Vigilada Mineducación

FACTOR DE NEGOCIACIÓN EN EL MERCADO INMOBILIARIO DE MEDELLÍN, COLOMBIA: IDENTIFICACIÓN DE PATRONES ESPACIALES MEDIANTE EL MODELO KRIGING DE INTERPOLACIÓN GEOESTADÍSTICA

JUAN JOSÉ HARRY

TRABAJO DE GRADO

ASESOR TEMÁTICO: JORGE ENRIQUE AGUDELO TORRES

ASESORA METODOLÓGICA: GINA MARÍA GIRALDO HERNANDEZ

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN

MAESTRÍA EN ADMNISTRACIÓN (MBA)

MEDELLÍN

2025

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 3
ABSTRACT 4
INTRODUCCIÓN 5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 6
JUSTIFICACIÓN 8
OBJETIVOS 10
OBJETIVO GENERAL: 10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 10
MARCO CONCEPTUAL 11
DISEÑO METODOLOGICO 14
DESARROLLO DEL TRABAJO 18
RESULTADOS 19
CONCLUSIONES 30
BIBLIOGRAFIA 31

RESUMEN

Este estudio analiza el Factor de Negociación (FDN), conocido internacionalmente como Degree of Overpricing (DOP) en el mercado inmobiliario de Medellín. Inicialmente, se evaluaron técnicas tradicionales como la regresión por mínimos cuadrados ordinarios (OLS), y posteriormente se exploraron métodos avanzados, incluyendo econometría espacial, análisis geoespacial y técnicas de interpolación espacial. Finalmente, se optó por utilizar la metodología de interpolación espacial Kriging, apoyada en herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica (GIS) para el procesamiento, integración y georreferenciación de datos espaciales provenientes de transacciones inmobiliarias del año 2024, así como variables determinantes en la formación de precios. El objetivo central fue investigar si el FDN responde a patrones específicos de correlación espacial o si resulta de condiciones aleatorias del mercado. Los resultados demostraron una autocorrelación espacial significativa del FDN, influenciada por la ubicación, accesibilidad, y características del entorno urbano, proporcionando herramientas prácticas para optimizar estrategias de negociación, valoración y planificación urbana.

Palabras clave

Factor de Negociación (FDN), Kriging, autocorrelación espacial, valoración inmobiliaria, análisis espacial, Sistemas de Información Geográfica (GIS), georreferenciación, formación de precios, Medellín.

Abstract

This study analyzes the Negotiation Factor (FDN), internationally known as Degree of Overpricing (DOP), in the real estate market of Medellín. Initially, traditional valuation techniques such as Ordinary Least Squares (OLS) regression were assessed, followed by an evaluation of spatial methodologies, including spatial econometrics and geostatistical methods. Ultimately, Kriging spatial interpolation was selected as the primary method, complemented by technological tools such as Geographic Information Systems (GIS), to process, integrate, and georeference spatial data from real estate transactions recorded in 2024, alongside key variables influencing property price formation. The main objective was to investigate whether the FDN follows specific spatial correlation patterns or if it results from random market conditions. The results revealed significant spatial autocorrelation of the FDN, influenced by factors such as location, accessibility, and urban environmental attributes. These findings provide practical tools for optimizing negotiation strategies, property valuation, and urban planning.

Key words

Degree of overpricing (DOP), Kriging, Spatial Autocorrelation, Real Estate Valuation, Spatial Analysis, Geographic Information Systems (GIS), Georeferencing, Price Formation, Medellín.

INTRODUCCIÓN

El mercado inmobiliario es un componente vital de la economía urbana, reflejando no solo la salud económica de una ciudad, sino también las dinámicas sociales y culturales que en ella se desarrollan. En Medellín, como en muchas otras ciudades, la fluctuación de los precios inmobiliarios, especialmente la diferencia entre los precios de oferta y de venta, es un fenómeno que captura el interés tanto de investigadores como de profesionales del sector. Este fenómeno es conocido como el factor de negociación (FDN) o Degree of Overpricing (DOP), que describe la discrepancia entre el precio inicial que un vendedor pide por una propiedad y el precio al que finalmente se vende.

Según Anglin, el FDN, o como es conocido internacionalmente, el DOP, se refiere a " …degree of overpricing (DOP), measured as the percentage difference between the actual list price and the expected list price given the observable characteristics of the house." (Anglin et al., 2003). Este indicador es esencial para entender las estrategias de precios en el mercado inmobiliario y cómo estas afectan tanto a compradores como a vendedores en términos de negociación y valoración final de la propiedad.

Esta investigación se centra en el análisis del FDN en Medellín, utilizando datos de transacciones inmobiliarias del año 2024 para determinar si existe un patrón predecible en estos factores o si son el resultado de condiciones aleatorias de mercado. Comprender estos patrones es crucial para que gremios y asociaciones del sector inmobiliario puedan ofrecer asesorías más efectivas y fundadas a sus afiliados, incluyendo inmobiliarias, desarrolladores y constructoras. Esta comprensión no solo facilita transacciones más eficientes y equitativas, sino que también ayuda a estos profesionales a planificar y ejecutar estrategias de mercado más efectivas, maximizando el retorno de inversión y minimizando los riesgos.

El estudio apunta a emplear metodologías geoespaciales y estadísticas avanzadas para explorar la posible correlación entre el FDN y diversas variables geográficas y de mercado. La hipótesis central es que el FDN no es completamente aleatorio, sino que está influenciado por factores específicos y medibles que pueden ser identificados a través de un análisis riguroso.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mercado inmobiliario de Medellín presenta una compleja interacción entre compradores, vendedores y otros actores, donde el factor de negociación (FDN) o Degree of Overpricing (DOP) juega un papel central. Este estudio se enfoca en determinar si el FDN es meramente el resultado de negociaciones individuales o si, por el contrario, existen patrones y factores geográficos específicos que pueden influir de manera predecible en estos diferenciales de precio.

Para abordar esta investigación, es crucial considerar el enfoque de Anselin sobre la importancia de las técnicas de econometría espacial en el análisis inmobiliario:

> From a methodological perspective, a proper treatment of space requires the recognition of the importance of the two-dimensional nature of spatial interaction (or spatial autocorrelation) and its implications for statistical analysis. In other words, the prevalence of spatial dependence in the cross-sectional data used in real estate analysis requires the application of appropriate techniques of spatial statistics and spatial econometrics (Anselin, 1998).

Este enfoque sugiere que la incorporación de análisis espacial puede revelar patrones significativos que afectan el FDN, lo cual es esencial para entender cómo los factores geográficos y las interacciones entre propiedades cercanas pueden influir en las decisiones de precios.

En este sentido, un estudio reciente realizado en la ciudad de Atenas-Grecia por (Tamaris Turizo, 2023), indica claramente que la localización es determinante en la formación del valor inmobiliario. Factores como el entorno natural, la accesibilidad y la calidad de servicios cercanos, no solo influyen en el precio final de una propiedad, sino que también podrían estar correlacionados espacialmente de manera significativa.

Asimismo, (Kou et al., 2018) reconocen la relevancia de la interacción espacial en mercados inmobiliarios, enfatizando que dicha interacción es un factor clave en la explicación de las variaciones en precios. Este argumento refuerza la hipótesis de que el FDN podría estar sujeto a patrones espaciales sistemáticos, más que a factores aleatorios aislados.

De igual manera, el análisis exploratorio de datos espaciales ofrece ventajas considerables para revelar patrones geográficos preliminares, detectar inconsistencias y validar supuestos previos necesarios para análisis espaciales de mayor envergadura. Esto lo concluyen (Meza & Arias, s. f.) al realizar un estudio en la Provincia del Chaco-Argentina. Así pues, aplicar este tipo de análisis puede proporcionar insights valiosos para interpretar cómo se comporta el FDN espacialmente en Medellín.

Finalmente, (Navarrete Álvarez, 2011) en un estudio realizado en la ciudad de Madrid-España, resalta que el uso de técnicas avanzadas de interpolación en el análisis espacial, como el kriging, permiten obtener estimaciones inmobiliarias un poco más precisas, lo que puede llevar a una mejor evaluación del FDN.

Importancia del estudio: Identificar si hay patrones sistemáticos que afectan el FDN puede ayudar a los profesionales del sector inmobiliario a optimizar sus estrategias de venta y compra, proporcionando así un servicio más informado y eficiente a sus clientes. Este conocimiento es también crucial para los desarrolladores y financieros al evaluar proyectos y determinar el valor real de las propiedades en diferentes zonas de la ciudad.

