

**Estudio sobre las variables que impactan los precios de vivienda nueva en Bogotá en  
sus diferentes segmentos económicos.**

**Alejandro Maté De Dios**

**Colegio de Estudios Superiores de Administración**

**Maestría en Finanzas Corporativas**

**Bogotá**

**2022**

**Estudio sobre las variables que impactan los precios de vivienda nueva en Bogotá en  
sus diferentes segmentos económicos.**

**Autor:**

**Alejandro Maté De Dios**

**Tutor:**

**Alfredo Contreras**

**Colegio de Estudios Superiores de Administración - CESA**

**Maestría en Finanzas Corporativas**

**Bogotá**

**2022**

## Tabla de Contenido

Resumen.	5
Marco Teórico	6
2.1 Problema de investigación	6
2.2 Pregunta	10
2.3 Hipótesis	11
2.4 Objetivo general y específico	11
2.4.1 Objetivo general	11
2.4.1 Objetivos específico	12
2.5 Marco Teórico	12
Revisión del Estado del Arte	15
Metodología	21
Datos	27
Resultados	31
7.1 Regresiones lineales independientes individual	31
Regresión lineal Precio por m2 y variables independientes individuales	32
Regresión múltiple lineal Precio por m2 de variables independientes	34
Regresión Cuantílica Precio x m2 vs Distancia corredores corporativos	37
Regresión Cuantílica Precio x m2 vs Distancia centros comerciales	39
7.2 Regresión cuantílicas múltiples Precio x m2	40
Regresión Cuantílica Q10	41
Regresión Cuantílica Q25	42
Regresión Cuantílica Q75	42
Regresión Cuantílica Q90	43
7.3 Pruebas de Bondad y Ajuste regresiones cuantílicas	44
7.4 Backtesting y comparación regresiones múltiples	44
Conclusiones	47
Recomendaciones	49
Bibliografía	51

## Índice de Tablas

Tabla 1 Seguridad localidades de Bogotá.....	23
Tabla 2 Centros Comerciales.....	28
Tabla 3 Centros Corporativos.....	29
Tabla 4 Resumen indicadores.....	30
Tabla 5 Regresiones individuales.....	32
Tabla 6 Regresiones múltiples con todas las variables.....	34
Tabla 7 Regresiones múltiples con variables significativas.....	35
Tabla 8 Coeficientes lineales Dis_Cor.....	37
Tabla 9 Coeficientes regresiones cuantiles Q10.....	41
Tabla 10 Coeficiente regresiones cuantiles Q25.....	42
Tabla 11 Coeficientes regresiones cuantiles Q75.....	42
Tabla 12 Coeficientes regresiones cuantiles Q90.....	43
Tabla 13 Resultados prueba bondad y ajuste.....	44
Tabla 14 supuestos backtesting.....	45
Tabla 15 Resultados del backtesting.....	45

## Índice Imágenes

Imagen 1 Mapa Ubicaciones.....	29
Imagen 2 Histograma precio x m2 de vivienda.....	30
Imagen 3 Gráfica Precio x m2 y distancia a centros corporativos.....	37
Imagen 4 Gráfica x m2 y distancia a centros comerciales.....	39
Imagen 5 Coeficiente regresiones lineales Dis Com.....	39

## 1. Resumen.

La inversión en vivienda en Colombia es uno de los principales motores de la economía del país en los últimos años y lo continuará siendo en los próximos. Esto debido al resultado de estudios donde el déficit habitacional del país es del 23.4% para el 2021. Sin embargo, este es un sector que ha tenido varios retos a lo largo de los últimos años en temas de financiación y acceso a gran parte de la población. Adicionalmente, requiere de altos montos de inversión y un estudio riguroso sobre el éxito del proyecto. En ese sentido, se realizó un estudio del comportamiento de los precios de la vivienda nueva de los últimos años. Para lo anterior, se utilizó una base de datos con más de 4900 proyectos con sus características básicas y su ubicación en la ciudad de Bogotá. De esta manera se hicieron análisis estadísticos en diferentes segmentos de precios para identificar las variables más importantes y si estas tenían cambios según el nivel de precio analizado. A diferencia de lo planteado, se pudo observar que las variables planteadas no tienen un impacto distinto en los diferentes precios y se confirmó la importancia de la ubicación en la determinación del precio de un inmueble. En ese sentido, los resultados nos permiten ver que, aunque las variables tengan comportamientos similares se debe hacer un estudio particular de la zona y no se puede hacer de modo general con todos los inmuebles. En ese sentido, es importante mencionar que la inversión en el sector inmobiliario se debe hacer con rigurosidad y entender las tendencias de la población y entender el crecimiento de ciudades más desarrolladas.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Problema de investigación

