfico 2 : Densidad poblacional CABA, Fuente Subsecretaría de Planeamiento del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

El modelo de la ciudad en cinta también puede ayudar a entender cómo se distribuyen las actividades económicas y las zonas residenciales en Buenos Aires en función de su accesibilidad a los corredores de transporte. Por ejemplo, el centro histórico de Buenos Aires, donde se encuentran la mayoría de las actividades económicas y los edificios históricos, se ubica en una zona con alta accesibilidad a través de la red de transporte público como el subte y las principales avenidas. Por otro lado, los barrios periféricos de la ciudad, como Monte Castro y Mataderos, se ubican en zonas donde los servicios de transporte son menos accesibles, lo que ha llevado a un desarrollo más fragmentado y menos densificado en estas áreas. En el caso del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) las diferentes centralidades emergen a la par de las sedes administrativas e históricas de los municipios, pero siempre vinculados con grandes medios de transporte a la Ciudad de Buenos Aires. A raíz de esto los precios del suelo en la periferia son influidos tanto por el CMdN (Centro

metropolitano de negocios) como por el CLdN (Centro local de negocios). Si bien el análisis del impacto del AMBA excede el presente estudio, es fundamental considerar el mercado inmobiliario como una unidad dentro de las áreas metropolitanas: por ejemplo, uno de los efectos de la pandemia de Covid-19 ha sido el de aumentar la frontera donde se lleva a cabo la transformación de suelo rural a suelo urbanizado, y ante el agotamiento de tierra rural en la ciudad de Buenos Aires, esta situación sólo podría darse en los sectores periurbanos del Área Metropolitana.¹

Según Smolka y Goytia (2019), siguiendo planteos de David Ricardo, *“El suelo se convierte de uso rural a urbano en la periferia de la ciudad cuando la renta para el uso urbano cubre el costo de conversión, más la renta del mejor uso alternativo. Esto fija el límite de la ciudad a cierta distancia del CBD: el punto al cual los emprendedores inmobiliarios no pueden ofrecer más por el suelo que la renta del suelo agrícola. En la práctica, esto quiere decir que el tamaño de la ciudad depende del nivel de utilidad del que gozan todos los oferentes por el suelo.”*

Como se mencionó anteriormente, la tipología de expansión de la población en el territorio geográfico es determinante para la sostenibilidad del sistema urbano, ambiental, social y económico (UASE) a largo plazo.

En conclusión, la teoría de la renta de oferta de suelo, junto con los modelos de demanda de la tierra, accesibilidad y externalidades urbanas desarrollados por Alonso y Fujita, son herramientas clave para entender la dinámica de la ciudad y su desarrollo en función de la accesibilidad a los corredores de transporte y las externalidades positivas y negativas generadas por las actividades económicas y la densidad poblacional.

En el caso de Buenos Aires, estos modelos pueden ayudar a comprender cómo se distribuyen las actividades económicas y las zonas residenciales en función de su accesibilidad a la red de transporte público y los corredores viales, y cómo esto ha generado un desarrollo más denso y concentrado en el centro de la ciudad y una expansión más fragmentada y menos densa en las zonas periféricas. Además, estos modelos permiten entender cómo la renta del suelo se determina por la accesibilidad y la competencia entre los trabajadores por los mejores lugares, y cómo los propietarios aprovechan esta situación para obtener mayores ganancias.

¹<https://www.lanacion.com.ar/economia/negocios/barrios-privados-es-boom-compra-lotes-nordelta-nid-2446245/>

Estos aportes son fundamentales para proporcionar una base para identificar las relaciones causales potenciales entre las diferentes variables. De esta manera se seleccionarán aquellas variables, que, basadas en los aportes teóricos podrán establecer la mejor relación de causalidad posible. En esas líneas, en lo que respecta al sustento teórico sobre la metodología aplicada, el marco conceptual de los patrones de uso del suelo es necesario para operativizar las variables de interés del presente estudio en los métodos de valoración hedónica y de econometría espacial. Estos últimos tienen como fin último evaluar los precios de los inmuebles en relación con sus características físicas y de ubicación.

Si bien la utilización de métodos de precios hedónicos tiene varios exponentes que a lo largo del siglo 20 han contribuido al desarrollo de estas metodologías y teorías, como por ejemplo Haas (1922), Court (1939) y Wallace (1926) citado por Herath & Maier (2010), la formalización inicial se atribuye a Sherwin Rosen mediante la publicación de su artículo titulado "*Precios hedónicos y mercados implícitos: diferenciación de productos en competencia pura*" Rosen (1974). En el artículo mencionado, Rosen propone analizar la relación entre el precio de un bien y sus características o atributos individuales. De la propuesta inicial se desprende que la demanda de bienes con diferentes atributos pueden crear mercados implícitos, en los que compradores y vendedores pueden intercambiar productos en función de estos atributos.

Usando un modelo simple de un mercado competitivo, Rosen muestra cómo la demanda de diferentes atributos puede conducir a la diferenciación del producto y la creación de distintos mercados implícitos. Argumenta que este proceso de diferenciación es esencial para un mercado competitivo, ya que permite a las empresas ofrecer productos únicos que satisfacen las necesidades y preferencias específicas de los consumidores. Este enfoque es particularmente adecuado para el estudio del precio de los inmuebles, dado que se trata de bienes inmóviles, cuyas características vienen determinadas por su localización relativa y en donde la competencia se encuentra muy limitada. De hecho, la consideración de la localización de los inmuebles, a través de los costos de transporte en un espacio homogéneo, lleva a la inexistencia de un equilibrio competitivo y a la emergencia de múltiples autarquías y la desaparición del comercio, Fujita (2013)

Por su parte, los métodos hedónicos de valuación inmobiliaria se basan en la idea de que el precio de un inmueble está determinado por una serie de características o atributos, como la ubicación, el tamaño, el estado de mantenimiento y las comodidades cercanas. Estos métodos

permiten estimar la contribución de cada atributo al precio de una propiedad y, por lo tanto, pueden ser utilizados para evaluar el impacto de factores urbanos, como la accesibilidad y el uso del suelo, en los precios de la propiedad.

La econometría es la rama de la economía que utiliza métodos estadísticos para analizar datos económicos. El modelo de precios hedónicos utiliza la econometría para estimar los valores implícitos de las características de un producto o servicio que contribuyen a su precio total.

En su investigación, Rosen utilizó el análisis de regresión hedónica para estimar los precios implícitos de los atributos de la vivienda, como el número de dormitorios, baños y superficie. Descubrió que estos atributos tienen un impacto significativo en el precio de venta de las casas y que, al usar un modelo hedónico, se podía estimar el valor de cualquier casa específica en función de sus atributos.

Por su parte, Roback (1982) demuestra que no solo el precio de venta de las propiedades y su gradiente se modifica, sino también el de los ingresos de los trabajadores y de los alquileres. Algunas de las razones que propone es el diferencial en salarios que algunos trabajadores podrían demandar para vivir en ciudades grandes y con contaminación. En este escenario, las firmas deberían *tener* una ventaja de productividad para afrontar la prima salarial requerida para la localización de sus trabajadores. Esto se debe a que *“En el problema de asignación espacial, las personas no pueden ocupar el mismo espacio aunque sus preferencias sean idénticas. Por lo tanto, la escasez de tierras disponibles da lugar a una restricción adicional.”*, Roback (1992). De este análisis resulta que, en referencia a las externalidades *“Los precios de los crímenes, la contaminación y el clima frío indican que estos atributos son verdaderamente desventajas, mientras que los días despejados y, sorprendentemente, la densidad de población se consideran ventajas.”*

Sin embargo, si bien el precio de un inmueble depende de sus características intrínsecas como el número de dormitorios o la superficie edificada, Rosen (1974) y de factores estructurales que afectan a todos los inmuebles en una magnitud similar, como la contaminación o la productividad derivada de redes extensas de contacto, Roback (1982), se trata de un fenómeno determinado por la existencia de múltiples externalidades locales. Es decir, además de los factores previamente mencionados, el precio de los inmuebles depende de su localización dentro de la ciudad y de las características del entorno en donde se encuentra ubicado: es un fenómeno estrictamente espacial. Los métodos hedónicos basados en regresiones generalmente no toman en cuenta la autocorrelación espacial que rompe con uno

de los supuestos econométricos más fuertes, el de producir estimadores insesgados. La propiedad de insesgadez no se verifica cuando existe dependencia o heterogeneidad espacial. Según Waldo Tobler (1970) *“todo está relacionado con todo lo demás, pero cosas cercanas están más relacionadas que cosas distantes. Los atributos con un índice espacial están correlacionados a menos que estén suficientemente lejanos”*. Esta observación empírica, conocida como “Primera ley de la geografía”, describe de manera adecuada la tendencia de los precios de las propiedades ubicadas cerca unas de otras a ser más similares que los precios de las propiedades ubicadas más lejos. Esto se debe a que *“Las relaciones espaciales son multidireccionales y multilaterales. Son distintas, en este sentido, de las relaciones temporales, que sólo permiten relaciones secuenciales a lo largo del eje pasado-presente-futuro”* (Loonis, 2018)

En rigor, la autocorrelación espacial es positiva cuando los valores similares de la variable que se estudia están agrupados geográficamente. La autocorrelación espacial es negativa cuando los valores disímiles de la variable que se estudia se aglomeran geográficamente, es decir, las ubicaciones cercanas son más diferentes que las ubicaciones remotas, Anselin (1998). Este tipo de situación se encuentra comúnmente en la presencia de competencia espacial. En ausencia de autocorrelación espacial, se puede considerar que la asignación espacial de las observaciones es aleatoria. Luc Anselin (1998) ha desarrollado técnicas de econometría espacial para abordar este problema, como modelos de retardo espacial y modelos de error espacial.

En ese sentido, los modelos lineales que incorporan la autocorrelación espacial son herramientas de análisis utilizadas para examinar la relación entre variables en el espacio, incorporando dentro de los efectos estimados por el modelo a la dependencia espacial entre las observaciones.

En los modelos de autocorrelación espacial se utiliza una matriz de ponderación espacial, también llamada matriz de vecindario o matriz de pesos espaciales, que resume la forma y la intensidad de las interacciones entre diferentes localizaciones. La matriz de ponderación espacial puede tomar diversas formas, como una matriz binaria que indica si las observaciones son o no vecinas en el espacio, dentro de un rango predefinido, o una matriz que pondera la estructura del vecindario por la inversa de la distancia euclidiana entre las observaciones, entre otras Loonis (2018).

Una vez que se ha construido la matriz de ponderación espacial, se puede utilizar un modelo de regresión lineal para examinar la relación entre las variables de interés, pero teniendo en cuenta la dependencia espacial en los datos. Los modelos de autocorrelación espacial utilizan una variedad de técnicas para incorporar la matriz de ponderación espacial en la especificación del modelo de regresión lineal.

En un modelo de retardo espacial, aplicable a aquellos fenómenos en donde se ha detectado dependencia espacial en la variable dependiente, la variable dependiente se regresa contra un conjunto de variables independientes y contra una variable explicativa que refleja el promedio ponderado de la variable dependiente en las ubicaciones cercanas. En otras palabras, el modelo asume que el valor de la variable dependiente en un lugar se encuentra determinado por el valor de la variable dependiente en ubicaciones cercanas.

El modelo de error espacial es otro tipo de modelo de regresión, en dos etapas, que se utiliza para analizar datos espaciales. Al igual que en un modelo de retardo espacial, la variable dependiente se regresa contra variables explicativas, pero en un modelo de error espacial, se asume que hay una correlación espacial en los errores del modelo. En otras palabras, un modelo de error espacial asume que los errores del modelo están correlacionados espacialmente, lo que significa que los errores en una ubicación pueden estar relacionados con los errores en ubicaciones cercanas.

En comparación con un modelo de retardo espacial, un modelo de error espacial es más adecuado para situaciones en las que la variable dependiente no está correlacionada espacialmente, pero los errores del modelo sí lo están. Por ejemplo, si se está analizando el efecto de la educación y los ingresos en la salud, la salud no necesariamente estará correlacionada espacialmente, pero los errores del modelo (es decir, las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo) pueden estar correlacionados espacialmente, Loonis (2018). También es un modelo apto para dar cuenta del efecto espacial de variables omitidas en la regresión.

Una cuestión empírica importante, relacionada con el modelo de precios hedónicos, es la elección de la forma funcional. Hay varias formas funcionales básicas, como formas lineales, semilogarítmicas y logarítmicas, que se pueden aplicar al modelo de precios hedónicos. La especificación del modelo es crítica para obtener estimaciones confiables en el modelado de precios hedónicos. Anselin (1998) ha abogado por el uso de una forma funcional flexible que

pueda capturar las relaciones no lineales entre el precio de una propiedad y sus características.