Por consiguiente, surge la pregunta central del estudio, que, alineada con el objetivo general propuesto, sería:

¿Cómo identificar posibles influencias geográficas en las variaciones de precios de oferta y venta?

JUSTIFICACIÓN

Este estudio sobre el Factor de Negociación (FDN) en el mercado inmobiliario de Medellín es crucial por varias razones, destacando especialmente su impacto directo en la valoración inmobiliaria, que es una parte fundamental de los servicios inmobiliarios. Además, investigar si el FDN es un factor aleatorio o si sigue patrones predecibles es clave para determinar su aplicabilidad práctica.

Comprender el FDN permite a los valuadores inmobiliarios ajustar sus métodos de valoración para incluir factores de homologación que reflejen las dinámicas del mercado local. Esto resulta en valoraciones más precisas y, por ende, en transacciones más justas y fundamentadas.

Según Aznar, "El Factor de Negociación, Fn, también conocido como Factor de Comercialización (Fcom). Este factor pretende corregir los precios de oferta obtenidos de anuncios en prensa e inmobiliarias que en el proceso de venta van a sufrir una rebaja como fruto de la negociación y por ese hecho han sido previamente incrementados"(Aznar Bellver et al., 2012). Esta definición resalta la necesidad de considerar el FDN como un factor de homologación en la valoración de inmuebles, especialmente en mercados dinámicos como el de Medellín, donde las diferencias entre los precios de oferta y de venta pueden variar significativamente según la ubicación y las características de las propiedades.

Los agentes inmobiliarios y las agencias se benefician directamente de un entendimiento mejorado del FDN, ya que pueden ofrecer a sus clientes asesorías más informadas y fundamentadas sobre los precios de mercado. Esto facilita la toma de decisiones estratégicas sobre cuándo y a qué precio comprar o vender una propiedad, optimizando así las negociaciones y mejorando la eficiencia del mercado. Los inversores inmobiliarios pueden utilizar el conocimiento del FDN para identificar oportunidades de inversión más prometedoras y para gestionar los riesgos asociados a sus carteras inmobiliarias. Esto es especialmente relevante en un mercado como el de Medellín, donde las diferencias entre precios de oferta y venta pueden ofrecer oportunidades estratégicas para la inversión.

El análisis avanzado del FDN, empleando técnicas de econometría espacial y análisis geoespacial, no solo llenará un vacío en la literatura existente sobre los mercados inmobiliarios de ciudades emergentes como Medellín, sino que también proporcionará ideas prácticas que pueden ser aplicadas en otros contextos similares. Este enfoque permite una valoración inmobiliaria más precisa y adaptada a las realidades del mercado local. Un componente crítico de este estudio es determinar si el FDN se comporta de manera aleatoria o si sigue patrones predecibles. Si el FDN resulta ser aleatorio, muchos de los usos mencionados anteriormente perderían su validez, especialmente en la valoración de inmuebles, ya que no sería posible anticipar o ajustar los precios de oferta y venta con precisión. Por

el contrario, si se demuestra que el FDN sigue patrones específicos, se podría utilizar como una herramienta predictiva confiable, beneficiando a todos los actores del mercado inmobiliario.

Este enfoque crítico permite evaluar la robustez y aplicabilidad del FDN en la práctica profesional, particularmente en la valoración inmobiliaria y en las estrategias de negociación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Determinar si el Factor de Negociación (FDN) en el mercado inmobiliario de Medellín es un factor aleatorio o si sigue patrones de correlación espacial, utilizando técnicas de econometría espacial y análisis geoespacial para identificar posibles influencias geográficas en las variaciones de precios de oferta y venta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Contextualizar el Factor de Negociación (FDN) en el mercado inmobiliario, realizando una revisión de la literatura sobre el FDN y su relación con factores geográficos en el análisis espacial, y estableciendo su significado en el contexto específico de Medellín.

- Determinar si el FDN se comporta como un factor aleatorio o si sigue patrones de correlación espacial, analizando datos de transacciones inmobiliarias en Medellín mediante técnicas de econometría espacial y análisis geoespacial para identificar patrones y evaluar la presencia de autocorrelación espacial.

- Validar la robustez del FDN como herramienta predictiva, comparando los resultados obtenidos del análisis espacial con métodos tradicionales de valoración inmobiliaria para evaluar su precisión y confiabilidad en diferentes zonas geográficas de Medellín.

MARCO CONCEPTUAL

El mercado inmobiliario es un sistema complejo en el que la fijación de precios resulta de la interacción de múltiples factores económicos, espaciales y del comportamiento del consumidor. La valoración de bienes raíces no solo depende de las características físicas del inmueble, sino también del contexto en el que se encuentra, incluyendo accesibilidad, infraestructura y dinámica del mercado. Un elemento clave en la determinación de precios es el Factor de Negociación (FDN), que, según(Aznar Bellver et al., 2012), busca corregir los precios de oferta que suelen fijarse por encima del valor real debido a la expectativa de negociación. Este factor se calcula con base en la diferencia entre el precio de venta final y el precio inicial publicado en anuncios.

En el análisis de valoración inmobiliaria, la Regresión Lineal Múltiple (MRA, por sus siglas en inglés) es un método ampliamente utilizado, pues permite estimar el precio de las propiedades a partir de variables estructurales como tamaño, número de habitaciones y antigüedad. Sin embargo, su aplicación enfrenta desafíos debido a la posible correlación espacial entre observaciones cercanas (Jahanshiri et al., 2011).Los modelos basados en Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS) son herramientas fundamentales en econometría para la estimación de precios. Su utilidad radica en que, bajo ciertos supuestos como la independencia de los errores y la homocedasticidad, garantizan estimaciones eficientes al cumplir con la propiedad de ser el mejor estimador lineal insesgado (BLUE)(Jahanshiri et al., 2011). No obstante, cuando estos supuestos no se cumplen, las estimaciones pueden verse afectadas por sesgos y pérdida de eficiencia.

Uno de los principales problemas de los modelos OLS, en el contexto inmobiliario, es la presencia de autocorrelación espacial y heterocedasticidad. La autocorrelación espacial se manifiesta cuando los valores de las propiedades están influenciados por la proximidad de inmuebles con características similares, lo que genera correlación en los errores del modelo. La heterocedasticidad, por su parte, surge cuando la influencia de ciertas variables en el precio no es homogénea en todas las zonas, provocando variabilidad en los errores del modelo y reduciendo la precisión de las estimaciones. Para abordar estas limitaciones, se han desarrollado modelos econométricos espaciales como el Spatial Autoregressive Model (SAR) y el Spatial Error Model (SEM), que permiten corregir la dependencia espacial y mejorar la precisión de las predicciones(Jahanshiri et al., 2011). A pesar de estas limitaciones, OLS sigue siendo un punto de referencia en estudios de valoración inmobiliaria, ya que sirve de base para modelos más sofisticados que buscan reducir los márgenes de error en la estimación de precios(Jahanshiri et al., 2011).

El uso de métodos geoespaciales ha cobrado relevancia en el análisis del mercado inmobiliario, ya que permiten evaluar con mayor precisión el impacto del entorno en los precios de las propiedades. La modelización geoespacial reconoce que los valores inmobiliarios no solo dependen de las características internas del inmueble, sino también de factores externos como la proximidad a infraestructuras, accesibilidad y condiciones socioeconómicas del área (Matos Flores & Salado-García, 2018)Una de las técnicas más destacadas en este ámbito es la Regresión Geográficamente Ponderada (GWR), que mejora las estimaciones de los modelos tradicionales al permitir que los coeficientes varíen según la ubicación geográfica de cada propiedad. Este método ha demostrado mayor precisión en la predicción de precios en comparación con OLS, aumentando el porcentaje de variabilidad explicada (Matos Flores & Salado-García, 2018)

Junto con la GWR, los métodos geoestadísticos como Kriging y Cokriging han sido utilizados para mejorar la estimación de precios inmobiliarios. Kriging se basa en el análisis de la autocorrelación espacial para interpolar valores en ubicaciones sin datos directos, proporcionando estimaciones óptimas al minimizar el error de predicción. Cokriging, por su parte, extiende el Kriging al incorporar variables auxiliares, lo que permite obtener estimaciones más precisas en áreas con información limitada. Si existe una alta correlación entre la variable principal y la auxiliar, este método puede mejorar significativamente la fiabilidad de las predicciones (Cellmer, 2014).