La vivienda es uno de los principales bienes de las personas no solo por su valor económico, sino también por el bienestar social que esta conlleva. Sin embargo, en Colombia existe un déficit habitacional del 31.4% para el año 2020 según el DANE. Lo anterior quiere decir, que el país requiere una mayor inversión en el sector habitacional que genere una menor desigualdad en la población y así mejore el bienestar de la sociedad. Asimismo, como lo menciona (Alarcon y Vera, 2020, pág. 141): *“La vivienda no solo se constituye como un elemento fundamental de protección, (...), sino que además suele representar la mayor parte del patrimonio de las familias”*. De manera que, fomentar el acceso a la vivienda disminuiría la desigualdad de la sociedad aumentando el nivel patrimonial de las familias colombianas.

Del mismo modo, la rama de la construcción tiene un peso significativo en la economía colombiana. Por ejemplo, para el 2020 el sector tuvo un decrecimiento del 27.7% frente al año anterior lo que representó un deterioro del PIB en 1.9 puntos porcentuales según el DANE. De manera que, un incremento en la inversión en la construcción de nuevas viviendas no solo tendría un impacto positivo en el bienestar de las personas, sino que también aportaría en la disminución del desempleo y la economía del país.

Sin embargo, la oportunidad de comprar vivienda propia en Colombia todavía es un reto para la población colombiana. Esto se debe al limitado acceso a los productos financieros que tiene una parte importante de la población activa del país. Asimismo, la cartera hipotecaria osciló entre el 9.2% y el 3.7% del PIB entre los años 1995 y 2017 según

(Triviño y Velasco, 2019). El punto más bajo fue en el 2006, donde se vivió una crisis debido a los esquemas piramidales, tuvo un impacto negativo en la compra de vivienda.

Dado lo anterior, se observa que el mercado inmobiliario tiene una gran influencia en la economía del país, generando una gran cantidad de empleos que según el DANE para abril del 2021 el número de trabajadores de ascendía a 1.02 millones en el sector edificador. Lo anterior representa aproximadamente un 4% de la población activa de Colombia. En este sentido, se puede ver la importancia de la inversión de vivienda nueva en el país colombiano.

Por otro lado, debido al tamaño del mercado entender el comportamiento de los precios de la vivienda y su efecto amplificador en el balance de los propietarios y agentes de financiación como lo menciona (Cavalleri, Cournéde, y Ziemann, 2019), podría ser un indicador de la salud del mercado financiero y por tanto la economía. Es decir, que una reducción en los precios representa un deterioro del patrimonio de las familias los que implicaría un deterioro en el consumo de las familias. Este tipo de fenómenos podría llevar a la economía a una recesión.

En ese mismo sentido, en Colombia el acceso a productos financieros y en específico el crédito hipotecario ha sido un reto para las instituciones financieras. Debido a que según el DANE la economía informal asciende a al 48% a junio del 2021. Esta situación de informalidad no permite que la población acceda a una vivienda nueva y recurra al esquema de arriendo sin la posibilidad de generar un patrimonio propio.

Al mismo tiempo en Colombia, se ha definido tres tipos de vivienda de acuerdo con el gobierno: i) La vivienda de interés prioritario (VIP) que no puede superar los 70 salarios

mínimos legales vigentes, ii) La vivienda de interés social (VIS) que no puede superar los 135 salarios mínimos legales vigentes y iii) La vivienda no VIS y VIP que puede superar los montos mencionados anteriormente. Esta discriminación de los precios de venta tiene un impacto directo en el análisis, ya que a través de la vivienda VIS y VIP el gobierno ha otorgado subsidios para fomentar la compra de este bien con una serie de regulaciones y requisitos.

Dado lo anterior, en Colombia se ha impulsado el ahorro familiar a través de la compra de vivienda nueva en las últimas décadas. Sin embargo, según (Alarcon y Vera, 2020) existen tres etapas que han marcado la inversión en este tipo de activos. La primera fue la creación del UPAC (Unidad de Poder Adquisitivo Constante), donde se incentivó la compra de vivienda a través de créditos que se ajustaban al poder adquisitivo de las personas. Adicionalmente, se crearon las Corporaciones de Ahorro y Vivienda, facilitando el acceso a estos productos a la sociedad lo que fomentó la compra de vivienda que resultó en aumento de los precios.