Por lo tanto, los avances en los modelos de precios hedónicos han sido ampliamente utilizados para analizar el mercado inmobiliario ya que permite estimar la contribución independiente de cada atributo al precio de una propiedad. El modelo de precios hedónicos utiliza métodos estadísticos para estimar la demanda de diferentes características de un producto o servicio y predecir cómo los cambios en estas características afectarán su precio. Por su parte, los modelos de Anselin (1998) permiten un ajuste estadístico riguroso y específico para corregir los problemas espaciales de los datos en métodos de valoración hedónica. De esta manera, se pretende dar un tratamiento metodológico riguroso a los objetivos propuestos en la presente investigación.

3. Estado del arte.

Para comprender los efectos del Covid en el mercado inmobiliario, es útil retomar los efectos de las epidemias de diferentes tipos en general y sus efectos en el mercado del suelo. Francke y Korevaar (2021), encontraron en Amsterdam y París, a través de diferentes períodos de epidemia, que las propiedades vendidas dentro de los seis meses posteriores a los brotes experimentan caídas en los precios de hasta un 13%. Este efecto es robusto al ajustar por efectos fijos del mes, tipos de venta, modificaciones en la composición de las propiedades que cambian de propietarios y ocurre con mayor impacto en las zonas más afectadas por las enfermedades. Es importante destacar que este efecto es temporal: solo está presente en los primeros seis meses de una epidemia.

En lo que respecta a las últimas investigaciones relacionadas a la variación de los precios del suelo relacionados con el Covid-19. Batalha, Gonçalves, Peralta, & Pereira dos Santos (2022) Estudian el impacto causal del shock negativo en los alquileres a corto plazo causado por el Covid-19 en Lisboa, aplicando un análisis de diferencias en diferencias utilizan un tratamiento a nivel comunal que se basa en la disponibilidad de alquileres a corto plazo antes de la pandemia, utilizando datos entre el tercer trimestre de 2018 y el tercer trimestre de 2020. Los resultados sugieren que los propietarios reubicaron propiedades en el mercado de alquiler a largo plazo, en el que los precios bajaron un 3,5%, mientras que las cantidades

ofertadas aumentaron un 20%. También encontraron evidencia de un impacto negativo en los precios de venta de 4.8% en áreas afectadas más fuertemente por el Covid-19.

Por su parte, Liu & Su (2021) encuentran que *“La pandemia ha llevado a un cambio en la demanda de vivienda lejos de los vecindarios con alta densidad de población. La menor demanda de densidad se debe en parte a la menor necesidad de vivir cerca de empleos compatibles con el teletrabajo y la disminución del valor del acceso a los servicios de consumo. Barrios con altos valores de vivienda antes de COVID-19 también ven una mayor caída en la demanda de vivienda”* Por su parte, Gupta et al. (2021) muestran que *“La pandemia de COVID-19 provocó caídas en los precios de las viviendas y los alquileres en los centros de las ciudades, y aumentos en los precios y los alquileres lejos del centro, lo que aplanó la curva de oferta y alquiler en la mayoría de las áreas metropolitanas de EE. UU.”*

A su vez Yang, Liang, He & Yi (2022) utilizando un conjunto de datos único de transacciones de propiedades en Chengdu, China, analizaron los efectos de la pandemia COVID-19 en los mercados inmobiliarios. A través del uso de modelos de precios hedónicos y modelos de diferencia en diferencia, encontraron que el precio implícito de la accesibilidad del metro disminuyó de -0.024 a -0.018 durante la pandemia. Además, se observó una disminución del 15.4% en el precio relativo de las propiedades situadas dentro de un radio de 500 metros de las estaciones del metro en comparación con aquellas ubicadas a más de 500 metros y menos de 3km. Estos hallazgos proporcionan una comprensión valiosa de cómo el contexto de pandemia afecta a la relación entre accesibilidad y los precios de los inmuebles.

Por otro lado de acuerdo con el estudio *"Real-time indicators of the supply side of the housing market: An application to the UK during the Covid-19 pandemic"* Bricongne, Meunier & Pouget (2020), durante el período de aislamiento obligatorio, se observó una disminución en las nuevas publicaciones de propiedades y ajustes de precios para las propiedades existentes, lo que indica que los vendedores adoptaron un enfoque de *"esperar y ver"*. Sin embargo, se encontró evidencia de que los vendedores estaban más dispuestos a reducir sus precios después, especialmente para las propiedades que ya estaban en el mercado desde hace tiempo. El precio promedio disminuyó ligeramente durante la cuarentena hasta principios de mayo de 2020, después de lo cual comenzó a aumentar a nivel nacional. Sin embargo, esta tendencia ocultó desigualdades regionales, ya que en la zona de Londres se observó una disminución continua en el precio promedio de las publicaciones desde el inicio de la cuarentena hasta septiembre de 2020.

Akbari Lor (2022), en su tesis de maestría, analizó las transacciones de viviendas en Rotterdam, desde febrero de 2019 hasta diciembre de 2021. Uno de los cambios en los gradientes del valor del suelo que se desprenden del análisis se relaciona con la alteración de la importancia de la distancia a los distritos comerciales centrales (CBD) en 2020. Su análisis muestra que el indicador CBD perdió alrededor del 50% de su valor en comparación con el tiempo antes de la pandemia, y su valor volvió relativamente al nivel anterior en 2021. Después de la distancia al CBD, la distancia al hospital es el factor más influyente en el precio de una propiedad. La fluctuación del resultado para los tres años mencionados es la misma que la tendencia para la distancia a las calles. Primero experimentó un aumento en el valor, y luego disminuyó.

En lo que respecta a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la variación del mercado a partir del Covid-19, Poore (2021) menciona que *“Un análisis georreferenciado indica que el corredor corporativo del microcentro perdió un gran número de empleos presenciales, al tiempo que se advierte cierta potencialidad para la consolidación de subcentros en barrios como Palermo, Caballito, Flores, Recoleta, Núñez, Colegiales y Villa Crespo, que han visto surgir un gran número de nuevos hogares con teletrabajadores.”* En efecto, del estudio se desprende que *“buena parte de los empleos realizados por ocupados con estudios secundarios o superiores estaban localizados en el microcentro porteño o CBD, y que fue allí donde se observó una mayor desconcentración por efecto de las actividades que dejaron de realizarse de manera presencial para evitar la propagación de los contagios. Este efecto fue particularmente marcado en el corredor corporativo de Retiro, Puerto Madero, San Nicolás y Monserrat, donde para noviembre de 2020 más del 80 por ciento de los puestos ocupados por trabajadores con dichos niveles educativos se estaban realizando de manera remota”*

En base a lo anterior, la modificación de los lugares y las formas de trabajo a partir del Covid-19, y del aumento del teletrabajo implican una modificación de las necesidades de transporte y por lo tanto de la curva de precios del suelo. Si bien aún es pronto para saber qué tan perdurables serán estos efectos en los mercados inmobiliarios, es importante tomar nota de su impacto coyuntural sobre la gestión urbana y la forma de vida en nuestras ciudades.

En cuanto a la influencia de otras variables territoriales, como la proximidad a de espacios verdes, Czembrowski & Kronenberg (2016) realizaron un estudio en la ciudad de Lodz, la tercera en tamaño de Polonia. Su objetivo fue distinguir la influencia de nueve tipos diferentes de espacios verdes en los precios de las propiedades: pequeños parques y pequeños

bosques (menor a 18.000 m²); parques medianos y bosques medianos (18 000–200 000 m²); grandes parques y grandes bosques (más grandes que 200.000 m²); el bosque más grande que constituye una categoría en sí mismo (más de 13.000.000 m²); cementerios; y huertos familiares. Además, utilizaron un porcentaje de vegetación en un radio de 500 m como un proxy de la condición ambiental más general. En su estudio encuentran que los diferentes tipos de espacios verdes ejercen diferentes impactos en los precios de las propiedades. Las variables ambientales con mayor impacto fueron las distancias al bosque de Lagiewniki, el más grande de la ciudad y a los grandes parques. Un aumento del 1% en la distancia al bosque de Lagiewniki se tradujo, en promedio, en una disminución del precio promedio por metro cuadrado de un apartamento del 3%. El impacto positivo de los grandes bosques en los precios de las propiedades ha sido reportado con frecuencia en otros estudios de precios hedónicos: Engström y Gren (2017) encuentran para la ciudad de Malmö, Suecia que las propiedades cerca de los principales parques de la ciudad tienen un valor en promedio 3% mayor en comparación con el promedio de la ciudad. Es importante destacar que en su estudio no incluyen parques de menos de 40.000 metros cuadrados.

En cuanto al impacto del arbolado urbano, Netusil, Chattopadhyay & Kovacs (2010) estimaron los beneficios de grandes parches de cobertura arbórea mediante la aplicación de un modelo de precios hedónicos en la venta de propiedades residenciales unifamiliares en Portland, Oregón. En la primera etapa del análisis, proporcionaron evidencia de rendimientos decrecientes al aumentar la cobertura arbórea más allá de cierto nivel. Por otro lado, para superar el problema de endogeneidad, en la segunda etapa del análisis utilizaron una encuesta de preferencias y características socioeconómicas de los propietarios. Según el modelo de segunda etapa, estimaron que los beneficios promedio para la cobertura arbórea media en un radio de $\frac{1}{4}$ de milla de las propiedades en el área de estudio oscilaron entre el 0,75% y el 2,52% del precio medio de venta. En su tesis de maestría, Ostojic (2016) hace un análisis del arbolado urbano de la Ciudad de Buenos Aires y su impacto en los precios inmobiliarios, encontrando un impacto positivo asociado a la incorporación del arbolado urbano en un radio de 75 metros de las propiedades; por otro lado, cuando se encuentran diferentes especies en el torno, en vez de una misma unidad paisajística, el efecto no se convalida.

En relación al efecto de los medios de transporte sobre el precio de los inmuebles, los resultados principales del estudio realizado por Seo, Golub & Kuby (2014) muestran que las distancias desde ambos tipos de nodos de transporte (estaciones de trenes ligeros y salidas de autopistas) presentan una forma de U invertida. Es decir, que estar en cercanía directa implica

perjudicar el precio de los inmuebles y a medida que se alejan se tornan positivas y a partir de cierta distancia, vuelven a caer. Las autopistas subterráneas tuvieron un impacto relativamente positivo en las casas cercanas en comparación con las autopistas a nivel del suelo o por encima del mismo.

Por otro lado, Ibnu Syabri (2011) encuentra que la estación de ferrocarril tiene un efecto positivo en los valores de las propiedades residenciales cercanas, lo que se traduce en un gradiente de precios en declive a medida que aumenta la distancia a la estación. A través de la incorporación de los efectos del vecindario en las estimaciones hedónicas espaciales, se demostró que los beneficios totales, que incluyen efectos directos y multiplicadores de vecindario, son significativamente mayores que las estimaciones obtenidas mediante estimaciones no espaciales.

Por lo tanto, es posible identificar una producción académica abundante que aborda la determinación de los precios de los inmuebles mediante técnicas de precios hedónicos. La incorporación de la dependencia espacial al fenómeno, mediante modelos espacialmente autorregresivos, es un tanto más escasa, mientras que su aplicación a las ciudades Argentinas es significativamente exigua.

4. Metodología y Resultados.

4.1 Base de datos utilizada.

La muestra del estudio estará compuesta por los datos de publicaciones de venta de viviendas durante los años 2019, 2020 y 2021 del portal de datos abiertos de Properati Data². Si bien el uso de precios de oferta en estos modelos es ampliamente utilizado, existen varios sesgos asociados con su uso y se resaltan las limitaciones de este enfoque.

² Properati Argentina. (n.d.). Data. Extraído de <https://www.properati.com.ar/data/>

Entre las principales limitaciones que surgen del uso de precios de oferta encontramos, en primer lugar, que estos pueden sufrir un sesgo de selección ya que sólo reflejan los precios de los departamentos que están disponibles en el mercado en un momento determinado.

Por otro lado, los precios de oferta pueden no proporcionar información precisa sobre los precios de transacción, ya que sólo muestran el precio al que se listó el apartamento, en lugar del precio de transacción real. En el mismo sentido, en un mercado inmobiliario en el que los vendedores tienden a fijar precios de venta altos para dejar espacio para la negociación, utilizar los precios de lista como sustitutos de precios de transacción puede sobreestimar la verdadera relación entre los precios de la vivienda y otras variables de interés.

Una limitación adicional de la base de datos utilizada consiste en la carencia de información sobre la antigüedad, categoría constructiva y estado de conservación de los inmuebles analizados. Si bien estas características suelen encontrarse aglomeradas en el espacio, su no observación consiste en un sesgo con consecuencias potencialmente considerables en los resultados.

A continuación, se detalla el proceso de adecuación de la base de datos de Properati. En primer lugar, del total de 1.000.000 de observaciones se seleccionaron aquellas que se encontraban dentro del polígono que define el límite administrativo de la Ciudad de Buenos Aires, descartándose también aquellas que no contaban con coordenadas geográficas y estaban publicadas para alquiler. Posteriormente, se eliminaron aquellas observaciones cuyo precio de mercado (ofertado) no se encontrara expresado en dólares, partiendo de la base que el mercado de venta de inmuebles en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires está fuertemente dolarizado.