La incorporación de tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (GIS) ha transformado la gestión y el análisis de datos espaciales en bienes raíces. Estas herramientas permiten integrar diversas fuentes de información georreferenciada, facilitando la toma de decisiones en planificación urbana y valoración inmobiliaria (Pérez Guerra et al., 2023)En el contexto de Medellín, MapGIS es una plataforma utilizada para consultar normativas de uso del suelo, identificar zonas con restricciones y analizar factores espaciales que afectan la plusvalía de los inmuebles. Su utilidad radica en que permite a desarrolladores e inversionistas evaluar oportunidades de inversión con base en información geoespacial actualizada.

Las aplicaciones de GIS en el sector inmobiliario abarcan desde la gestión y visualización de datos espaciales hasta el análisis y modelado mediante técnicas como GWR, SAR/SEM y Kriging, lo que posibilita estimaciones de precios más precisas. Además, estas herramientas son fundamentales en la predicción y planificación de nuevos desarrollos urbanos, ya que permiten prever su impacto en la evolución de los valores inmobiliarios. La georreferenciación, al asignar coordenadas espaciales a los inmuebles, facilita su integración en sistemas GIS, mejorando la precisión de los análisis y aumentando la fiabilidad de los modelos de predicción de precios (Pérez Guerra et al., 2023).

El proceso de negociación en el mercado inmobiliario está influenciado por una combinación de factores que incluyen las características del inmueble, su ubicación y las condiciones del mercado. Como señala (Cellmer, 2014)“The real estate market is a complex system where demand, supply and prices are the key considerations” Además de estos elementos, la estrategia de fijación de precios y las condiciones de financiamiento juegan un papel determinante en la disposición de los compradores para concretar una transacción. En este sentido, Cardella y Seiler (2016), afirman: “Our results indicate that the initial list price strategy does play an important role in the negotiation process.”(Cardella & Seiler, 2016).

La negociación de precios inmobiliarios es un proceso dinámico influenciado por factores económicos, estrategias de oferta y demanda, así como por la percepción subjetiva de compradores y vendedores. Aunque los modelos de valoración proporcionan herramientas cuantitativas para estimar precios, la negociación sigue estando condicionada por la psicología del consumidor y el contexto macroeconómico, lo que introduce un grado de incertidumbre en la fijación final de los valores de las propiedades.

DISEÑO METODOLOGICO

1. Formulación de la idea e interés de investigación

Se partió de la observación empírica de que en Medellín existen diferencias significativas entre los precios de oferta y los precios finales de venta (FDN), tal como señalan (Aznar Bellver et al., 2012)en la definición de "Factor de Comercialización" y (Anglin et al., 2003)con el concepto de degree of overpricing (DOP). Esto motivó la idea central de investigar si dichas variaciones obedecen únicamente a negociaciones individuales o si, por el contrario, están influidas por factores y patrones geográficos específicos.

2. Planteamiento del problema

Con la idea definida, se enunció el problema de manera explícita:

Determinar si el FDN se comporta como un fenómeno aleatorio o si presenta una estructura espacial asociada a variables del entorno urbano (accesibilidad, estrato, cercanía a equipamientos, etc.).

Responder a la pregunta: "¿Existen factores medibles que inciden sistemáticamente en el Factor de Negociación en diferentes zonas de la ciudad?"

En línea con (Anselin, 1998),la autocorrelación espacial podría desempeñar un papel esencial en la explicación de diferencias de precio dentro de un mismo mercado inmobiliario.

3. Revisión de la literatura y marco teórico

Para fundamentar las hipótesis y métodos, se realizó un estudio bibliográfico que abarcó:

Conceptualización del FDN o Degree of Overpricing (DOP)(Anglin et al., 2003); (Aznar Bellver et al., 2012).

Métodos de análisis y econometría espaciales (Anselin, 1998).

Ventajas y limitaciones de las metodologías clásicas de regresión (OLS) frente a modelos espaciales avanzados (SAR, SEM, GWR, Kriging, Cokriging) (Jahanshiri et al., 2011)(Matos Flores & Salado-García, 2018)

Aplicaciones de sistemas de información geográfica (GIS) en la valoración inmobiliaria (Pérez Guerra et al., 2023)

Esta revisión permitió identificar la relevancia de geoestadística (Kriging/Cokriging) y de técnicas SIG para abordar la correlación espacial y mejorar la precisión en la estimación de valores(Cellmer, 2014)(Kuntz & Helbich, 2014).

4. Delimitación y visualización del alcance

En este punto se definió el ámbito geográfico —el municipio de Medellín— y el alcance temporal —transacciones inmobiliarias del año 2024—. Asimismo, se estableció que el estudio se centraría en la relación entre FDN y su posible dependencia espacial, aplicando métodos geoestadísticos para generar mapas de estimación y determinar si se identifican zonas con FDN elevado o bajo.

5. Formulación de hipótesis y definición de variables

Con el soporte teórico y el alcance fijado, se propusieron:

Hipótesis central: El FDN presenta autocorrelación espacial, de modo que existen patrones geográficos estables relacionados con esta diferencia de precios (Anselin, 1998)

Variables principales: Precio inicial, precio final, FDN (diferencia porcentual), ubicación (coordenadas), tiempo de permanencia en el mercado, entre otras.

Variables auxiliares: estrato socioeconómico, densidad de equipamientos, accesibilidad vial, etc. (Kuntz & Helbich, 2014).

6. Desarrollo del diseño de investigación

Con las hipótesis claras, se delineó la estrategia metodológica, haciendo hincapié en:

Enfoque cuantitativo y geoespacial(Matos Flores & Salado-García, 2018)

Uso de Kriging/Cokriging para modelar la distribución espacial del FDN y aprovechar variables auxiliares (Cellmer, 2014)(Kuntz & Helbich, 2014).

Integración de la metodología geoestadística con herramientas GIS para procesar y analizar la información georreferenciada (Pérez Guerra et al., 2023)

Validación y comparación de resultados frente a métodos tradicionales, evaluando la robustez de la metodología (Aznar Bellver et al., 2012).

7. Definición y selección de la muestra

La información provino de la base de datos de la Lonja de Propiedad Raíz de Medellín y Antioquia (plataforma MLS), con transacciones inmobiliarias reales. Se aplicaron los siguientes criterios de selección:

Disponibilidad de coordenadas (lat/long) o dirección estandarizada.

Registros con datos completos de precio inicial, precio final y características físicas del inmueble.

Exclusión de registros duplicados o inconsistentes.

Tras la depuración, se determinó el número final de inmuebles que cumplían los requisitos, conformando la muestra sobre la cual se haría el análisis (Anselin, 1998).

8. Recolección de los datos

Para llevar a cabo el análisis se realizaron los siguientes pasos:

Acceso a la información de transacciones a través del sistema MLS.

Georreferenciación de cada inmueble, ya sea mediante el GIS público (Alcaldía de Medellín, 2025)o usando herramientas de geocodificación (Pérez Guerra et al., 2023)

Integración de variables auxiliares: estrato medio de la zona, cercanía a vías principales, densidad de equipamientos, etc.

Se generó una base de datos georreferenciada lista para el análisis espacial y estadístico.

9. Análisis de los datos

Esta fase comprendió:

Análisis estadístico exploratorio: se calcularon estadísticas descriptivas (media, desviación estándar), se evaluaron outliers y la posible normalidad o transformaciones de la variable FDN (Jahanshiri et al., 2011)

Aplicación de kriging/cokriging:

Cálculo del semivariograma para identificar la estructura de autocorrelación espacial del FDN (Cellmer, 2014)

Elaboración de mapas: se generaron superficies que muestran la estimación del FDN en toda la ciudad de Medellín, resaltando zonas de alto y bajo factor de negociación (Aznar Bellver et al., 2012)

10. Elaboración del reporte de resultados

Finalmente, se documentaron los hallazgos más relevantes:

Resultados de la autocorrelación espacial: si existe un patrón significativo en el FDN (Anselin, 1998).

Conclusiones sobre la validez del FDN como factor predictivo, su comportamiento en diferentes sectores de la ciudad y recomendaciones para gremios inmobiliarios (Aznar Bellver et al., 2012)

Limitaciones del estudio (tamaño muestral, variables no incluidas, etc.) y perspectivas futuras de investigación, como incorporar más variables socioeconómicas o extender el análisis a otros períodos.