El segundo momento, surgió de las reformas durante la primera mitad de los años noventa, donde desregulación y modificaron el sistema del crédito basado en la Unidad de Poder Adquisitivo Constante (UPAC) en cual se unió a la crisis económica del final de siglo XX. Esto representó un aumento en el desempleo, incrementos en el valor de los créditos hipotecarios y una disminución en el precio de las viviendas que resultó en que muchas familias tuvieran carteras vencidas y entregaran sus bienes. Esta situación de crisis provocó que los precios de la vivienda cayeran.

El tercer momento fue el cambio del UPAC a la Unidad del Valor Real (UVR) mediante tres sentencias del gobierno nacional. Adicionalmente, a través del Fondo de Garantías



de Instituciones Financieras (*Fogafin*), se modificó el sistema del crédito hipotecario y la mayoría de las Corporaciones de Ahorro y Vivienda fueron absorbidas por bancos comerciales como lo menciona (Caballero, 2019). De esta forma, el país tuvo una recuperación lenta hasta que llegó la crisis causada por la crisis económica mundial del 2008 generada principalmente por el esquema hipotecario *subprime* de Norteamérica.

De acuerdo con la revisión histórica del país, se puede inferir que los esquemas de financiación acompañado de la ingeniería financiera han impactado los precios de las viviendas a nivel mundial. Por lo que representa un desafío comprender cual es el valor real de la vivienda y cuando los precios pueden reflejar una burbuja financiera o hipotecaria. Sin embargo, sin el sector financiero sería imposible la compra de vivienda para la población ya que una casa puede alcanzar hasta los ocho veces el salario anual de una persona (Warnock y Warnock, 2007).

Sin embargo, existen otros factores que influyen en la estimación de los precios de vivienda en las ciudades y es el incremento de los precios del suelo y su escasez. De acuerdo con (Camelo y Campo, 2015), es el resultado de un carácter específico de los terrenos y de políticas públicas de las ciudades. Es decir, el aumento del precio de la tierra se ve reflejado en un aumento de los precios de la vivienda y este puede ser causado por la regulación del uso de la tierra o por fronteras físicas como un río

Lo anterior resulta en un problema de oferta de la vivienda dado que se ve restringida por el costo y la disponibilidad de los terrenos en las ciudades. Dando como resultado un aumento en los precios de la vivienda en los sectores más importantes de las ciudades y de la misma forma disminuyendo el costo en la periferia urbana. Asimismo, resulta en un

problema social donde las personas de menos recursos terminan accediendo a viviendas lejos de su lugar de trabajo.

Por otro lado, las variables económicas y regulación política no son las únicas condiciones que explican la variación de los precios de vivienda. La realidad es que el mercado habitacional es un producto heterogéneo y su precio cambia dependiendo de la ubicación, características, edad del inmueble entre otros aspectos que satisfacen las necesidades de la población.

Por esta razón, se ha buscado diseñar diferentes metodologías para poder determinar el precio de las viviendas dada la relevancia del activo en la economía y su impacto en la sociedad. Sin embargo, la falta de información dada las características del mercado ha dificultado el análisis en la determinación de los precios de la vivienda.

En ese mismo sentido, y de acuerdo con (Schnare y Struyk, 1976) es fundamental entender el comportamiento de los precios de la vivienda en los diferentes segmentos que existen, debido al comportamiento heterogéneo de la oferta y la demanda. Esto quiere decir, que debido a las restricciones del suelo o a unas características especiales de la oferta de vivienda cada sector a analizar se puede comportar de manera distinta.

## 2.2 Pregunta

De igual forma, es fundamental realizar y entender el comportamiento de los precios de la vivienda dado que es un motor de la economía y un análisis correcto en el momento de analizar una oportunidad de inversión podría ser un catalizador para fomentar la industria de la construcción del país. En ese mismo sentido, responder a la pregunta: ¿En qué se diferencian los factores que determinan los precios de la vivienda en los diferentes

segmentos socioeconómicos de la ciudad de Bogotá? Es fundamental para poder desarrollar un plan de inversión exitoso con menor incertidumbre que logre mejorar la situación de vivienda en la ciudad y sea acorde a las necesidades de la población.

### 2.3 Hipótesis

- Debido a la oferta limitada del suelo en Bogotá y la regulación de los precios de vivienda en los segmentos socioeconómicos más bajos, se estima que la ubicación relativa a los centros comerciales de la vivienda tiene una mayor influencia en los precios más bajos, mientras que en los sectores socioeconómicos más altos la ubicación frente a los centros corporativos de los inmuebles tiene una mayor incidencia en el precio de la vivienda.