Finalmente, se mantuvieron en la muestra sólo aquellas observaciones cuya tipología declarada se correspondiera a “departamentos”. La decisión metodológica de dejar de lado casas y lotes descansa en la teoría del mayor y mejor uso, según la cuál toma mucha relevancia el factor de constructibilidad asignado a cada lote según el código urbanístico y la utilización intensiva del espacio urbano. Esta limitación no se observa en los departamentos que, se asume, se venden para habitar o para alquiler y no para otros usos. Esto no deja de sesgar la muestra, debido a que el precio de mercado de las casas, en teoría, puede ser menos propenso a verse afectado por la distancia a plazas y parques puesto que generalmente cuentan con patios internos y si puede verse más afectado por la cercanía a vías primarias o secundarias ya que son habitadas por propietarios con automóviles. Además, en la Ciudad de

Buenos Aires, la concentración de casas se encuentra en la periferia y más cerca de la Av. General Paz.

Al finalizar el procesamiento de la base de datos para su adecuación al estudio se contó con un total de 26.448 observaciones. Dada la magnitud de la base de datos, y los requerimientos computacionales necesarios para los modelos de econometría espacial aplicados, se tomó una sub-muestra aleatoria de 15.000 observaciones. Con la muestra final conformada ($n = 15.000$) se realizaron todos los procesos econométricos en un servidor con 16 núcleos y 62 GiB de RAM. La utilización de la muestra inicial, consistente en 26.448 observaciones no era computacionalmente viable con estos recursos disponibles. Todos los procesos cuantitativos aplicados para el diseño de la información territorial utilizada fueron realizados utilizando el lenguaje de programación R (R Core Team, 2023)³.

Una vez definida la muestra se procedió al cálculo de las diferentes variables utilizadas en la estimación. La variable dependiente (pm_2) surge de la división del precio de lista y la totalidad de metros cuadrados cubiertos propios del inmueble. Las variables independientes se pueden agrupar en aquellas referidas a la localización relativa de los inmuebles (distancias a diferentes hitos urbanos), características del entorno, características propias de cada inmueble (como la superficie propia), y variables estructurales con potencial de afectar a todos los inmuebles en una misma magnitud (es el caso de la variable dummy utilizada para indicar si las observaciones entraron al mercado antes o después de la pandemia de Covid-19).

Para el caso de las variables de entorno se definió un vecindario de 500 metros a la redonda. Para definir esta distancia se estimó un semivariograma teórico sobre los datos muestrales, considerando el rango de autocorrelación espacial del precio por metro cuadrado de los inmuebles en la muestra⁴ sólo entre los 0 y los 1.500 metros. El ajuste del modelo fue realizado mediante la librería de R “gstat” (Pebesma, 2004) (Gräler, et al, 2016).

³ R Core Team. (2023). R: The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

⁴ Como se explicará posteriormente, este mismo criterio fue el aplicado para la construcción de la matriz de pesos espaciales aplicada en los modelos de regresión espacial.

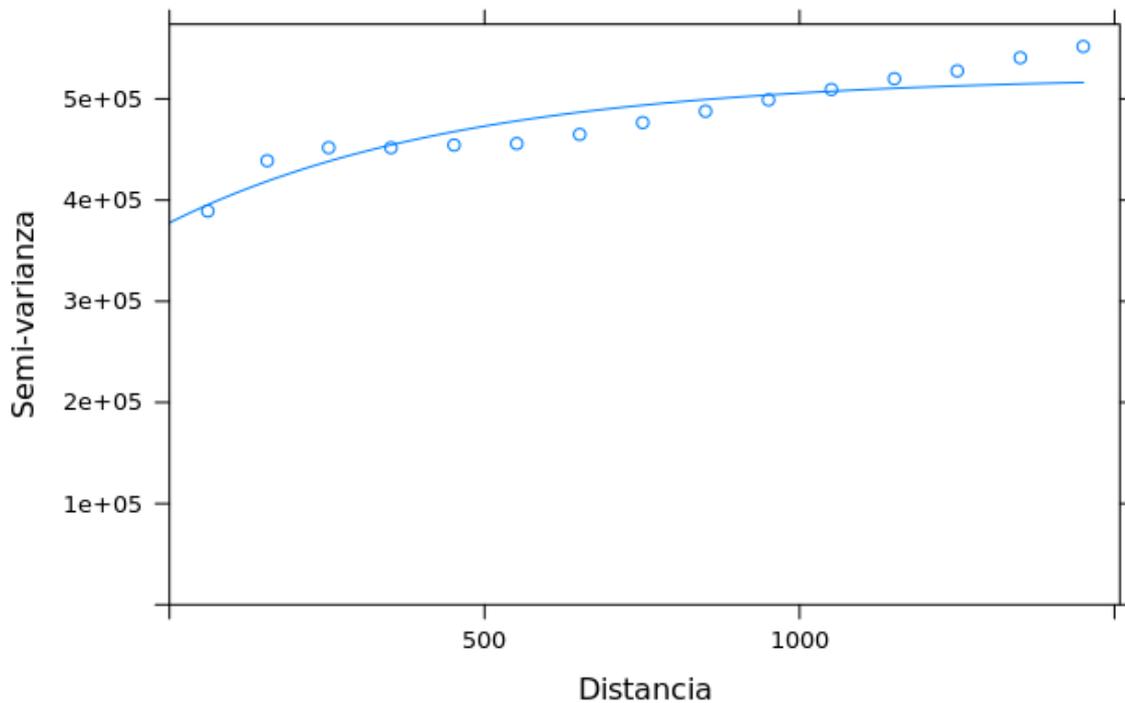


Gráfico número 3: Semivariograma del pm2.

En el caso de variables independientes que miden la localización de los inmuebles respecto de diferentes hitos urbanos, la distancia se tomó como la distancia euclidiana hacia el punto o polígono de interés. Esto conlleva ciertas limitaciones, ya que lo que realmente es de relevancia para analizar las relaciones es el tiempo efectivo de transporte, de otra manera se subestiman áreas con barreras urbanas que no permiten un buen uso del transporte o aquellas que sufren de congestión o mayor duración de tiempos de viaje. Para próximos análisis se podrían incorporar análisis de redes para reflejar los tiempos de viaje reales entre diferentes modos. Todos los cálculos de distancia se realizaron utilizando la librería de R “sf” (Pebesma & Graeler, 2023)

En lo que respecta a distancia a espacios verdes se tomaron en cuenta las distancias a Parques y Plazas, según la nomenclatura del gobierno de la ciudad y sus bases de datos abiertos.⁵ En lo que respecta a los parques y plazas, como se mencionó anteriormente, se tomó en cuenta la distancia euclidiana a los mismos. Sin embargo, otros factores podrían dar una mejor estimación, como por ejemplo, la cantidad de plazas y parques en un radio de 500/1000 metros o incluso el tamaño del parque más cerca, esto se debe a que no solo importa la

⁵<https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/espacios-verdes>

clasificación, pero también el tamaño del mismo, del mismo modo, se podría clasificar a los parques según su calidad para reflejar mejor su deseabilidad.

Para la distancia a asentamientos informales, se utilizó la base de datos del Registro Nacional de Barrios Populares.⁶

En el caso de la distancia a autopistas, vías primarias, vías secundarias, hoteles en el entorno, comercios en el entorno se utilizó la API (Application Programming Interface) de Openstreetmap (OSM), mediante la librería de R “osmdata”⁷ (Padgham, et al, 2017)⁸ . Aunque OSM es una fuente de datos muy rica y actualizada constantemente, la calidad de los datos puede variar según la ubicación y la disponibilidad de los colaboradores en la zona. Esto puede generar inexactitudes y errores en los datos que pueden afectar la precisión de los modelos de regresión espacial.

En el caso de la variable que mide la cantidad de delitos⁹ en el entorno, se toma en cuenta los robos con violencia y los homicidios en el período de 2021, dejando de lado el hurto y las lesiones, estos cambios pueden llevar a subestimar su efecto en aquellos barrios donde el delito haya aumentado y sobrestimar en aquellos barrios donde el delito se haya reducido. En análisis futuros es posible incorporar a cada publicación de venta los delitos en el entorno correspondientes a su año.

Finalmente se calculó la densidad de edificaciones en el entorno, utilizando información abierta del gobierno de la Ciudad de Buenos Aires¹⁰. La consideración de esta variable apunta a analizar el efecto de la oferta potencial de metros cuadrados edificados sobre el precio por metro cuadrado de los inmuebles, asumiendo que a una mayor densidad, y habiendo considerado el resto de las variables territoriales mencionadas anteriormente, es probable observar precios más bajos.

⁶ Argentina. Ministerio de Desarrollo Social. (n.d.). Mapa de barrios populares. Extraído de <https://www.argentina.gob.ar/desarrollosocial/renabap/mapa>

⁷ Mark Padgham, Bob Rudis, Robin Lovelace, Maëlle Salmon (2017). osmdata Journal of Open Source Software, 2(14). URL <https://doi.org/10.21105/joss.00305>

⁸ Datos de mapas con derechos de autor de los contribuyentes de OpenStreetMap y disponibles en <https://www.openstreetmap.org>

⁹ Ministerio de Justicia y Seguridad. (2021). Delitos [Data set]. Buenos Aires Ciudad - Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Extraído de <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/delitos>

¹⁰Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (n.d.). Tejido : Edificación de la Ciudad especificada según altura y dividida por barrios. [Dataset] <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/tejido-urbano>

La selección de la casa rosada como área central de negocios en la ciudad de Buenos Aires se remonta a su desarrollo histórico, cuando la ciudad comenzó a fines del siglo XIX y principios del siglo XX a experimentar un rápido crecimiento económico gracias a la exportación de materias primas y el establecimiento de nuevas empresas comerciales y financieras. En ese momento, la casa rosada se convirtió en un símbolo de la presidencia y la política nacional, así como en un centro importante para la actividad comercial y financiera.

Esta selección se basó en la concentración de actividades económicas y financieras en el centro de la ciudad, lo que permitía a las empresas minimizar los costos de transporte, acceder a una gran cantidad de mercados cercanos, desarrollar derrames de conocimiento, facilitar la atracción de recursos humanos y aprovechar economías de escala.

La Tabla 1, a continuación, describe las variables utilizadas en las estimaciones econométricas, mientras que la Tabla 2 indica las estadísticas descriptivas de cada una de estas variables.

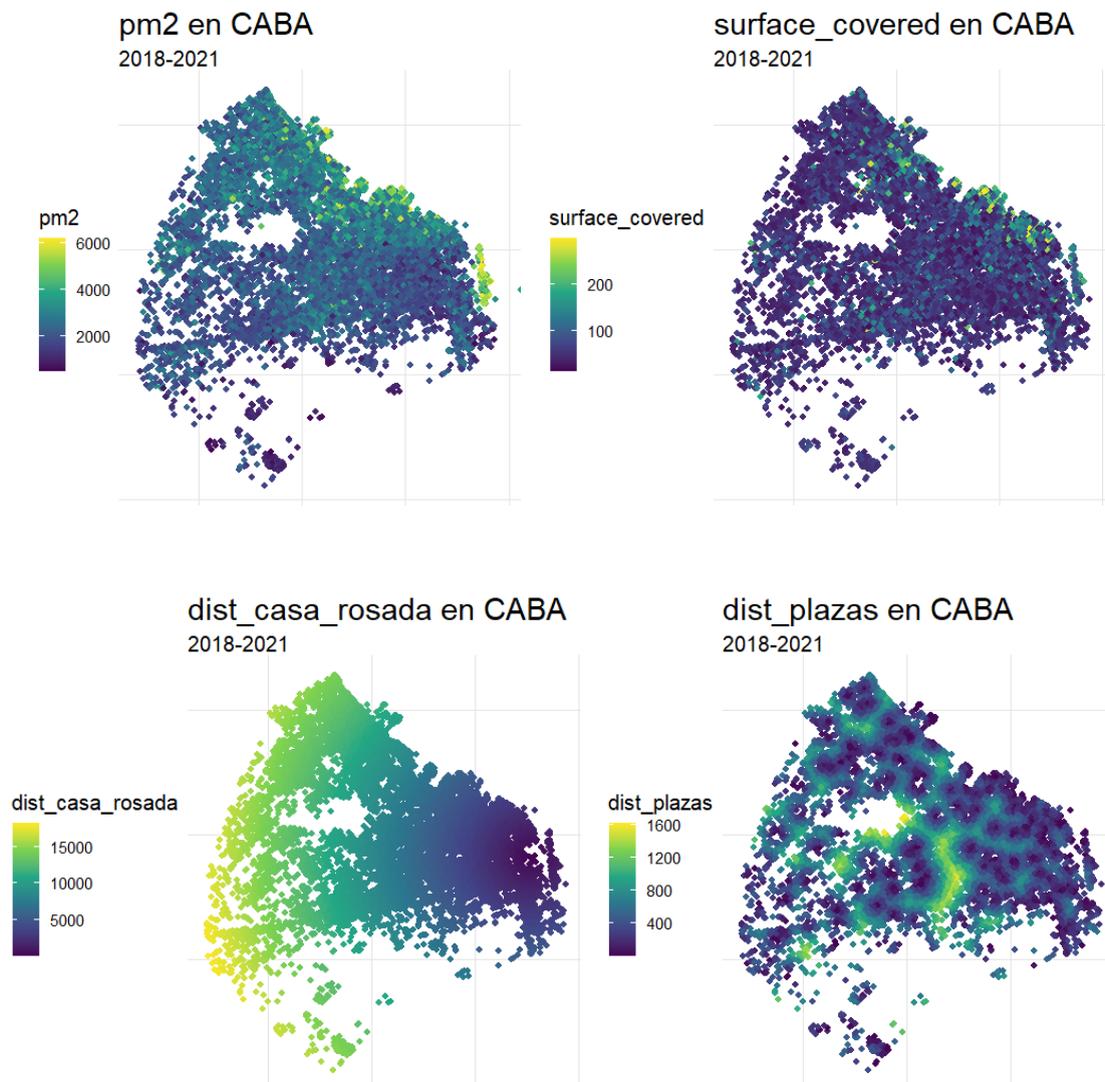
Variable	Descripción
pm2	Precio ofrecido en USD dividido por la superficie del inmueble
surface_covered	Superficie total del inmueble
casa_rosada	Distancia euclidiana a la casa rosada en metros
plazas	Distancia euclidiana a la plaza más cercana en metros
parques	Distancia euclidiana al parque más cercano en metros
dist_vias_autop	Distancia euclidiana a la autopista más cercana en metros
dist_vias_prim	Distancia euclidiana a la vía primaria más cercana en metros
dist_vias_sec	Distancia euclidiana a la vía secundaria más cercana en metros
dist_renabap	Distancia euclidiana al Barrio Popular más cercano en metros
comercios_entorno	Cantidad de comercios en un entorno de 500 metros del inmueble
hoteles_entorno	Cantidad de hoteles en un entorno de 500 metros del inmueble
delitos_entorno	Cantidad de delitos en un entorno de 500 metros del inmueble
densidad_edif	Metros cuadrados edificados en un radio de 500 metros del inmueble
Covid	Variable Dummy. 0 si \leq 03/2020 y 1 si $>$ 03/2020