DESARROLLO DEL TRABAJO

Inicialmente se recolectaron datos de transacciones inmobiliarias del año 2024, provenientes del sistema MLS (Multiple Listing Service) en Medellín. La información recopilada incluyó tanto los precios ofertados como los precios finales de venta, siendo posteriormente georreferenciada mediante la plataforma oficial del Municipio de Medellín, con lo cual se obtuvieron coordenadas espaciales precisas para cada propiedad estudiada.

Una vez obtenida la ubicación exacta de los inmuebles, se calculó la diferencia porcentual entre el precio de oferta y el precio final de venta, determinando así el Factor de Negociación (FDN). Este indicador cuantifica la magnitud del descuento negociado durante la transacción y constituye el núcleo analítico del presente estudio (Aznar Bellver et al., 2012)

Posteriormente, se integraron los datos obtenidos con variables espaciales adicionales relevantes para la valoración inmobiliaria, tales como la proximidad a sistemas de transporte público, infraestructura urbana y otros elementos significativos del entorno inmediato (Harry & Valencia A, 2018). La inclusión de estas variables responde a la importancia de considerar el componente espacial y las relaciones de vecindad en la modelación estadística del mercado inmobiliario, tal como han enfatizado diversos estudios recientes(Anselin, 1998);(Jahanshiri et al., 2011)(Cellmer, 2014).

Luego de la integración de los datos, se implementó exclusivamente la técnica de interpolación espacial denominada kriging, mediante un script en Python ejecutado en Visual Studio Code. La elección del kriging como método estadístico se sustenta en su capacidad demostrada para manejar efectivamente la autocorrelación espacial inherente a los datos inmobiliarios ((Kuntz & Helbich, 2014) (Cellmer, 2014).Este fenómeno de autocorrelación, donde los inmuebles cercanos tienden a exhibir valores similares, justifica la elección del kriging como herramienta robusta para realizar predicciones precisas en ubicaciones no observadas directamente.

Además, el uso del modelo kriging permitió generar mapas continuos del comportamiento espacial del FDN, revelando patrones claros e identificables que facilitan la interpretación visual y práctica del mercado inmobiliario. En este sentido, una vez más se demuestra la utilidad de los análisis espaciales en los estudios relacionados con economía urbana y su utilidad particular en la valoración de inmuebles (Harry & Valencia A, 2018).

RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del análisis estadístico y espacial del Factor de Negociación (FDN) en el mercado inmobiliario de Medellín. Se realizó un análisis exploratorio de los datos de 207 transacciones inmobiliarias, seguido de una evaluación espacial mediante interpolación con Kriging para determinar la distribución geográfica del FDN y su relación con diferentes zonas de la ciudad.

Análisis Estadístico Exploratorio

El análisis de los datos permitió identificar tendencias clave en el comportamiento del mercado inmobiliario. A continuación, se describen los principales hallazgos:

Distribución del Precio de Oferta

A través de diagramas de caja (boxplots) y distribuciones de frecuencia, se observaron valores atípicos en la zona alta del rango, lo que sugiere que algunos inmuebles con precio de oferta muy elevado influyen en la media general.

Se evidenció que la mediana de precios se sitúa en la parte baja del rango intercuartil, indicando que la mayoría de los valores se concentran en el rango bajo de precio.

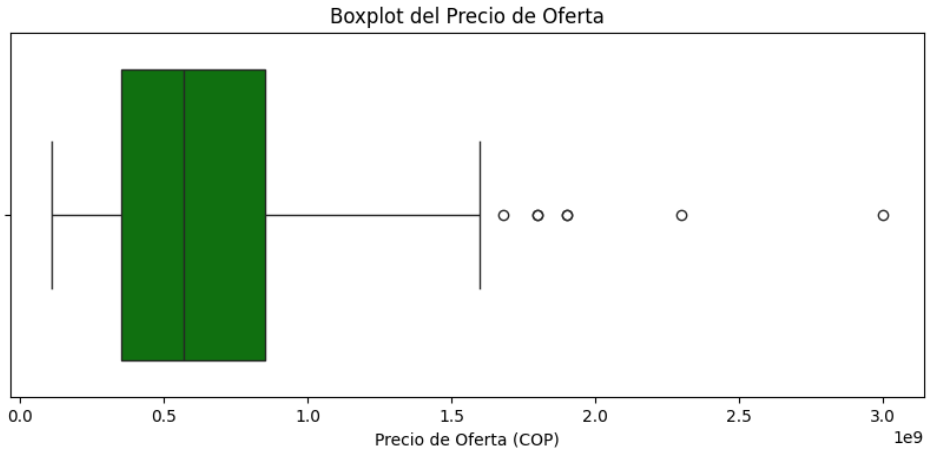

Figura 1. Diagrama de caja del precio de oferta de los inmuebles en Medellín.

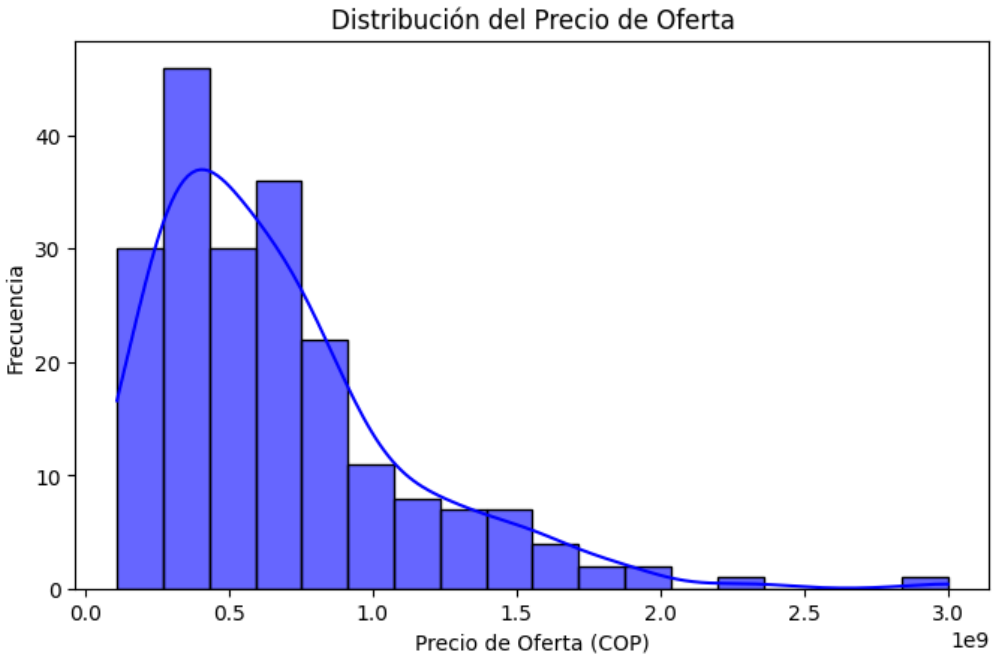

Figura 2. Distribución de los precios de oferta en el mercado inmobiliario.

Relación entre Precio de Oferta y Precio de Venta

El diagrama de dispersión (scatter plot) confirmó una fuerte correlación positiva esperada entre ambas variables. Entre mayor es el precio en que se ofrece una propiedad, es intuitivo pensar que mayor será su precio de venta. Esta grafica confirma este pensamiento.

La relación entre el precio de oferta y el precio de venta es clave para comprender el comportamiento del mercado inmobiliario. Si bien se observa una fuerte correlación, esta no es uniforme en todos los segmentos. En zonas de alta demanda y baja oferta los precios de venta tienden a mantenerse cercanos a los de oferta inicial, reflejando un mercado más rígido con menor margen de negociación.

Por el contrario, en zonas de mayor oferta y menor presión de compra, los compradores tienen más margen de negociación, lo que se traduce en una mayor diferencia entre el precio de oferta y el precio de cierre de la transacción. Esta diferencia también está influenciada por la urgencia del vendedor y las condiciones económicas generales.