### 2.4 Objetivo general y específico

#### *2.4.1 Objetivo general*

- Determinar si entre los diferentes niveles de precios de la vivienda nueva existen factores que afecten de manera distinta y con otra ponderación la estimación de los precios de la vivienda en la ciudad de Bogotá, dado que el mercado habitacional es heterogéneo y con poca información de mercado.

### 2.4.1 *Objetivos específico*

- Describir los factores más relevantes que impactan los precios de la vivienda en la ciudad de Bogotá.
- Analizar cuantitativamente el comportamiento de las variables en cada nivel socioeconómico bogotano y su impacto en el precio.
- Evaluar la relevancia relativa que tiene cada una de las variables al determinar los precios de la vivienda Bogotá en los diferentes niveles de precios.
- Interpretar los resultados del modelo definido por las variables seleccionadas que impactan los precios de vivienda en Bogotá.

### 2.5 Marco Teórico

Para la valoración de los activos financieros se han utilizado diferentes metodologías, sin embargo, CAPM desarrollado por William Sharpe, fue el primer método implementado el cual consideraba la relación entre el riesgo y el retorno esperado de una inversión (Sharpe, 1964). Por otro lado, desde la aparición de Gordon y E. Shapiro donde dice que un flujo que crece a una tasa y es descontado por otra a una tasa distinta su valor presente será:

$$PV_0 = \frac{F}{K - g}$$

- $PV_0$  = Valor Presente
- $g$  = Tasa de crecimiento
- $k$  = Tasa de descuento

Se han desarrollado diferentes teorías para la valoración de empresas y activos que han influenciado diferentes ramas de la investigación y el desarrollo de las finanzas en la historia.

(Modigliani y Miller, 1958), presentaron como la composición del capital no debería tener influencia en el valor de la firma, en el caso de que no hubiera impuestos. Sin embargo, en (Modigliani y Miller, 1963) publicaron una actualización teniendo en cuenta el efecto de poder descontar los intereses del pago de la renta. Lo anterior, sentaron las bases del costo del capital para determinar el valor de una firma o activo.

Por otro lado, como lo menciona (Koetter y Poghosyan, 2010), el precio de los activos inmobiliarios debería ser el resultado del flujo de caja descontado, el cual debería ser controlado por la demanda y ser un reflejo de los ciclos económicos. Sin embargo, esta relación no se cumple por tres factores principales. El primero es que los activos no son estándares y su calidad es diferente. Segundo, al no tener un mercado centralizado no existe información pertinente ni liquidez y aumenta los costos de transacción. Por último, la oferta tiene un efecto retrasado debido a los tiempos de construcción y la limitación de la tierra disponible.

Asimismo, es importante mencionar, que en el mercado inmobiliario la información disponible para los inversionistas no es simétrica y por lo tanto es ineficiente. Lo anterior lo menciona (Fama, 1970), que en los mercados eficientes los precios de los activos reflejan toda la información disponible y existen tres diferentes niveles de eficiencia, débil, semi fuerte y fuerte. Lo anterior quiere decir que, en un mercado débil, solo se conoce la información histórica, por lo que no se puede predecir el precio de los activos

en un futuro mediante un análisis técnico y solo lo podrá hacer mediante la información privada.

Adicionalmente, (Grossman y Stiglitz, 1980) analizan que los precios son el reflejo de la información que tienen los individuos y las personas que invierten recursos en obtener información se ven beneficiado de esto. Es decir, que los mercados eficientes son costosos y por esta razón poco comunes. Este es un reflejo del mercado inmobiliario, donde existen agentes con mayor acceso a las fuentes y obtienen ventajas competitivas.

De esta misma forma, existen diferentes herramientas econométricas de análisis para determinar el impacto de diferentes variables sobre una variable dependiente. En este caso, el modelo de precios hedónicos el cual fue desarrollado por (Rosen, 1974) cuenta con la estimación que los bienes son valorados por la utilidad que le brinda sus características y atributos.

El artículo de (Rosen, 1974) y (Morales y Arias, 2005) plantean que varios tipos de bienes pueden ser descritos por un vector de características medibles como:

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

- $y_1$ = característica 1
- $y_2$ = característica 2
- $y_n$ = característica n

Resulta en un precio hedónico de acuerdo con el conjunto de variables seleccionadas. Por lo que los oferentes y demandantes pueden distinguir todas las variables y así determinar un precio.