Tabla 1- Metadata de las variables

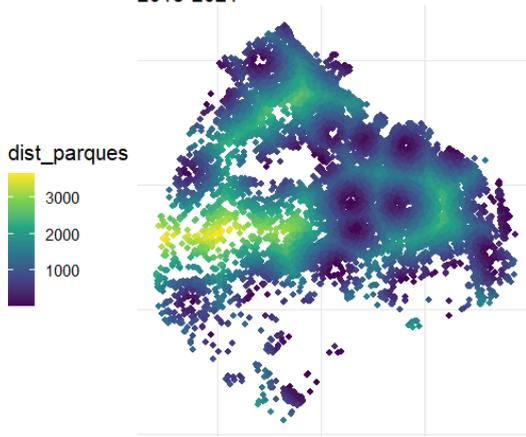
Variable	Promedio	Mediana	Min	Max	Desv. Est.	CV (%)
pm2	2625.89	2500.00	535.21	6206.90	859.85	32.75
surface_covered	70.55	58.00	14.00	299.00	42.93	60.85
casa_rosada	8015.12	7708.00	99.33	18250.76	4151.41	51.79
plazas	467.03	408.72	0.00	1627.32	295.85	63.35
parques	1204.68	1119.01	0.00	3679.43	669.79	55.60
dist_vias_autop	2058.75	1966.69	1.08	5568.44	1236.55	60.06
dist_vias_prim	773.84	499.75	0.03	4357.65	822.82	106.33
dist_vias_sec	215.51	169.31	0.00	1356.35	186.85	86.70
dist_renabap	2145.80	2081.98	2.42	4832.49	980.59	45.70
comercios_entorno	83.60	63.00	0.00	597.00	79.41	94.99
hoteles_entorno	3.070	1.00	0.00	56.00	6.10	198.7
delitos_entorno	274.93	234.00	0.00	1216.00	174.03	63.30
densidad_edif	5.94	6.27	0.00	9.95	1.67	28.11
Covid	0.53	1.00	0.00	1.00	0.50	94.34

Tabla 2- Estadística descriptiva de las variables del modelo econométrico.

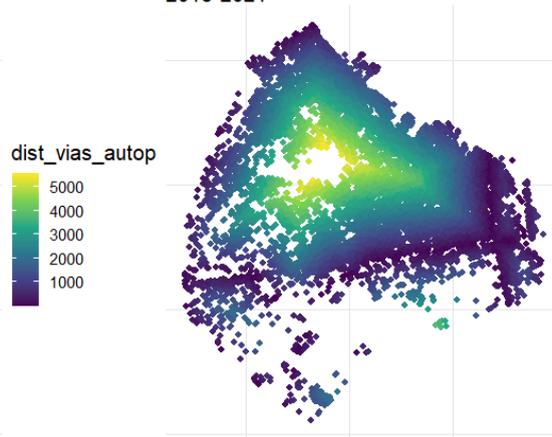
El gráfico 4 muestra la distribución espacial en la muestra de cada una de las variables utilizadas.



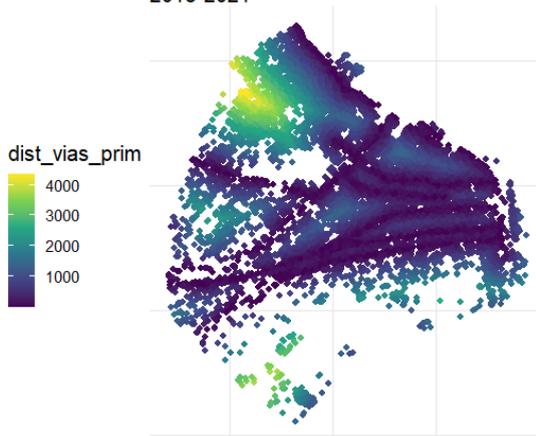
dist_parques en CABA
2018-2021



dist_vias_autop en CABA
2018-2021



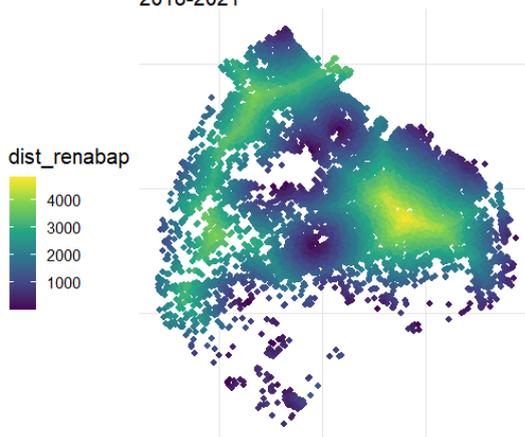
dist_vias_prim en CABA
2018-2021



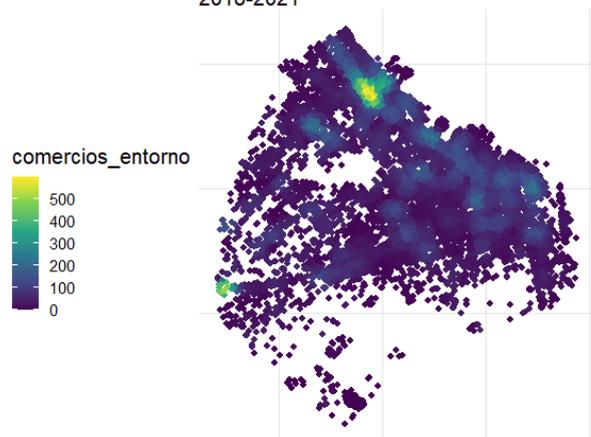
dist_vias_sec en CABA
2018-2021



dist_renabap en CABA
2018-2021



comercios_entorno en CABA
2018-2021



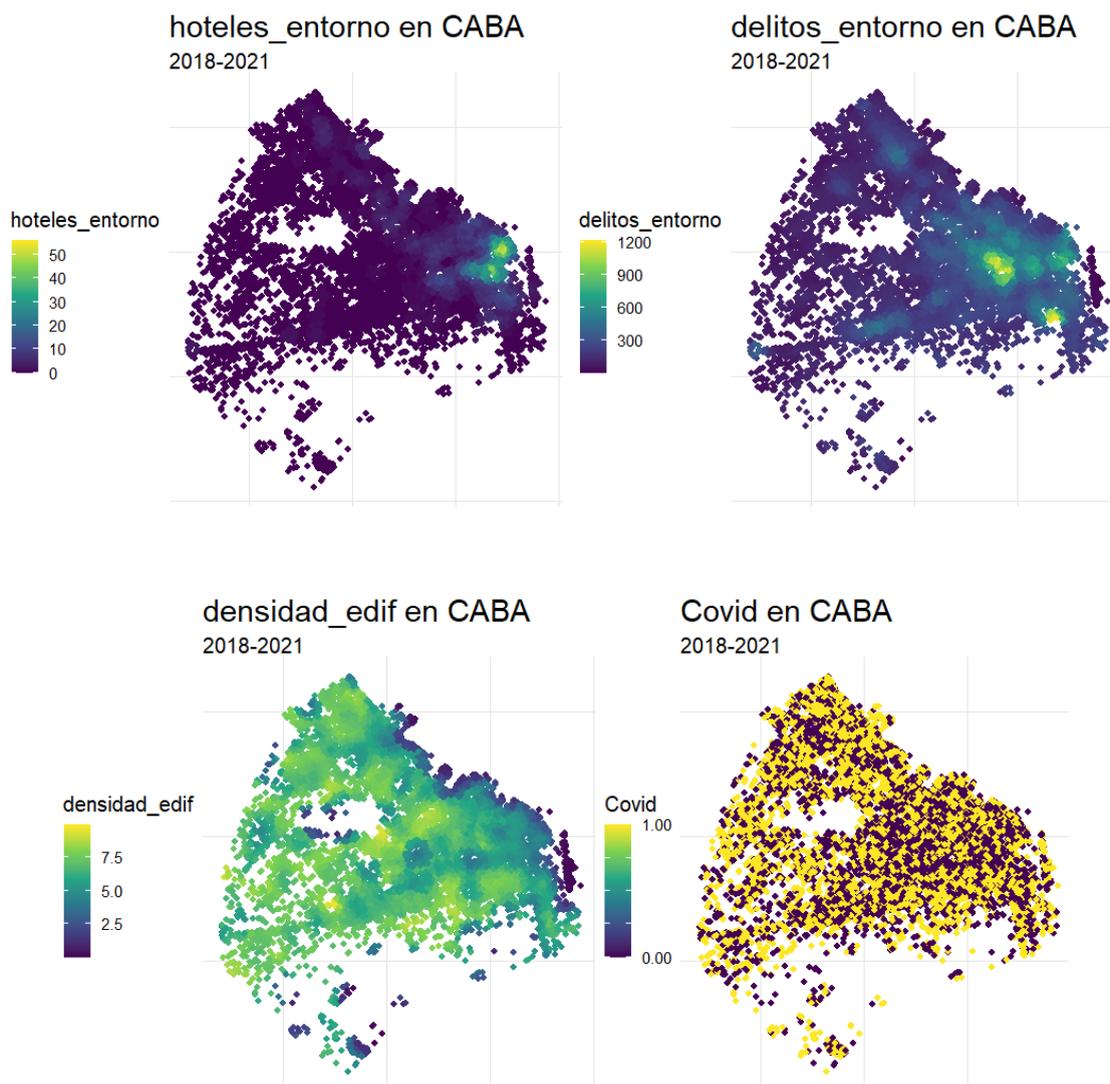


Gráfico 4: Distribución espacial en la muestra de cada una de las variables utilizadas.

En el gráfico 5 se muestra la distribución de las variables en una función de densidad

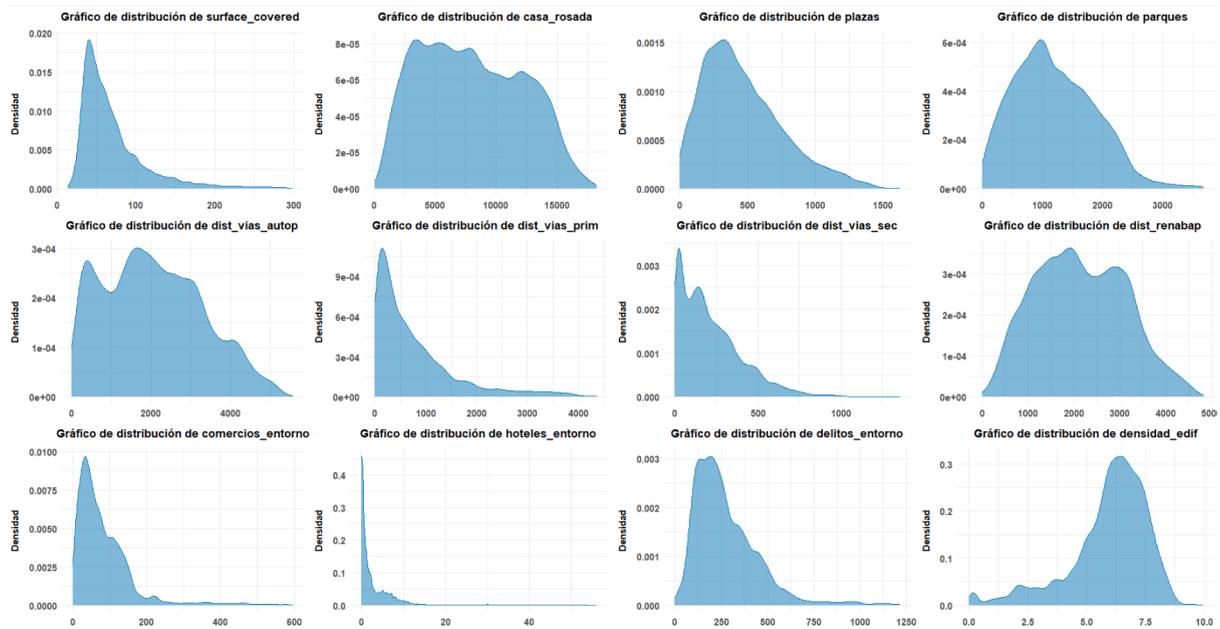


Gráfico 5: Diagramas de densidad de las variables del modelo.