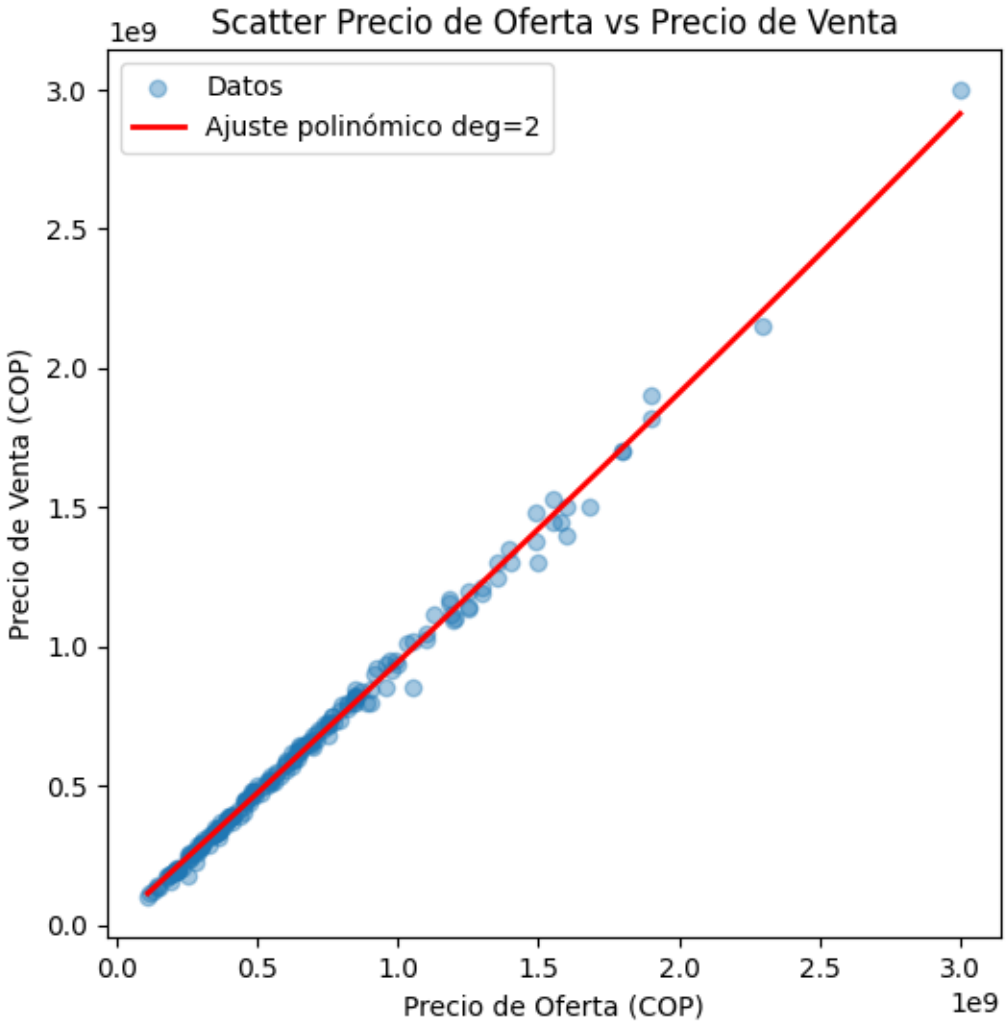

Figura 3. Relación entre el precio de oferta y el precio de venta de los inmuebles.

Análisis del Tiempo en el Mercado

En promedio, el tiempo en el mercado varía de 30 a 90 días, con algunos inmuebles que han permanecido publicados hasta 200 días.

Se identificó una tendencia no lineal entre el tiempo en el mercado y el FDN, lo que indica que inmuebles con mayor tiempo publicado, pueden alcanzar mayores descuentos, aunque no de manera uniforme en todas las zonas.

El tiempo de permanencia en el mercado es un indicador clave de la elasticidad del precio inmobiliario. Se observa una tendencia en la cual, después de ciertos días en el mercado, el descuento adicional sobre el precio de un inmueble no se incrementa. Este fenómeno puede explicarse de diversas maneras. Una posible explicación es que el propietario asigna un valor subjetivo a su inmueble muy por encima del valor de mercado y, al mismo tiempo, no está dispuesto a reducir el precio. Esto justificaría la permanencia prolongada del inmueble en oferta, sin un aumento en el porcentaje de descuento. Finalmente, la venta del inmueble podría explicarse por el hecho de que la valorización y la inflación han acercado el valor real del mercado al precio percibido por el propietario, lo que eventualmente facilita su comercialización.

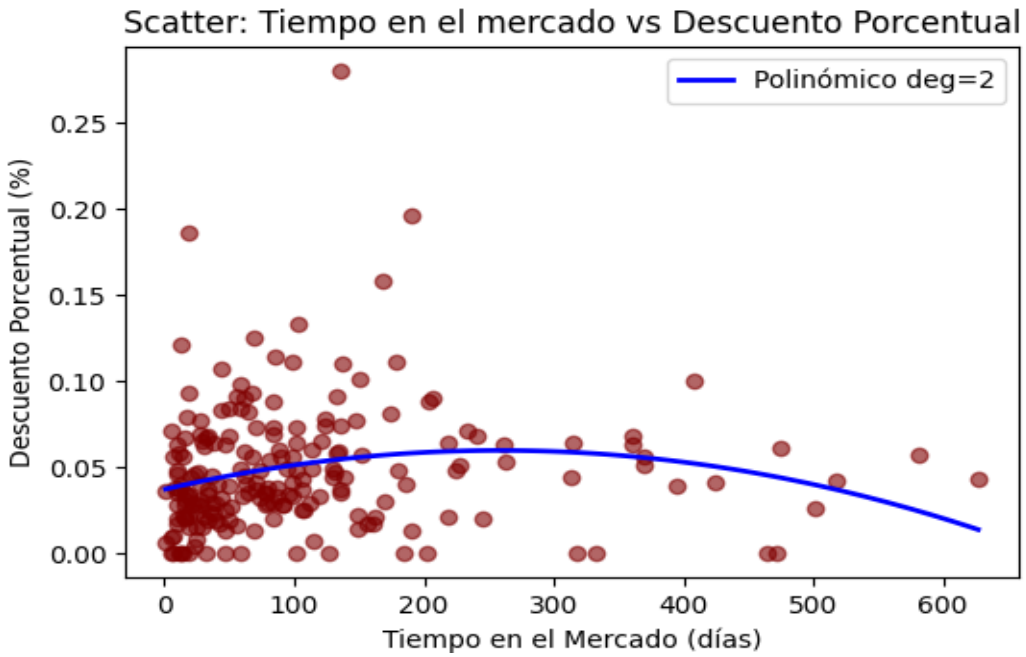

Figura 4. Relación entre el precio de oferta y el porcentaje de descuento aplicado.

Matriz de correlación entre FDN y variables auxiliares

La matriz de correlación evidencia que el factor de negociación (FDN), representado por la variable `discount_percentage`, presenta correlaciones muy bajas con las demás variables analizadas: estrato (–0.119), precio por metro cuadrado ofertado (–0.133), tiempo en el mercado (0.067) y distancia a la estación más cercana (–0.051). Estos valores sugieren que dichas variables no parecen tener un efecto significativo sobre el FDN. Aunque se observa una correlación moderada entre el estrato y el precio por metro cuadrado (0.536), esta estructura no se traslada al FDN, lo que justifica la necesidad de aplicar análisis espaciales para determinar si existe algún patrón no lineal o autocorrelación espacial en su distribución. Se toma la decisión de solo correr el modelo Krigin y no proceder con un modelo Cokrigin, ya que no parece que las variables auxiliares pudiesen aportar algo al modelo.