Sin embargo, se han analizado diferentes métodos de regresión para explicar el impacto de las variables en diferentes secciones. La regresión cuantílica según (Koenker & Hallock, 2001) busca estimar funciones condicionadas a los segmentos que se deseen analizar. De esta forma, se podría analizar los precios de la población según los estratos y precios de la vivienda u otro tipo de activo que permita segmentar diferentes cuantiles de la población.

Teniendo en cuenta lo anterior, se observa que hay diferentes teorías sobre la dificultad de estimar los precios de un activo y en particular los del sector inmobiliario. Lo anterior, debido a la falta de información (Fama, 1970), la estimación del costo de capital (Modigliani y Miller, 1963) y los diferentes estándares dentro del mercado (Koetter y Poghosyan, 2010).

### 3. Revisión del Estado del Arte

La revisión de los precios de la vivienda es un tema al que se le ha dedicado numerosos estudios desde diferentes perspectivas e implicaciones. Por ejemplo, desde la perspectiva económica se busca identificar la relación entre los ciclos económicos y los precios de la vivienda ya que como menciona (Salazar, Steiner, Becerra, y Ramírez, 2012, pág. 1) *“...que auges desproporcionados en el mercado de la finca raíz pueden tener consecuencias económicas profundas”*.

Lo anterior, también es mencionado por (Koetter y Poghosyan, 2010), donde mencionan la importancia del mercado inmobiliario en la estabilidad económica de un país. Se argumenta que una burbuja inmobiliaria no está cuantificada en el riesgo asumido por los bancos. Lo anterior se puede observar en los procesos de crisis bancaria de los últimos

años en las diferentes regiones del mundo ya que este riesgo aumenta el riesgo de quiebra de las diferentes instituciones.

Adicionalmente, (Agnello y Schuknecht, 2009) argumentan que el incremento en el ingreso y las tasas de interés son uno de los principales factores en el incremento de los precios de vivienda. Asimismo, mencionan que la liberación del mercado hipotecario incrementó la sensibilidad en los precios en el corto plazo. Por ejemplo, (Garriga, 2010) menciona que en España el incremento de los precios de la vivienda durante el año 2000 se dio en parte a la reducción de tasas que en 1996 estaban en un 10% y que para el 2005 llegaron a un 3.5%.

Como resultado, la modernización del sistema bancario significó un mayor acceso al mercado habitacional. Lo anterior como lo menciona (Caballero, 2019), la liberación del sistema financiero impulsó la construcción en Colombia, sin embargo, también produjo una de las mayores crisis económicas.

De esta misma forma, de acuerdo con (Aoki, Proudman y Vlieghe, 2012), la liberación del mercado financiero en el Reino Unido permitió acceder a créditos más fáciles con el colateral de la vivienda. Sin embargo, el modelo les permitió observar que a medida que el precio de la vivienda aumenta, su capacidad de endeudamiento incrementa debido al incremento de su patrimonio y por lo tanto el consumo también aumenta. Es decir, que el auge en el consumo y en la economía también está relacionado con un aumento en los precios de la vivienda.

Sin embargo, la crisis financiera relacionada con el mercado de vivienda demuestra lo frágil que puede ser este sistema. De acuerdo con (Caldera y Johansson, 2013), muestra



que el quinto percentil de los datos analizados en un horizonte de tiempo determinado en los países de la OCDE cuenta con que el crecimiento de los precios de vivienda está sobrevaluado. Y menciona que el indicador para monitorear este resultado es la estabilidad financiera.

Sin embargo, hay otras consideraciones importantes a tener en cuenta en el análisis sobre los precios de la vivienda. Las transacciones inmobiliarias cuentan con altos costos y resulta difícil apostar en contra del precio en el mercado. Por esta razón, se puede presumir que los precios están por encima de su valor fundamental. En ese sentido, la elasticidad de la oferta en los precios de vivienda tiene un rol fundamental, debido a que el desarrollo de vivienda nueva aumentando afecta la duración del boom como lo mencionan (Glaeser, Gyourko y Saiz, 2008).

De acuerdo con lo anterior, en el estudio de la oferta de la vivienda se ha enfatizado en el impacto de los costos de construcción, particularmente las restricciones y regulaciones de las diferentes zonas y de cómo estos repercuten en los precios de las viviendas como lo menciona (Paciorek, 2013). De acuerdo con (Glaeser, Gyourko, y Saiz, 2008), cuando existe una restricción en el desarrollo del terreno existe una correlación entre la caída de los precios y el grado de elasticidad.