4.2 Estimación mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios.

Con el objetivo de capturar los efectos propuestos se estimó un modelo en logaritmos, según la siguiente especificación:

$$\ln(pm2) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i \ln(X_{ij}) + \beta_n Covid + \mu$$

Tomando la diferencial total de la función anterior, y analizando el efecto sobre $\ln(X_{ij})$, se tiene que β_i puede interpretarse como un vector de elasticidades¹¹, ya que:

$$\frac{1}{pm2} dpm2 = \beta_i \frac{1}{X_{ij}} dX_{ij}$$

Despejando:

$$\beta_i = \frac{\partial pm2}{\partial X_{ij}} \frac{X_{ij}}{pm2}$$

¹¹ En teoría económica, la elasticidad es un concepto que resume el cambio porcentual en una variable (en este caso el precio por metro cuadrado de los departamentos en CABA), cuando otra variable cambia un 1%.

El parámetro β_i indica el cambio porcentual en y ante un cambio porcentual en X_{ij} (manteniendo todo lo demás sin cambios).

De igual manera, el parámetro correspondiente a la variable dummy que captura el efecto del Covid-19 sobre el mercado inmobiliario puede interpretarse como una semielasticidad¹², ya que:

$$\frac{1}{pm2} dpm2 = \beta_n dCovid$$

Despejando β_n :

$$\beta_n = \frac{(\partial pm2 / pm2)}{dCovid}$$

En este caso, β_n mide el cambio porcentual en y cuando hay un cambio (no porcentual, sino discreto) en $Covid$. Dado que $Covid$ es una variable dicotómica, y sólo puede variar de manera discreta de 0 a 1, β_n mide el cambio porcentual en $pm2$ cuando la característica $Covid$ está presente, vs el escenario alternativo de que $Covid$ esté ausente.

Una vez calculadas las variables en base a su ubicación geográfica se procedió ajustar el modelo econométrico mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO)

A continuación, se describen los parámetros resultantes de la estimación:

Variables	Coefficiente	Error estándar	t-value	p-value
Intercept	8.3766	0.0771	108.5820	0.0000
log(surface_covered)	0.0184	0.0044	4.1120	0.0000
log(casa_rosada)	0.0305	0.0059	5.1030	0.0000
log(plazas)	-0.0115	0.0026	-4.4080	0.0000
log(parques)	-0.0439	0.0031	-13.8050	0.0000
log(dist_vias_autop)	0.0500	0.0030	16.2630	0.0000
log(dist_vias_prim)	-0.0048	0.0017	-2.7140	0.0066
log(dist_vias_sec)	0.0043	0.0017	2.5110	0.0120

¹² El concepto de semielasticidad hace referencia al cambio porcentual observado en la variable dependiente ante el cambio discreto en una variable explicativa.

log(dist_renabap)	-0.0305	0.0042	-7.0970	0.000
log(comercios_entorno)	0.0947	0.0025	36.8160	0.0000
log(hoteles_entorno)	0.0114	0.0008	14.2230	0.0000
log(delitos_entorno)	-0.1414	0.0059	-23.6250	0.0000
log(densidad_edif)	-0.1279	0.0064	-19.9330	0.0000
Covid	-0.0533	0.0046	-11.4550	0.0000

Tabla 3- Resumen modelo lineal de mínimos cuadrados ordinarios.

Antes de analizar los resultados del modelo estimado por MCO, corresponde verificar la existencia de dependencia espacial, en caso de que sea necesario realizar correcciones que afectarán el signo y la magnitud de los parámetros.

4.3 Análisis de la existencia de dependencia espacial en el modelo MCO.

Para poder comprender si es necesario un modelo espacial y también para decidir qué modelo espacial es el mejor para aplicar en este caso, se aplicarán diferentes pruebas de hipótesis, como el índice de Moran global y pruebas robustas basadas en multiplicadores de Lagrange Anselin (1998).

El primer paso consiste en la construcción de una matriz de pesos espaciales que resume la estructura del vecindario. La matriz de pesos espaciales W ocupa una posición central en la econometría espacial ya que define la estructura del vecindario, y esto condiciona de manera estricta los resultados. En la práctica, la matriz de pesos espaciales es construida mediante diferentes criterios. La definición de que es vecino y que no lo es tiene un impacto significativo en la medición de la autocorrelación espacial y en las estimaciones de los modelos econométricos subsiguientes. Cuanto menos estrictos son los supuestos aplicados para definir el vecindario, mayor será el número de vecinos considerados y mayor será la probabilidad de que su promedio esté más cerca del promedio de la población, lo que puede llevar a una subestimación de la dependencia espacial en la estimación, Loonis (2018). Por el contrario, la aplicación de supuestos demasiado estrictos puede llevar a no incorporar en toda su magnitud a las relaciones que existen en el sistema de interdependencia espacial.

En el presente estudio, a partir de la estimación de un semivariograma empírico que captura la estructura de la dependencia espacial en la variable dependiente (ver punto 4.1), se construyó una matriz de pesos espaciales donde la vecindad está dada por el espacio comprendido por un radio de 500 metros. Si bien se pueden utilizar criterios de vecindad basándose en contigüidades, en donde se considera como vecinas a las observaciones que comparten límites, tipo torre (vecinos al norte-sur y este-oeste), tipo alfil (vecinos al noreste-suroeste y noroeste-sureste) y tipo reina (todos los polígonos que comparten límite), para ello es necesario trabajar con polígonos que sean limítrofes. Al trabajar con puntos se escogió el criterio de considerar como vecinas a todas las observaciones comprendidas dentro de la distancia definida por el rango del semivariograma mencionado anteriormente. Otra alternativa es utilizar los k-vecinos más cercanos, que implica establecer una cantidad mínima de vecinos, esto tiene la ventaja de no dejar a ninguna observación sin vecinos, lo que facilita ciertos cálculos espaciales, sin embargo, en lo que respecta a la econometría espacial y el mercado inmobiliario, utilizar este indicador podría llevar a la identificación de falsos vecinos, que en realidad no comparten las características de vecindario al cual han sido imputados.

Una vez establecidos los supuestos a aplicar en la definición del vecindario, se procede al cálculo de la matriz de pesos espaciales, que tiene el tamaño de $N \times N$ donde cada fila y columna tienen binariamente la condición o no de vecindad y en donde la diagonal principal se asume igual a cero (las observaciones no pueden ser vecinas de sí mismas). Finalmente, la matriz resultante es estandarizada por filas. Esto se puede representar gráficamente como un grafo, estableciendo nodos y sus vínculos

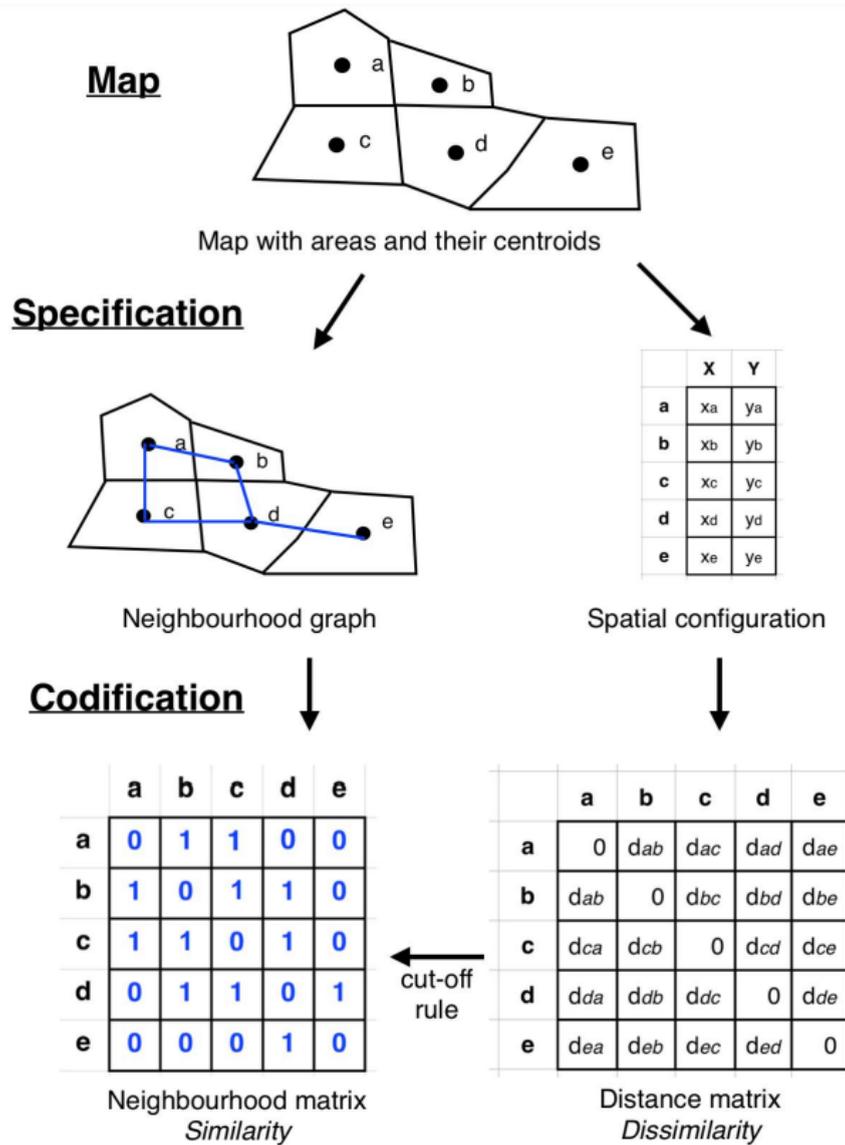


Gráfico 6: Proceso de construcción de una matriz espacial.

Fuente: Tiefeldsdorf (1998)

Inicialmente, se calcula el índice de Moran local, con el sólo objetivo de analizar gráficamente la correlación entre el valor de la variable dependiente con el valor promedio ponderado observado en el vecindario.

Este es un gráfico de dispersión con los valores de la variable pm^2 representados en el eje de las abscisas los valores promedio de la variable para las observaciones vecinas W_{pm^2} en

el eje de las ordenadas, siendo W la matriz de pesos espaciales. Si las observaciones se distribuyen aleatoriamente en el espacio, no existe una relación particular entre pm^2 y Wpm^2 . La pendiente de la línea de regresión lineal es próxima a cero y las observaciones se distribuyen uniformemente en cada cuadrante. Si, por el contrario, las observaciones tienen autocorrelación espacial, la pendiente de regresión lineal no es nula ya que existe una correlación entre pm^2 y Wpm^2 .

En el cuadrante 1 (arriba y a la derecha), las observaciones tienen valores de pm^2 elevados y se encuentran en una vecindad similar, lo que indica una autocorrelación espacial positiva y una estructura alta-alta. En el cuadrante 3 (abajo y a la izquierda), las observaciones tienen un pm^2 bajo y se encuentran en una vecindad similar, lo que indica una autocorrelación espacial positiva y una estructura baja-baja.

En el cuadrante 2 (abajo y a la derecha), las observaciones tienen valores altos para la variable pm^2 pero se encuentran en una vecindad que no es similar, lo que indica una autocorrelación espacial negativa y una estructura alta-baja (estas observaciones podrían ser consideradas como valores atípicos o outliers espaciales). En el cuadrante 4 (arriba y a la izquierda), las observaciones tienen valores bajos para la variable pm^2 , pero se encuentran en una vecindad que no es similar, lo que indica, también, una autocorrelación espacial negativa y una estructura baja-alta.