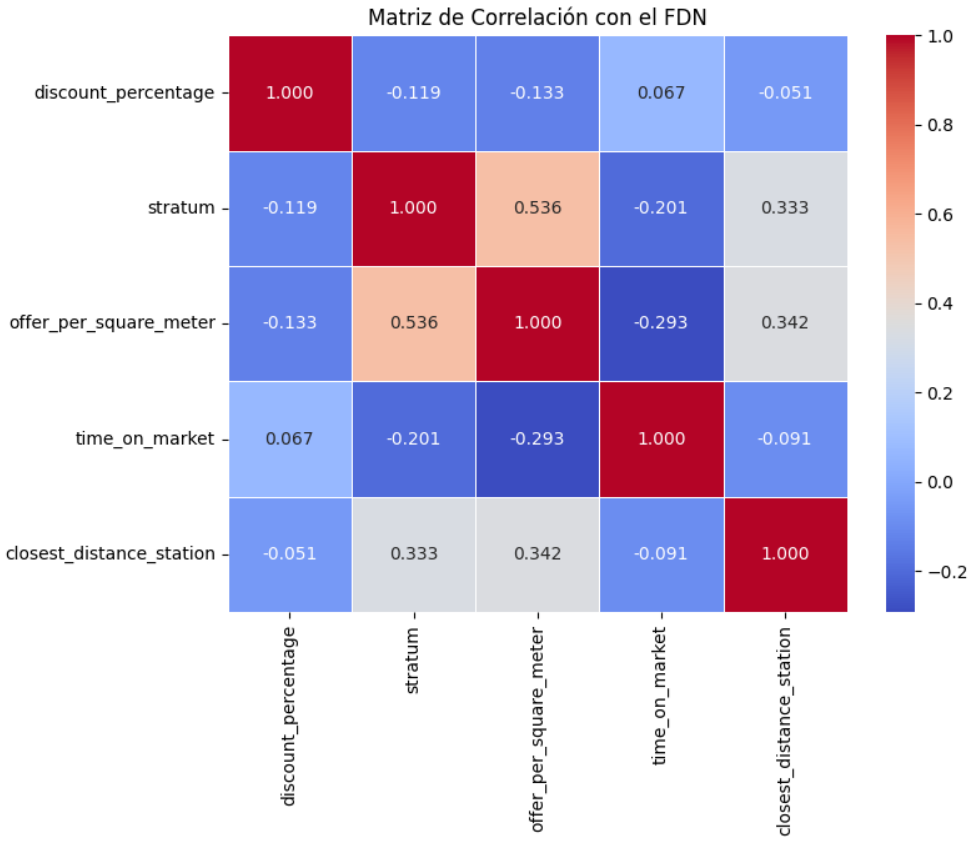

Figura 5. Matriz de correlación entre el FDN y variables auxiliares

Representación Geoespacial de los Inmuebles

Para entender mejor la distribución de las propiedades, se generó un mapa de puntos y polígonos que muestra la ubicación de cada inmueble respecto a las zonas de la ciudad.

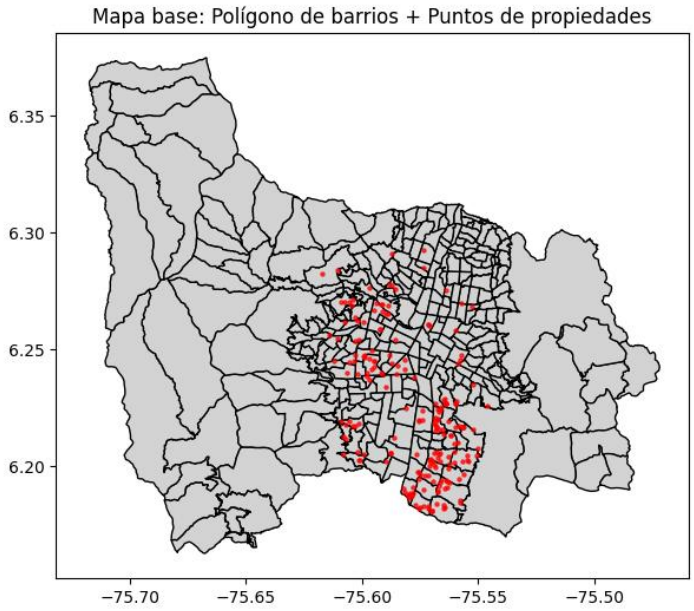

Figura 6. Mapa geoespacial con polígonos y puntos representando los inmuebles analizados.

Análisis Espacial y Modelo Kriging

Para evaluar la distribución espacial del Factor de Negociación (FDN), se aplicó el método de interpolación Kriging. Esta técnica permitió estimar valores en zonas no muestreadas y analizar patrones de negociación en Medellín.

Metodología de Interpolación

Se construyó un semivariograma con base en los datos de FDN, obteniéndose los siguientes parámetros:

Nugget (Ruido Espacial): 0.012

Sill (Varianza Total): 0.067

Range (Alcance Espacial): 2.5 km

Estos parámetros indican que la variabilidad espacial del FDN es moderada, con un alcance que sugiere que las zonas de influencia del descuento abarcan aproximadamente 2.5 km de radio.

Mapa de Interpolación (FDN Estimado)

El mapa de Kriging mostró diferencias espaciales en el Factor de Negociación.

Zonas al norte y noroeste de la ciudad presentaron valores más altos de FDN (aprox. 8.2%), indicando mayor capacidad de negociación de los compradores.

En el sur y suroeste se observaron valores más bajos (entre 3.3% y 4.5%), lo que sugiere menor margen de descuento.

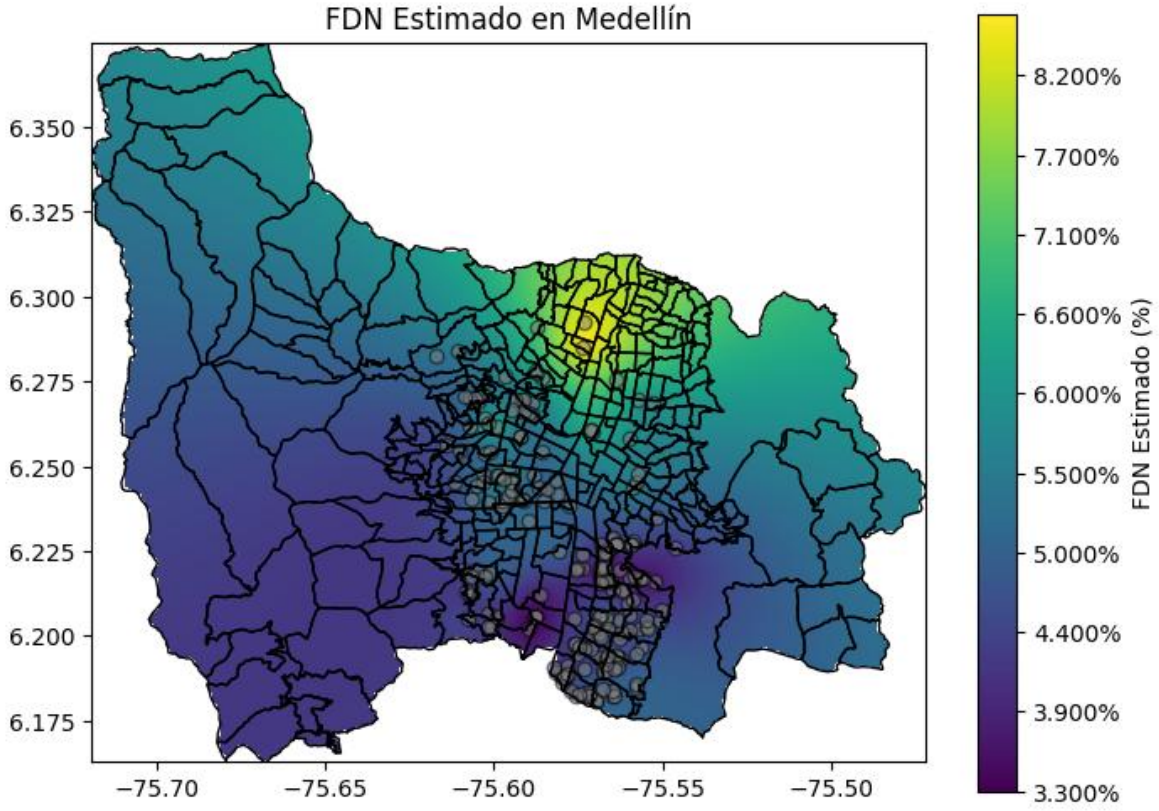

Figura 7. Mapa de interpolación del FDN estimado para Medellín.

Comportamiento Espacial del Error

El gráfico representa la varianza del error en la estimación del Factor de Negociación (FDN) en Medellín, lo que permite evaluar la precisión de las predicciones en diferentes zonas de la ciudad. La escala de colores indica la magnitud del error, donde los valores más bajos (en morado oscuro) reflejan menor incertidumbre en la estimación, mientras que los valores más altos (en verde y amarillo), indican mayor incertidumbre.