Adicionalmente, las transacciones ocurren entre el comprador y el vendedor son negociaciones privadas y no se cuenta con un mercado centralizado como los activos financieros. Lo anterior resulta en que no se tenga mucha información de mercado en el momento de vender un inmueble. Otro elemento importante, son los altos costos y trámites asociados a una compraventa inmobiliaria que no permiten que existan varias

transacciones. Por lo tanto, se ve reflejado en un mercado ilíquido, heterogéneo y con información limitada.

Adicionalmente, de acuerdo con (Schnare y Struyk, 1976) el mercado de la vivienda se encuentra segmentado y los precios varían dependiendo de esta separación. Lo anterior se debe a según el autor que en ciertos momentos del tiempo la oferta de la demanda puede ser fija y en otros periodos puede ser altamente inelástica la oferta para ciertos barrios. Lo anterior produce que los precios varíen significativamente entre las diferentes áreas.

Como se mencionó anteriormente, la economía y la política monetaria tiene un impacto en los precios de vivienda. Sin embargo, los métodos de valoración de las propiedades basado en las características heterogéneas del mercado han ido evolucionando de acuerdo con el acceso a la información.

En ese mismo sentido, (Páez, Long y Farber, 2008) describen la importancia de la regresión hedónica para la estimación de los precios de vivienda dadas sus características. Aunque la teoría no menciona qué variables de la función del precio se deben escoger normalmente se usan como independientes como el tamaño, barrio y desempleo. De esta manera el modelo produce una curva log-lin mediante una regresión de ordinal de mínimos cuadrados para estimar los coeficientes

Sin embargo, como se indicó anteriormente, las variables independientes deben ser especificadas de tal manera que la ubicación, la segmentación de los mercados y las características de la propiedad no resulten un resultado desviado. Por esta razón se han desarrollado modelos a partir del modelo hedónico para mejorar la calibración de los

parámetros como lo es el *Rolling Window Regression* utilizado por (Páez, Long, y Farber, 2008).

Sin embargo, como menciona (Chin y Chau, 2003) debido a que la regresión hedónica puede ser lineal, semi log y log-log una elección incorrecta de la forma puede resultar en inconsistencia. Adicionalmente la teoría no proporciona una guía sobre la forma seleccionar y se puede incurrir en un error.

Adicionalmente, con el avance en la ciencia de los datos se han desarrollado nuevas metodologías para determinar los precios de la vivienda, debido a las limitaciones de los precios hedónicos y sus fuertes supuestos en las preferencias de los compradores. Uno de estos es mediante el análisis del Bosque Aleatorio donde mediante un algoritmo de decisión una serie de parámetros logra determinar el precio de la vivienda como lo menciona (Hong, Choi, y Kim, 2020).

Por otro lado, (Preciado, 2019) argumenta una técnica de redes neuronales artificiales para estimar el precio de los inmuebles para diferentes segmentos del mercado inmobiliario. Con este método de predicción de precios le permitió al investigador predecir el valor de la transacción a partir de diferentes características del bien habitacional en la ciudad estudiada.

Por otro lado, la regresión cuantílica ha sido utilizada por analizar los precios de la vivienda según su rango de precio. De acuerdo con (Mora, Céspedes, Pérez, Martí, y Pérez, 2019), a medida que los precios cambian las variables tienen un efecto distinto sobre el precio de la vivienda. Lo que permite inferir es que la heterogeneidad de la

vivienda está condicionada al carácter físico, sino que se diferencia en la ponderación de los factores de importancia dependiendo del sector socioeconómico.

En esta misma línea, (Zietz, 2008) argumenta que existen razones para argumentar que las características de los inmuebles son evaluadas de manera distinta a medida que el precio va aumentando. Lo anterior se debe a que cada mercado tiene características distintas en cuanto al acceso al crédito, la limitación de la oferta y las diferentes amenidades que cada una de las viviendas cuenta. En ese mismo sentido, se argumenta la dificultad de elegir y encontrar cada submercado. Ya que este puede ser la característica más representativa para tener unos resultados que reflejen la realidad.

Por otro lado, como mencionan (Hung, W. T., Shang, J. K y Wang, F. C,2010) el impacto de la ubicación depende de los niveles de precio del inmueble. Es decir, que entre mayor sea el precio del inmueble su ubicación va a ser más influyente que en los inmuebles de menor costo.