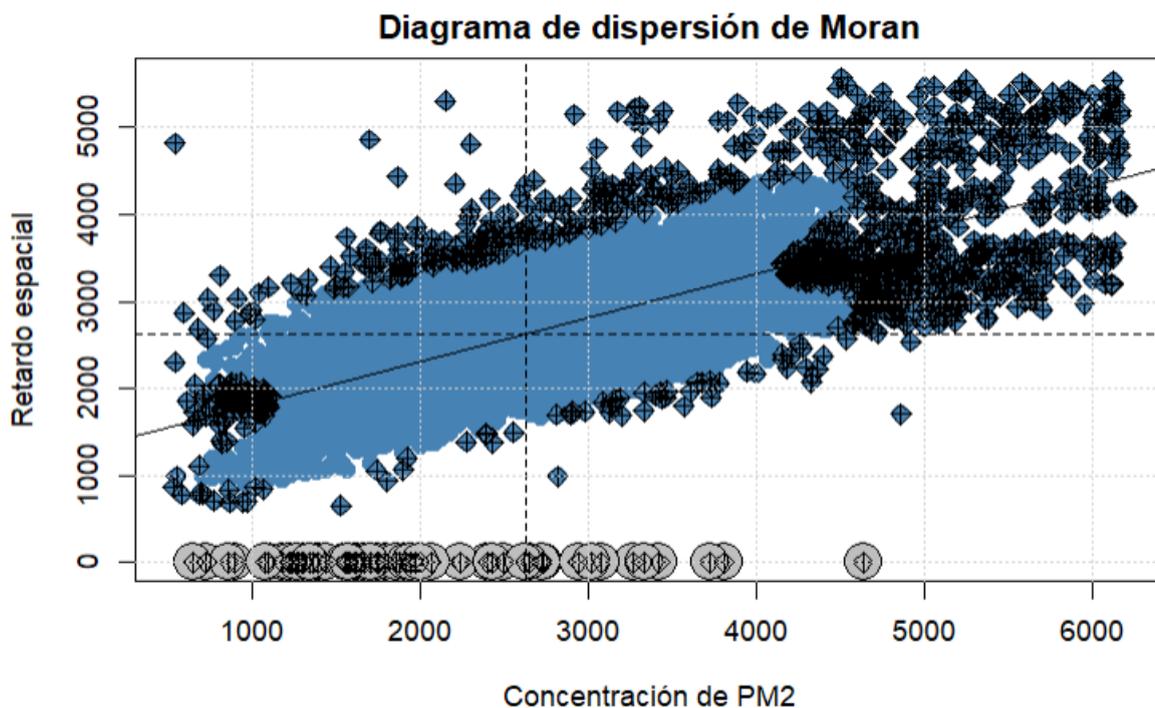


Gráfico 7: Diagrama de Moran del precio por metro cuadrado y retardo espacial

Los puntos en azul representan observaciones en donde la autocorrelación espacial es lo suficientemente intensa (asumen valores del índice de Moran local positivos y estadísticamente significativos), lo que significa que sus valores no son significativamente diferentes de los valores de sus vecinos y que la estructura de dependencia espacial de la variable es coherente para esa observación.

Por otro lado, los puntos en negro son los outliers espaciales (valores del índice de Moran local negativos, o no significativamente diferentes de cero), que se desvían significativamente de los valores de sus vecinos y no siguen la estructura espacial dominante. Los puntos en gris representan las unidades que no tienen vecinos, lo que significa que no hay suficientes datos disponibles para calcular el valor promedio ponderado de la variable en su vecindario.

Posteriormente, para identificar la existencia de dependencia espacial en los residuos del modelo estimado por MCO, se realiza un test de Moran global.

Moran I	120.1300**
Moran I observado	0.3061
Esperado	-0.0006

Varianza	0.0000
(**) Significativo al 99% de confianza	

Tabla 4: Test de Moran I para los residuos de la regresión.

La prueba de Moran I para residuos de regresión lineal se utiliza para evaluar si los residuos del modelo de regresión muestran una autocorrelación espacial positiva (lo que significa que los valores similares de los residuos tienden a agruparse en el espacio). La hipótesis nula de la prueba indica que los residuos del modelo de regresión estimado por MCO se distribuyen en el espacio de manera aleatoria. El estadístico estimado tiene la siguiente estructura, en donde n es el tamaño de la muestra, w_{ij} es la cada elemento correspondiente (en la fila i y la columna j) de la matriz de pesos espaciales y y_i es la variable dependiente (en este caso, pm_2):

$$IW = \frac{n}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \cdot \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

Los resultados de la prueba indican que el estadístico de IW está muy por encima de su valor esperado bajo la hipótesis nula de aleatoriedad espacial. Además, el p-valor de la prueba es muy bajo ($p\text{-value} < 2.2e-16$), lo que sugiere una fuerte evidencia en contra de la hipótesis nula de aleatoriedad espacial. Esto indica que hay una fuerte evidencia de que los residuos del modelo muestran una autocorrelación espacial positiva.

Otras pruebas que nos permiten refinar la selección de modelos de regresión que tienen en cuenta la autocorrelación espacial son los tests robustos basados en multiplicadores de Lagrange. Mediante la aplicación de estos tests se puede conocer la forma de la dependencia espacial, es decir, si ésta se debe a la existencia de autocorrelación espacial en la variable dependiente, si se genera a causa de dependencia espacial en el término de error aleatorio, o en ambos simultáneamente.

La prueba RLMerr corresponde a un Lagrange Multiplier Test (LMT) para la existencia de autocorrelación espacial en los errores del modelo. En esta evaluación se trata de estimar una nueva regresión que incluye como variables explicativas las observaciones de los residuos espaciales junto con las variables explicativas originales. En el análisis del test de Lagrange sobre los residuos del modelo lineal, se observa que el estadístico de la prueba es igual a

13327 y su p-valor es menor que $2.2e-16$, lo que indica que existe evidencia estadística significativa para rechazar la hipótesis nula de no dependencia espacial en los errores del modelo estimado mediante MCO.

La prueba RLMlag corresponde a otro LMT para la existencia de autocorrelación espacial en la variable dependiente del modelo. En él se trata de estimar una nueva regresión que incluye como variables explicativas las observaciones retardadas o desfasadas (lags) de la variable dependiente, junto con las variables explicativas originales.

En este caso, el estadístico de prueba es 154.44 y su p-valor es menor que $2.2e-16$, lo que indica que existe evidencia estadística significativa para rechazar la hipótesis nula de no dependencia espacial en la variable dependiente.

En resumen, estos resultados sugieren que hay presencia de dependencia espacial simultáneamente en la variable dependiente y en el vector de residuos del modelo estimado mediante MCO, cuyas estimaciones resultan, consecuentemente, sesgadas e ineficientes.

Esto nos indica que se necesita utilizar modelos econométricos que incorporen la espacial para obtener parámetros que reflejen con un mayor nivel de precisión el fenómeno bajo estudio.

4.4 Incorporación de la dependencia espacial.

En primer lugar, el modelo SAR (Spatial Autoregressive Model) se utiliza cuando se busca incorporar la relación entre el valor de la variable dependiente en cada localización con el valor que ésta asume en el vecindario, asumiendo que la variable dependiente se encuentra afectada por el entorno espacial en el que se encuentra. Sin embargo, en este caso, la autocorrelación espacial no está presente únicamente en la variable dependiente, sino también en los residuos del modelo. Debido a que el modelo SAR no está diseñado para modelar la dependencia espacial en los errores, sino sólo la dependencia espacial en la variable dependiente el modelo SAR no sería el más adecuado para abordar este tipo de autocorrelación.

En segundo lugar, el modelo SEM (Spatial Error Model) se utiliza cuando se busca analizar la relación espacial entre los errores de los distintos puntos, asumiendo que estos errores presentan autocorrelación espacial. Si bien este modelo es útil cuando los errores están

autocorrelacionados espacialmente, en este caso se ha detectado que la autocorrelación espacial también se encuentra presente en los rezagos espaciales de la variable. En particular, si la autocorrelación espacial de la variable dependiente no se tiene en cuenta en el modelo, la varianza de los errores del modelo será subestimada, lo que puede conducir a errores de inferencia y conclusiones erróneas. Además, el modelo SEM podría sobreestimar la importancia de las variables explicativas, ya que no está teniendo en cuenta la autocorrelación espacial en la variable dependiente. Por lo tanto, el modelo SEM no sería el más adecuado en este caso.

Finalmente, el modelo SAC permite modelar, en dos etapas, tanto la dependencia espacial en la variable dependiente como la dependencia espacial en los errores del modelo, permitiendo así abordar de manera adecuada la autocorrelación espacial presente en los datos. En consecuencia, el modelo más adecuado para abordar la autocorrelación espacial presente tanto en los residuos como en los rezagos espaciales de la variable sería el modelo SAC (Spatial Autoregressive Confused Model), Kelejian & Prucha (2010).

Existen otras formas de abordar espacialmente otro tipo de problemas, como la consideración de la heterogeneidad espacial, que suele ser abordada mediante la utilización de regresiones geográficamente ponderadas. Este tipo de técnicas estima regresiones lineales mediante mínimos cuadrados ordinarios en diferentes vecindarios, permitiendo observar la variación espacial de los parámetros de la regresión, o cómo los precios hedónicos estimados se distribuyen en el espacio de estudio. En la presente tesis se considerará sólo el problema de la dependencia espacial, desarrollado anteriormente, dejando de lado la consideración de la heterogeneidad espacial, Brunson, Fotheringham, and Charlton (1996)

En función a lo anterior, se estima un model SAC conforme a la siguiente especificación en dos etapas:

$$\ln(pm2) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i \ln(X_{ij}) + \beta_n Covid + \rho W \ln(pm2) + \mu$$

$$\mu = \lambda W \mu + \epsilon$$

Donde W es la matriz de pesos espaciales y ϵ es un término de error aleatorio con media cero y varianza constante, homogéneamente distribuido en el espacio. El parámetro ρ captura

el impacto del precio por metro cuadrado en el vecindario, en tanto que el parámetro λ captura la dependencia espacial en el término de error μ^i .

4.5 Resultados del modelo SAC.

Antes de poder interpretar y analizar los estimadores del modelo de precios hedónicos SAC se debe comprender la estructura que le da validez o no al modelo. A fin de no llegar a conclusiones erróneas.

En lo que respecta a la detección de dependencia espacial, los resultados validan la detección positiva de la misma, tanto en el término de error como en la variable dependiente. Como se mencionó anteriormente, el parámetro ρ es una medida de autocorrelación espacial que indica si las observaciones cercanas geográficamente tienen valores similares o no. Un valor de este parámetro mayor que cero y estadísticamente significativo indica que existe autocorrelación espacial. En este caso, el valor de ρ es de 0.039089, y el p-valor asociado es cercano a cero. Además, el coeficiente λ , que captura el efecto de la dependencia espacial en los residuos del modelo MCO, es igual a 0.80123 y también resulta estadísticamente significativo.

Parametro	Valor
ρ (rho)	0.039089
Asymptotic standard error	0.0046044
z-value	8.4895
p-value	< 2.22e-16
λ (lambda)	0.80123
Asymptotic standard error	0.0086229
z-value	92.919
p-value	< 2.22e-16
LR test value	4868.8
LR test p-value	< 2.22e-16
Log likelihood	41.6451
ML residual variance (sigma squared)	0.055323
ML residual variance (sigma)	0.23521

Nagelkerke pseudo-R-squared	0.45642
AIC	-49.29
AIC for lm	4815.6

Tabla 5: Resultados del modelo SAC

En ambos casos, los valores de z son muy grandes y los valores p son muy bajos ($<2.22e-16$), lo que significa que los coeficientes son significativamente diferentes de cero y que la evidencia de autocorrelación espacial y dependencia espacial es muy sólida. Esto sugiere que es importante considerar la estructura espacial de los datos en el modelo y que los resultados deben interpretarse en consecuencia.

El Nagelkerke pseudo-R-squared Nagelkerke (1991), es una medida de ajuste para modelos de regresión que incluyen variables independientes tanto continuas como categóricas. Se utiliza para evaluar la calidad de ajuste de un modelo y se interpreta como la proporción de la varianza explicada por el modelo en relación a la varianza total de los datos. En este caso, el valor de 0.45642 indica que el modelo logra explicar el 45.642% de la varianza total de los datos. Este valor se encuentra en línea con investigaciones similares. Es importante tener en cuenta que el pseudo-R-squared no debe ser interpretado como una medida de explicación de causalidad. En otras palabras, no se debe interpretar que el modelo explica el 45.642% de la variabilidad en la variable dependiente de manera causal. En su lugar, se interpreta como una medida de qué tan bien el modelo se ajusta a los datos.