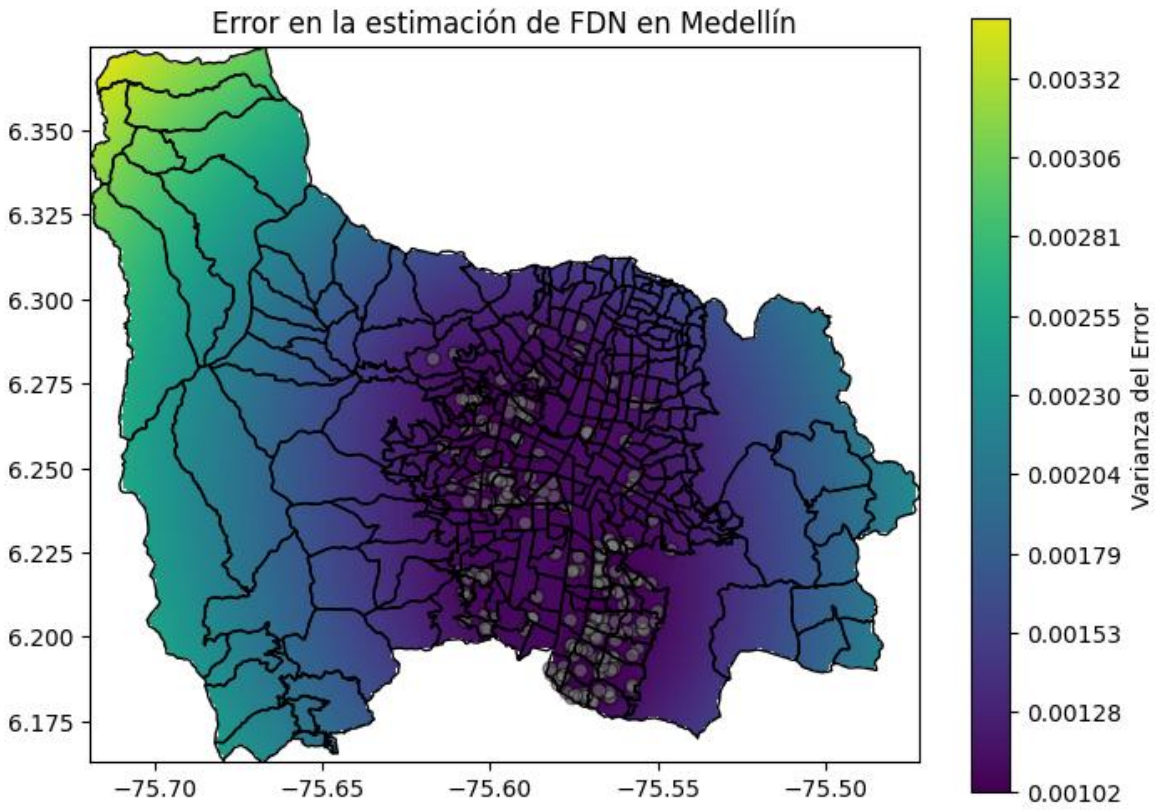

Figura 8. Mapa de error de estimación del FDN en Medellín.

En el análisis espacial de los errores de predicción del Factor de Negociación (FDN) se observaron patrones consistentes con la distribución desigual de los datos en Medellín. Las zonas donde el error es menor se concentran en el centro y en algunos sectores del sur de la ciudad. Esto sugiere una mayor confiabilidad en la predicción del FDN en estos sectores, lo cual podría explicarse por una mayor disponibilidad de datos y una homogeneidad relativa en los valores de negociación

registrados. En contraste, en el noroeste y en otras áreas periféricas, los errores aumentan considerablemente, lo que probablemente está relacionado con una menor densidad de observaciones o con una mayor variabilidad en los valores negociados.

Este patrón refuerza una conclusión clave: en zonas con mayor densidad de transacciones inmobiliarias, las predicciones del FDN tienden a ser más precisas. Por el contrario, la escasez de datos incrementa la incertidumbre, lo que se traduce en una mayor varianza del error. Esta relación entre la calidad de las predicciones y la densidad de datos es crucial, ya que subraya la importancia de contar con una base de datos suficientemente densa y representativa para toda la ciudad. Cuando la información está concentrada en ciertas áreas, las estimaciones en sectores con menor cobertura pierden confiabilidad, lo que distorsiona la interpretación del FDN en esos lugares.

Desde el punto de vista de la hipótesis central de esta tesis —evaluar si el FDN es un factor aleatorio o si sigue patrones de correlación espacial—, son hallazgos que tienen implicaciones relevantes. La presencia de errores elevados en ciertas zonas podría indicar que las estimaciones no reflejan tanto un patrón espacial subyacente, sino más bien la distribución de los datos disponibles. Sin embargo, si las zonas con menor error coinciden con aquellas donde se esperaría una estructura de mercado más sólida, podría interpretarse que el FDN sí presenta correlación espacial en esas áreas específicas, aunque no de forma uniforme en toda la ciudad. Para contrastar estos hallazgos un poco, se realizaron análisis espaciales exploratorios mediante la densidad de Kernel (KDE) y el análisis de clusters locales de Moran (LISA) para identificar posibles patrones espaciales en el (FDN). Estos análisis permiten detectar visualmente zonas con potencial de autocorrelación espacial.

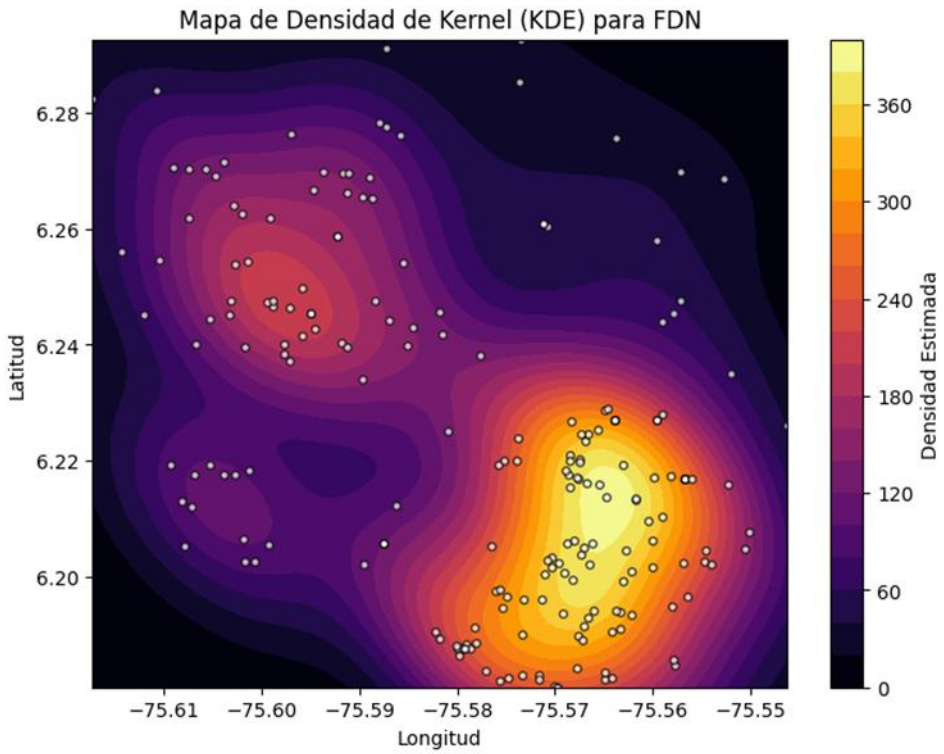

Figura 9.Mapa de Densidad de Kernel (KDE)

El mapa de densidad de Kernel revela áreas con mayor concentración de datos. Se observan claramente dos zonas principales con alta densidad. Sin embargo, esta alta concentración puede deberse a una mayor cantidad de datos en esas zonas específicas.