En definitiva, se han desarrollado varios métodos para evaluar los precios y entender la dinámica del mercado habitacional en diferentes regiones del mundo. La mayoría de los autores coinciden en que el mercado inmobiliario está influenciado por factores macroeconómicos como la tasa de interés y la situación de ingresos de la población. Sin embargo, en el momento de determinar los factores que influyen en los precios se ha visto que existen varios submercados que se comportan distinto.

#### 4. Metodología

En primer lugar, es importante mencionar que el presente análisis es de carácter cuantitativo de las variables que pueden explicar los precios de la vivienda en la ciudad de Bogotá, Colombia. Por las características del mercado, la información de los precios de vivienda es limitada, y por esta razón presenta un reto obtener una información confiable y completa.

Sin embargo, para este proceso de investigación se basa en la información recolectada por el CAMACOL, el gremio del sector de la construcción que se encarga de la recolección de datos mediante entrevistas directas, llamadas telefónicas y correos electrónicos mensuales a los diferentes proyectos residenciales y no residenciales. Lo anterior les ha permitido generar una base de datos robusta la cual permite identificar las diferentes variables que puedan afectar los precios de las viviendas.

Para este estudio, se tendrán en cuenta los proyectos residenciales terminados desde el 2016 hasta diciembre del 2021. Se buscará determinar cómo el precio de venta de los proyectos cambia a partir del estrato, ubicación y características básicas del inmueble como lo son la cantidad de habitaciones y baños.

A partir de la base de datos se realizará un análisis estadístico mediante una regresión lineal y otra cuantílica de los datos históricos del cual tendrá en cuenta los siguientes pasos:

1. En primer lugar, para realizar las regresiones se definirán las siguientes variables independientes las cuales se consideran pertinentes desde un punto teórico el cual podrían tener un impacto en el precio de la vivienda:

- *Variables independientes:*

***Distancia Centros Comerciales (km):*** Corresponde a la distancia en km entre el centro comercial más cercano y la vivienda medido en línea recta mediante la fórmula del semiverseno, la cual se utiliza para medir la distancia entre dos puntos en un globo.

***Distancia Centros Corporativos (km):*** Corresponde a la distancia en km entre el corredor corporativo y la vivienda medido en línea recta mediante la fórmula del semiverseno, la cual se utiliza para medir la distancia entre dos puntos en un globo.

***Área (m<sup>2</sup>):*** El área corresponde al tamaño del inmueble medido en metros cuadrados de área útil.

***Año (#):*** Año del momento de venta del inmueble, este puede estar en diferentes etapas del proyecto de construcción.

***Seguridad por Localidad (#):*** Corresponde a la relación del total de la población dividido al total de riñas en cada localidad.

Localidad	# Riñas reportadas por localidad 2021	Habitantes 2022	Riñas por habitante
Fontibón	838	399,020	37.81
Engativá	4,356	815,262	29.72
Suba	5,150	1,273,909	33.06
Antonio			
Nariño	5,232	82,958	18.93
Tunjuelito	6,771	181,476	27.91
Rafael Uribe	8,057	386,696	26.97
Candelaria	8,360	18,143	14.29
Barrios			
Unidos	8,626	150,151	25.56
Teusaquillo	11,071	167,657	30.31
Puente			
Aranda	14,847	255,123	29.30
Los Mártires	15,151	83,142	15.54
Usaquén	20,641	579,447	42.63
Chapinero	23,977	176,471	26.41
Santa Fe	34,936	107,630	16.44
San Cristóbal	37,466	403,674	23.06
Usme	38,945	400,580	25.39

*Tabla 1 Seguridad localidades de Bogotá*

**Alcobas (número):** Se refiere a la cantidad de habitaciones que tiene un inmueble en específico.

**Baños (número):** Se refiere a la cantidad de baños que tiene un inmueble en específico.

2. Para la determinación del precio según sus características y el estrato en el que se encuentra se utilizará una regresión cuantílica la cual se definirá así:

A partir variable aleatoria  $Y$  (el precio x  $m^2$  de la vivienda nueva) que se define por la siguiente distribución de probabilidad  $F(y) = P(Y \leq y)$  y el cuantil de  $Y$  se define como:

$$Y = X_i\beta_\theta + u_{\theta i}$$

- $Y$ : Variable independiente (Precio x  $m^2$  del inmueble)
- $X_i$ : Variables independientes (Definidas arriba)
- $\theta$ : Cuantil
- $\beta_\theta$ : Coeficiente estimado para el cuantil  $\theta$