El valor del criterio de información de Akaike (AIC), Akaike (1998), es una medida que se utiliza para comparar modelos alternativos en función de su capacidad para explicar los datos y su complejidad. En general, se prefiere un modelo con un valor de AIC más bajo, lo que indica una mejor capacidad de ajuste con una menor complejidad. En este caso, el modelo espacial estimado tiene un valor de AIC de -49.29, mientras que el modelo estimado por MCO tiene un valor de AIC igual a 4815.6. Esto indica que el modelo espacial tiene una mejor capacidad de ajuste a los datos que el modelo MCO y es preferible en términos de eficacia. En lo que respecta a la comparación nominal de este indicador, *“El valor absoluto de AIC no tiene mucho sentido (está determinado por la constante arbitraria). Como esta constante depende de los datos, AIC se puede utilizar para comparar modelos ajustados en*

muestras idénticas. Por lo tanto, el mejor modelo del conjunto de modelos plausibles considerados es el que tiene el valor AIC más pequeño (la menor pérdida de información en relación con el modelo verdadero). Un error común es pensar que el objetivo es minimizar el valor absoluto de AIC, pero la constante arbitraria puede (según los datos y el modelo) producir valores negativos. AIC negativo indica menos pérdida de información que un AIC positivo y por lo tanto un mejor modelo.” Baguley (2012).

El análisis de los resultados requiere de dos pasos. En primer lugar se ajusta el modelo en dos etapas para analizar qué variables resultan estadísticamente significativas, y posteriormente se utilizan los parámetros estimados para calcular los efectos totales que incorporan el efecto derrame o “spillover” Golgher & Voss (2015). Estos efectos totales son los que, finalmente, indican el valor de las elasticidades y semielasticidades buscadas.

En relación a los parámetros estimados, resultaron estadísticamente significativos los coeficientes asociados a la distancia a plazas, la superficie cubierta del inmueble, la distancia a vías primarias, la cantidad de comercios en el entorno, los delitos en el entorno, la densidad de edificaciones en el vecindario y el parámetro que captura el impacto del Covid-19. Esto se puede notar en la Tabla 6, que indica los diferentes parámetros de la estimación, diferenciando aquellos que son estadísticamente significativos de los que no.

Particularmente, la distancia a la casa rosada se encuentra en el límite del nivel de significación con un p-value de 5,075%.

Coeficiente	Parámetro	Error estándar	p-value
Constante	8.4218	0.2058	0.0000
log(surface_covered)	-0.0527	0.0039	0.0000
log(casa_rosada)	-0.0346	0.0177	0.0507
log(plazas)	-0.0138	0.0033	0.0000
log(parques)	0.0048	0.0058	0.4022
log(dist_vias_autop)	0.0336	0.0078	0.0000
log(dist_vias_prim)	-0.0061	0.0027	0.0273
log(dist_vias_sec)	-0.0011	0.0019	0.5699
log(dist_renapap)	-0.0063	0.0127	0.6174

log(comercios_entorno)	0.0357	0.0056	0.0000
log(hoteles_entorno)	0.0020	0.0014	0.1491
log(delitos_entorno)	-0.0952	0.0129	0.0000
log(densidad_edif)	-0.0528	0.0124	0.0000
Covid	-0.0591	0.0038	0.0000

Tabla 6: Parámetros estimados por el modelo SAC

La razón por la cual no se deben analizar los parámetros de la regresión espacial de forma aislada radica en que existen impactos cruzados entre diferentes localizaciones. Para dar cuenta del efecto total de una variable independiente sobre el precio por metro cuadrado de los departamentos se debe considerar el derrame o spillover originado en localizaciones vecinas. En otras palabras, los efectos indirectos (parciales cruzados) representan los cambios en la variable dependiente de una región particular que surgen de un aumento de una unidad en una variable explicativa en otra región, Golgher & Voss (2015).

La Tabla 6 informa sobre los valores de los efectos directo, indirecto y total calculados a partir de los parámetros del modelo SAC:

Predictor	Direct	Indirect	Total
log(surface_covered)	-0.0527	-0.0021	-0.0548
log(casa_rosada)	-0.0347	-0.0014	-0.0361
log(plazas)	-0.0138	-0.0006	-0.0144
log(dist_vias_autop)	0.0336	0.0014	0.0350
log(dist_vias_prim)	-0.0061	-0.0002	-0.0064
log(comercios_entorno)	0.0358	0.0015	0.0372
log(delitos_entorno)	-0.0952	-0.0039	-0.0991
log(densidad_edif)	-0.0529	-0.0021	-0.0550
Covid	-0.0592	-0.0024	-0.0616

Tabla 6: Impactos directos, indirectos y totales del modelo SAC

El resultado indica que para un un aumento de un 1% en la superficie cubierta de un departamento se asocia, en promedio, con una disminución del 0.0548% en el precio del metro cuadrado, manteniendo todas las demás variables constantes. Esto podría explicarse por diferentes razones, a medida que aumenta el tamaño de un departamento, la demanda relativa por metro cuadrado puede disminuir. En los últimos años el tamaño del hogar en la Ciudad de Buenos Aires ha disminuido y los hogares de mayor tamaño han decidido establecerse en las periferias del AMBA, en sintonía con los planteos teóricos de Fujita. Por ende la demanda de departamentos grandes, que tienen como demandantes hogares más numerosos, se ha reducido. Por otro lado, el valor total de la operación, al aumentar los metros cuadrados es considerablemente mayor que en unidades más pequeñas, por lo que su demanda total será mucho menor, forzando el precio por metro cuadrado a la baja.

El efecto de la distancia a vías primarias se relaciona con la accesibilidad en transporte, a diferencia de una autopista, que no se puede cruzar y son barreras urbanas, las vías principales funcionan como arterias que permiten el transporte de la población. Por otro lado, es probable que las paradas de autobús estén sobre estas vías, lo cual mejora también la accesibilidad al transporte de la ciudadanía.

En cuanto a la densidad de edificación, esta muestra un alineamiento con la propuesta teórica de Fujita y Roback donde a un cierto punto la excesiva población y densidad presentan costos de congestión. Profundizando sobre este indicador el aumento de un 1% en la densidad de edificación vecina implica una reducción de 0.05% en el pm2.

En lo que respecta a la distancia a la casa rosada se mantiene el postulado teórico de Alonso (1964) según el cuál una mayor distancia al centro de negocios influye negativamente en el precio. Una muestra mayor y un área geográfica que contemple el Área Metropolitana de Buenos Aires serviría para testear esta hipótesis, y marca el rumbo sobre cuestiones a ampliar a partir de la presente investigación.. Esto se debe a que a medida que las ciudades aumentan el efecto de la distancia a la centralidad se va trasladando hacia la periferia. En el caso de la Ciudad de Buenos Aires, se ha mantenido con una población estable en los últimos 70 años, sin embargo su área metropolitana ha crecido drásticamente. A medida que la ciudad creció, su centro de negocios también lo hizo y tomó una configuración preponderantemente comercial. Esto puede haber tornado a las inmediaciones del centro como no deseables para usos residenciales, por eso el precio por metro cuadrado residencial no es el mayor dentro del área central de negocios. Sin embargo, es probable que el pm2 de usos comerciales, tanto de

oficinas como de comercios, sea de los más altos en esta zona.

Por consiguiente se puede deducir que un aumento de un 1% en la distancia a la casa rosada implica un descenso en el pm₂ del orden del 0,036% tomando en cuenta el efecto total. Más allá del efecto de la muestra que involucra varios años, se podría indagar en el parámetro de la distancia al centro de negocios para cada año y analizar su variación. En teoría, año a año la fuerza del área central de negocios debería ir reduciéndose, ese análisis sin embargo, excede el foco del presente estudio.

Avanzando hacia las plazas, el efecto total de un aumento del 1% en la distancia del inmueble a una plaza se traduce en un descenso del 0,014% en el precio por metro cuadrado de la propiedad. Estos resultados están en línea con el estado del arte y dan cuenta de las plazas como bien público no rival y no excluyente, con efectos externos, lo que reviste una dificultad especial para poder valuarlos correctamente. En un futuro es importante analizar la variación de este parámetro a partir de la pandemia: una hipótesis inicial plantearía que su efecto sobre el valor de los inmuebles debería ser más elevado.

Por otro lado, la cercanía a las autopistas es penalizada, aumentando un 0.035% del precio por metro cuadrado por cada 1% extra de distancia a una autopista. Entre las posibles explicaciones encontramos que las autopistas generan externalidades negativas de ruido y contaminación particulada, dando efectos negativos en la salud y el bienestar de la población, además de generar barreras urbanas y segregación espacial. Dentro de la Ciudad de Buenos Aires, la autopista 25 de mayo es la que concentra mayores observaciones a su alrededor, ya que la Av Gral Paz tiene observaciones mayoritariamente de casas, excluidas en este análisis. Las autopistas Illia y Lugones, en tanto, no tienen edificios cerca. En menor medida la autopista Frondizi / 9 de Julio sur también concentra observaciones aledañas, por lo que se podría argumentar que la autopista 25 de Mayo y la 9 de Julio sur conllevan un gran minusvalor en las propiedades aledañas.

Por otro lado, un aumento del 1% de los comercios en el entorno incrementan en un 0,037% el precio por metro cuadrado. Este punto es interesante de analizar y permite vislumbrar un nuevo punto de partida para el estudio de los modelos de usos del suelo. Como se explicó anteriormente, es el viaje de ida y vuelta al trabajo el que le da formas a las ciudades. Se comenzó por una ciudad monocéntrica con Alonso, luego Fujita estableció su punto de vista de ciudades en cinta. Sin embargo, estos modelos de conformación urbana se enfocan en la distancia a los puestos de trabajo, sin considerar que el segundo viaje más frecuente para los

hogares es el de las compras de necesidad, por lo que una cercanía a comercios permite reducir tiempos de viaje para las tareas de cuidado y reproducción de los hogares.

Otro punto importante es que uno de los factores más influyentes en el modelo, es el de los delitos en el entorno, donde el aumento de un 1% en los delitos reduce en 0,1% el precio por metro cuadrado de las propiedades, en sintonía con los planteos de Roback (1982).

Finalmente las propiedades post-covid vieron, en promedio, una reducción del 0,06% en el precio por metro cuadrado. Esto se encuentra en línea con lo desarrollado en el marco teórico y en el estado del arte. El fenómeno puede originarse en la migración hacia zonas periféricas del Área Metropolitana de Buenos Aires, que ha visto un crecimiento exponencial en el desarrollo de urbanizaciones cerradas y loteos peri-urbanos¹³ Este crecimiento de los desarrollos periurbanos se financia de diferentes maneras, pero entre las que se destacan, es el flujo de capitales de venta de inmuebles en la ciudad de Buenos Aires por parte de propietarios que se trasladan hacia el AMBA. El aumento de la cantidad de inmuebles de venta, sumado a la premura de los propietarios por vender sus departamentos explicaría la baja del precio.

Finalmente, luego de la incorporación de la dependencia espacial al modelo, se observa que los residuos del modelo SAC se distribuyen ahora de manera aleatoria en el espacio. Esto puede apreciarse en el Gráfico 9, en donde se representan en coropletas según sean positivos o negativos, para poder dar mejor cuenta de las aglomeraciones espaciales. Tal como se identificó con el índice de Moran global, se puede apreciar como el modelo estimado por MCO, posee residuos aglomerados. Esto significa que el modelo no ajusta bien aquellas observaciones que se encuentran espacialmente correlacionadas. En cambio, los residuos del modelo SAC muestran mayor aleatoriedad en su distribución, dando una imagen gráfica de cómo las herramientas de econometría espacial dan mejores resultados al momento de establecer correlaciones entre las diferentes variables de estudio ubicados en contextos geográficos determinados.