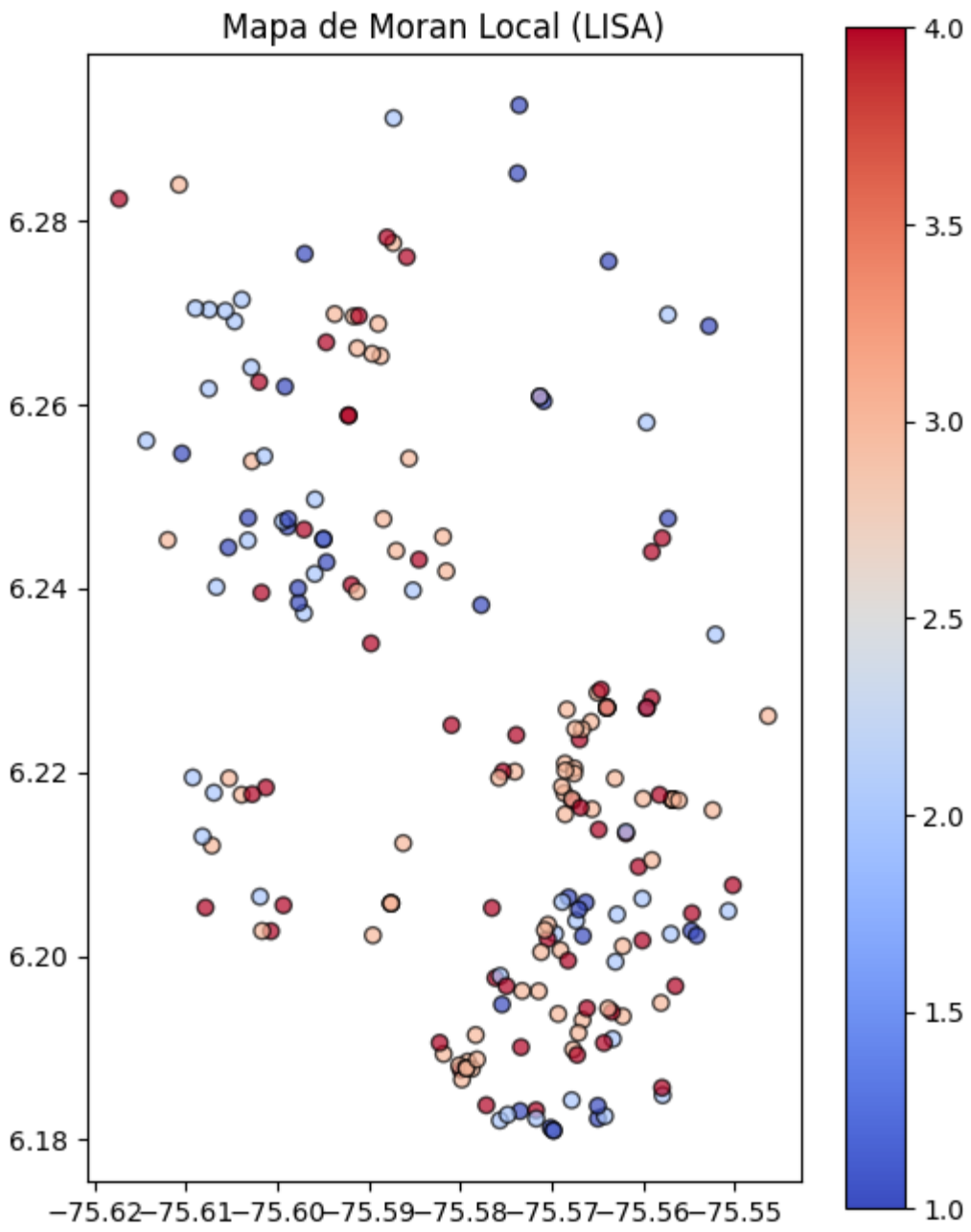

Figura 10. Mapa de Clusters locales de Moran (LISA)

El análisis LISA permite identificar clusters espaciales significativos que sugieren la posible existencia de autocorrelación espacial local. Se observan algunos clusters que coinciden parcialmente con las áreas de alta densidad identificadas en el análisis KDE, reforzando la hipótesis de que puede existir autocorrelación espacial en el FDN. No obstante, dada la cantidad limitada de datos disponibles (207 datos), es necesario tomar estos resultados con cautela.

CONCLUSIONES

Este trabajo permitió explorar una posible aproximación metodológica para identificar patrones espaciales del Factor de Negociación (FDN) en el mercado inmobiliario de Medellín, esto mediante el uso de técnicas geoestadísticas avanzadas, particularmente la interpolación espacial por Kriging. La investigación reveló indicios preliminares que sugieren la presencia de cierta autocorrelación espacial en el FDN, aunque no se identificó específicamente su relación directa con variables particulares como ubicación, accesibilidad o características urbanas del entorno. No obstante, es necesario enfatizar que estos hallazgos son preliminares y, aunque apuntan hacia la existencia de un componente espacial del FDN, la evidencia disponible no es suficiente para conclusiones definitivas. Por tanto, no se puede asegurar con certeza que el FDN sea un fenómeno totalmente aleatorio, pero tampoco se dispone de pruebas concluyentes para descartar completamente dicha posibilidad. Además, se observó claramente que las variables auxiliares consideradas en el estudio no contribuyeron significativamente en la explicación del comportamiento del FDN. Este hallazgo subraya la importancia de reevaluar la selección y relevancia de estas variables en futuros análisis, con el propósito de identificar otras que puedan aportar información más precisa y significativa. Finalmente, se recomienda la realización de estudios adicionales con bases de datos más amplias y diversos períodos de análisis para robustecer y validar los patrones espaciales sugeridos por esta investigación inicial, contribuyendo así a un entendimiento más profundo y concluyente del comportamiento espacial del FDN en el mercado inmobiliario.

BIBLIOGRAFIA

Alcaldía de Medellín. (2025, marzo 5). *Mapa de Medellín*. https://www.medellin.gov.co/mapgis9/mapa.jsp?aplicacion=1&css=css/app_mapas_medellin.css

Anglin, P. M., Rutherford, R., & Springer, T. M. (2003). The Trade-off Between the Selling Price of Residential Properties and Time-on-the-Market: The Impact of Price Setting. En *Journal of Real Estate Finance and Economics* (Vol. 26, Número 1).

Anselin, L. (1998). GIS Research Infrastructure for Spatial Analysis of Real Estate Markets. En *Source: Journal of Housing Research* (Vol. 9, Número 1). https://about.jstor.org/terms

Aznar Bellver, J., González Mora, Ronny., Guijarro Martínez, Francisco., & López Perales, A. A. . (2012). *Valoración inmobiliaria : métodos y aplicaciones : España e Iberoamérica*. Universitat Politècnica de València.

Cardella, E., & Seiler, M. J. (2016). The effect of listing price strategy on real estate negotiations: An experimental study. *Journal of Economic Psychology*, *52*, 71-90. https://doi.org/10.1016/j.joep.2015.11.001

Cellmer, R. (2014). The Possibilities and Limitations of Geostatistical Methods in Real Estate Market Analyses. *Real Estate Management and Valuation*, *22*(3), 54-62. https://doi.org/10.2478/remav-2014-0027

Harry, J. J., & Valencia A, G. M. (2018). *Impacto de la Calidad del Aire en la Formación Espacial de los Precios de Inmuebles en el*. Institución Universitaria Esumer.

Jahanshiri, E., Buyong, T., Rashid, A., & Shariff, M. (2011). A Review of Property Mass Valuation Models. En *Pertanika J. Sei. & Technol* (Vol. 19, Número S).

Kou, S., Peng, X., & Zhong, H. (2018). Asset Pricing with Spatial Interaction. *Source: Management Science*, *64*(5), 2083-2101. https://doi.org/10.2307/48748125

Kuntz, M., & Helbich, M. (2014). Geostatistical mapping of real estate prices: an empirical comparison of kriging and cokriging. *International Journal of Geographical Information Science*, *28*(9), 1904-1921. https://doi.org/10.1080/13658816.2014.906041

Matos Flores, R., & Salado-García, M. J. (2018). EL COMPONENTE ESPACIAL EN LA VALORACION DE INMUEBLES RESIDENCIALES: USO DE LA REGRESION

GEOGRAFICAMENTE PONDERADA. En *Luján, Año* (Vol. 10). http://www.revistageosig.wixsite.com/

Meza, J. C., & Arias, F. C. (s. f.). *EL ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES COMO HERRAMIENTA DE ESTUDIOS GEOGRÁFICOS*. http://www.gesig-proeg.com.ar/documentos/revista-geosig/BUZAI-BAXENDALE2009.pdf

Navarrete Álvarez, M. (2011). *Modelos geoestadísticos del precio de la vivienda: aproximación al conocimiento intraurbano de la ciudad de Madrid*. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID.

Pérez Guerra, G. A., Sosa-Franco, I., Machado-García, N., & Ruiz-Pérez, E. (2023). *GIS Tools, Review of their Foundations, Types and Relationship with Spatial Databases Herramientas SIG, revisión de sus fundamentos, tipos y relación con las bases de datos espaciales*. https://cu-id.com/2177/v32n3e10

Tamaris Turizo, I. D. (2023). *El efecto de la localización sobre el valor de la vivienda. Los casos de Santa Marta y Atenas* [Universidad De Granada]. https://digibug.ugr.es/handle/10481/92833