¹³<https://www.infobae.com/economia/2021/12/25/el-otro-boom-verde-sigue-en-alza-la-venta-de-terrenos-en-los-barrios-privados/>

<https://www.infobae.com/economia/2022/10/23/tercera-ola-en-barrios-privados-las-razones-que-explican-el-boom-de-construccion-de-mas-de-8000-viviendas/>

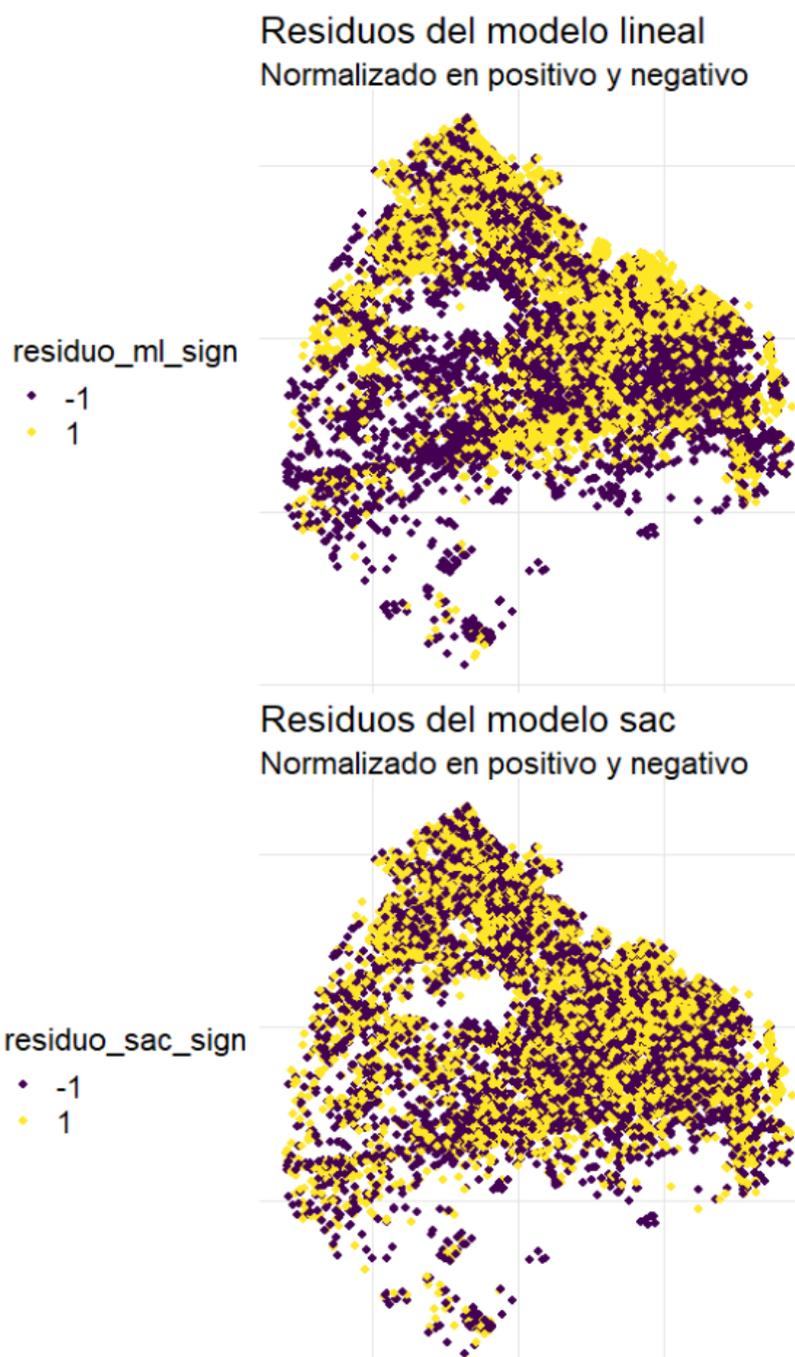


Gráfico 9: Residuos espaciales de los modelos econométricos aplicados.

5. Consideraciones finales.

La presente tesis de maestría ha intentado contribuir, simultáneamente, a la literatura sobre el impacto del Covid-19 en los mercados inmobiliarios, al desarrollo de los estudios sobre la aplicación de técnicas de econometría espacial a la dinámica urbana.

Se ha demostrado que la pandemia ha tenido un efecto significativo en el precio de las propiedades. La metodología aplicada ha permitido incorporar la dependencia espacial del fenómeno y proporcionar una estimación más precisa de los efectos de las variables explicativas en el precio por metro cuadrado de los departamentos en la Ciudad de Buenos Aires.

Además de cuantificar el impacto de la pandemia de Covid-19 sobre el mercado inmobiliario, se estimaron coeficientes que dan cuenta del impacto sobre el precio de los departamentos de numerosas externalidades urbanas. Esta información es crítica para el diseño de políticas públicas basadas en evidencia, que permitan la gestión de ciudades eficientes, resilientes e integradas. La evidencia de que la distancia al centro de negocios sigue siendo un factor importante en la determinación del precio de los departamentos puede ser útil para los planificadores urbanos al momento de decidir sobre la estructura y la zonificación de las ciudades, además de revalidar los postulados basales del corpus científico de la economía urbana. Resulta llamativa la baja significancia de la distancia a barrios populares como variable explicativa, en simultáneo con la significatividad del coeficiente que captura la cantidad de delitos en el entorno. En este caso, sería la cercanía al delito y no una cercanía a un barrio popular la que implica una externalidad negativa en el precio de los inmuebles.

Por otro lado, el hallazgo de que la distancia a las plazas y la cantidad de comercios en el entorno tienen un impacto positivo en el precio del suelo puede ser utilizado para promover la creación de nuevos espacios públicos y para el fomento de zonas comerciales en áreas de menor demanda, lo que podría estimular la actividad económica y el desarrollo urbano en esas zonas. Esto a su vez, llevaría a una ciudad territorialmente más equilibrada y con mayores oportunidades de desarrollo humano para su población.

La compra de lotes y construcción de nuevas plazas se podría financiar con diferentes herramientas de capacitación de plusvalías, que, gracias a la estimación de las elasticidades permite el desarrollo de instrumentos tributarios basados en la evidencia (Cristiani, 2020).

Es importante destacar que las externalidades reflejan fallas de mercado y en el contexto de la crisis climática los estados deben tomar en cuenta toda las posibilidades de maniobra para hacer frente a la misma, tomando en cuenta los impactos sociales y económicos. La planificación urbana reviste un carácter especial debido al alto riesgo y las grandes consecuencias negativas que pueden sufrir las ciudades y sus poblaciones mediante los efectos negativos del cambio climático. En ese sentido, es importante destacar que las acciones de recuperación de eventos naturales catastróficos tienen costos fiscales, sociales y económicos mayores que las medidas de adaptación.

Como futuras propuestas, a raíz de que los resultados obtenidos reflejan una desvalorización ante la proximidad a autopistas y un efecto positivo sobre el precio ante la cercanía a espacios verdes, y, teniendo en cuenta la crisis climática, es posible analizar los efectos en el mercado inmobiliario de transformar la autopista 25 de Mayo y la autopista Frondizi en un gran parque lineal. Anulando el efecto adverso que tienen éstas y sumando el efecto positivo de un espacio verde de cercanía.

Por otro lado, en lo que respecta a la curva de Alonso, y sus posibles modificaciones a partir del COVID, son necesarias futuras investigaciones con muestra de una mayor cobertura geográfica para poder dar cuenta de los diferentes efectos en la curva de los precios. Es importante destacar que este estudio ha sido limitado por la capacidad de procesamiento computacional a disposición. Esto se debe a que los requerimientos de procesamiento de variables y relaciones espaciales son muy demandantes aún para sistemas de cloud computing. Por lo que en un futuro con mejores capacidades de procesamiento se podrán establecer estudios más rigurosos.

A su vez, es importante que se desarrollen estudios comparativos que se centren en América Latina como unidad de análisis y de esta forma comprender si estos hallazgos son comunes a ciudades latinoamericanas de la misma escala que la Ciudad de Buenos Aires.

La base de la justicia se encuentra en la proporcionalidad de repartos y cargas, de derechos y obligaciones. Entre ellas se encuentra la responsabilidad de que aquellos que saben, actúen, porque el conocimiento que no es aplicado, que no tiene un fin, es inerte e insípido. El

conocimiento tiene en su esencia la acción porque moldea nuestra forma de pensar sobre el mundo, y de las implicancias de nuestras acciones y las del resto.

Para poder llegar a ciudades equilibradas, equitativas, sostenibles y polifuncionales hay que comprender los subyacentes económicos que las moldean, sacarle el velo a aquello que no es un flujo financiero, pero que tiene impactos económicos. Sin embargo, para poder hacerlo, se debe poner explícitamente y en números, con la mayor rigurosidad posible, las causalidades de la compleja interrelación del sistema Urbano, Ambiental, Social y Económico (UASE.).

El presente cuerpo de conocimiento, es solo un paso más hacia ese futuro.

Referencias bibliográficas.

1. Akaike, H. (1998). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. Selected Papers of Hirotugu Akaike, 199–213.
doi:10.1007/978-1-4612-1694-0_15
2. Anselin, L. (1988). Lagrange Multiplier Test Diagnostics for Spatial Dependence and Spatial Heterogeneity. *Journal of Regional Science*, 28(3), 291-316.
3. Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Springer Dordrecht.
4. Batalha, M., Gonçalves, D., Peralta, S., & Pereira dos Santos, J. (2022). The virus that devastated tourism: The impact of covid-19 on the housing market. *Regional Science and Urban Economics*, 95.
5. Baguley, T. (2012). *Serious Stat: A guide to advanced statistics for the behavioral sciences* (2012th ed.). Palgrave Macmillan.
6. Bricongne, J. C., Meunier, B., & Pouget, S. (2021). Web scraping housing prices in real-time: The Covid-19 crisis in the UK.
7. Brunson C, Fotheringham AS, and Charlton ME. (1996). Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationarity. *Geographical Analysis* 28(4):281-298.
8. Cristiani, S. (2020). Financiación de espacios verdes en la ciudad de Buenos Aires.
9. Czembrowski, P., & Kronenberg, J. (2016). Hedonic pricing and different urban green space types and sizes: Insights into the discussion on valuing ecosystem services. *Land*
10. Court, A. T. (1939), ‘Hedonic price indexes with automotive examples’ in “The Dynamics of Automotive Demand”, General Motors, New York, pp. 98- 119.
11. Engström, G., and A. Gren. 2017. Capturing the value of green space in urban parks in a sustainable urban planning and design context: pros and cons of hedonic pricing. *Ecology and Society* 22(2):21. <https://doi.org/10.5751/ES-09365-220221>
12. Francke, M., & Korevaar, M. (2021). Housing markets in a pandemic: Evidence from historical outbreaks. *Journal of Urban Economics*, 123(C).
13. Fujita, M., & Thisse, J.-F. (2013). *Economics of agglomeration: Cities, industrial location, and globalization* (2nd ed.). Cambridge University Press.
14. Fujita, Masahisa, (1989), *Urban Economic Theory*, Cambridge University Press.

15. Golgher, A. B., & Voss, P. R. (2015). How to interpret the coefficients of spatial models: Spillovers, direct and indirect effects. Springer International Publishing AG.
16. Gupta, A., Mittal, V., Peeters, J., & Van Nieuwerburgh, S. (2022). Flattening the curve: Pandemic-induced revaluation of urban real estate. *Journal of Financial Economics*.
17. Haas, G. C. (1922a), 'A statistical analysis of farm sales in blue earth county, Minnesota, as a basis for farm land appraisal', Masters thesis, The University of Minnesota. Haas, G. C.
18. (1922b), 'Sale prices as a basis for farm land appraisal', Technical Bulletin 9, St. Paul: The University of Minnesota Agricultural Experiment Station.
19. Herath, S., & Maier, G. (2010). The hedonic price method in real estate and housing market research: A review of the literature. Faculty of Business - Papers Faculty of Business.
20. Kelejian, H. H., & Prucha, I. R. (2010). Spatial models with spatially lagged dependent variables and incomplete data. *Journal of Geographical Systems*.
21. Liu, S., & Su, Y. (2021). The impact of the COVID-19 pandemic on the demand for density: Evidence from the U.S. housing market
22. Loonis, V. (Ed.). (2018). *Handbook of Spatial Analysis: Theory and Application with R* (No. 131). CRC Press.
23. Maryam Akbari Lor, "Analyzing the impact of COVID-19 on property prices in Rotterdam," (Master's thesis, University of Twente, 2022)
24. Montero, M. (2001). Ética y Política en Psicología: Las dimensiones no reconocidas. Athenea Digital. *Revista de Pensamiento e Investigación Social*, (000), 1-10.
25. Nagelkerke, N. J. D. (1991). A Note on a General Definition of the Coefficient of Determination. *Biometrika*, 78(3), 691-692.
26. Noelwah R. Netusil, Sudip Chattopadhyay, and Kent F. Kovacs, "Estimating the Demand for Tree Canopy: A Second-Stage Hedonic Price Analysis in Portland, Oregon," *Land Economics* 86, no. 2 (May 2010): 281-293.
27. Ostojic, M (2015). "Análisis empírico sobre el impacto del arbolado urbano en la valoración del suelo de la ciudad de buenos aires" Tesis de maestría en economía Urbana. Universidad Torcuato di Tella

28. Poore, F. (2021). Teletrabajo en tiempos de Covid-19. Un análisis espacial y multivariado en Ciudad de Buenos Aires [Tesis de maestría en economía Urbana. Universidad Torcuato di Tella
29. Roback, J. (1982). Wages, Rents, and the Quality of Life. *Journal of Political Economy*, 90(6).
30. Rosen, S. (1974). Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. *Journal of Political Economy*, 82
31. Seo, K., Golub, A., & Kuby, M. (2014). Combined impacts of highways and light rail transit on residential property values: a spatial hedonic price model for Phoenix, Arizona. *Journal of Transport Geography*, 41, 53–62.
32. Smolka, Martim & Goytia, Cynthia. (2019). Land Markets. 1-7.
33. Syabri, I. The Influence of Railway Station on Residential Property Values-Spatial Hedonic Approach The Case of Serpong's Railway Station Department of Urban and Regional Planning, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10.
34. Tiefelsdorf, Michael (1998). « Modelling spatial processes: The identification and analysis of spatial relationships in regression residuals by means of Moran's I (Germany) ». PhD thesis. Université Wilfrid Laurier.
35. Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46.
36. Wallace, H. A. (1926), 'Comparative farmland values in Iowa', *Journal of Land and Public Utility Economics*, Vol. 2, pp.385- 392.
37. Yang, L., Liang, Y., He, B., Lu, Y., & Gou, Z. (2022). COVID-19 effects on property markets: The pandemic decreases the implicit price of metro accessibility. *Tunnelling and Underground Space Technology*.