La solución al problema anterior se obtiene optimizando el siguiente problema:

$$\sum_i \left| y_i - \sum_{j=0}^k \beta_j x_{j,i} \right| h_i$$

Donde:

- $h_i = 2q$  si la observación  $i$  es estrictamente positiva
- $h_i = 2-2q$  si la observación  $i$  es cero o negativa
- $q =$  es el cuantil definido entre 0 y 1 ( $0 < q < 1$ )



3. A partir de la regresión cuantílica se evaluarán los parámetros obtenidos entre los diferentes cuantiles para determinar si existe alguna diferencia significativa entre las variables independientes dependiendo del cuantil a analizar. El cual de acuerdo con (Zietz, 2008), los submercados de vivienda tienden a comportarse distinto debido a las restricciones de cada mercado.
4. A partir de los resultados obtenidos en los diferentes cuantiles se escogerán las variables independientes representativas para el modelo. Y se responderá la siguiente pregunta de acuerdo con los resultados obtenidos en los diferentes cuantiles:

$h_0$

= *Los determinantes del precio de la vivienda nueva no depende del nivel del precio de venta.*

$h_1$

= *Los determinantes del precio de la vivienda nueva si depende del nivel del precio de venta.*

Adicionalmente en caso de ser afirmativo, se debe preguntar lo siguiente para resolver la hipótesis planteada:

- ¿Es la ubicación la variable más relevante en los precios de vivienda más altos o es indiferente?

- ¿Es igual de significativo la distancia a los centros comerciales y la distancia a los corredores corporativos entre los diferentes niveles de precios de los inmuebles?
  - ¿Las características del inmueble tienen un impacto distinto en los diferentes precios de vivienda o se comportan similar?
5. Adicionalmente, se realizará una prueba de bondad y ajuste, con un pseudo  $R^2$ , el cual fue desarrollado por Koenker y Machado en (1999). Este se realiza comparando la suma de las distancias ponderadas el cual tiene en cuenta únicamente el intercepto en cuenta. La fórmula se puede ver a continuación.

$$Pseudo R2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_1|}{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_\tau|}$$

Como se puede ver en la fórmula anterior, igual que el  $R^2$  de la regresión de MCO, entre más cerca se esté a uno (1.00), el modelo tiende a explicar mejor las variables. Sin embargo, es importante mencionar, que los resultados no son comparables con el  $R^2$ , estos se deben comparar entre los diferentes cuantiles.

6. Por último, se realizará *backtesting* de los resultados para confrontar la magnitud del impacto de no tener en cuenta los diferentes cuantiles en la estimación de los precios de la vivienda.

## 5. Datos

Los datos fueron contruidos a partir de la base de datos de venta de vivienda nueva de Coordinada Urbana. Para este análisis se utilizó únicamente los proyectos nuevos ya terminados entre los años 2016 a 2021. Lo anterior, nos da una muestra de 4980 proyectos de vivienda iniciados en los últimos 5 años en la ciudad de Bogotá.

Por otro lado, los datos contienen el precio del inmueble, sus coordenadas, el área, el número de cuartos y el número de baños de los proyectos. La variable de la distancia al centro comercial y la distancia a los centros corporativos se calculó con la fórmula de semiverseno, la cual permite calcular la distancia entre dos puntos a partir de su posición.

Los centros comerciales seleccionados corresponden a los principales inmuebles de la ciudad en cuanto a tamaño y relevancia. En la siguiente tabla e imagen se evidencia su ubicación geográfica.

<b>Centros Comerciales</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
1 Parque la Colina	-74.066375	4.73254613
2 Plaza Central	-74.115745	4.63102326
3 Mall Plaza NQS	-74.086095	4.61806364
4 Santa Fe	-74.045975	4.76282130
5 Centro Mayor	-74.123305	4.59160315
6 Unicentro	-74.04152	4.70206347
7 Gran Estación	-74.102601	4.64803455
8 Andino	-74.052787	4.66682661
9 Portal 80	-74.111963	4.71039358
10 Bosa	-74.184706	4.60462194

*Tabla 2 Centros Comerciales*

Los centros corporativos seleccionados corresponden a los principales corredores de la ciudad de acuerdo con Colliers, una firma especializada en la consultoría del sector inmobiliario. En la siguiente tabla e imagen se evidencia su ubicación geográfica.

<b>Centros Corporativos</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
-----------------------------	-----------------	----------------

1	Cedritos	-74.0240693	4.7325461
2	Santa Barbara	-74.0415203	4.7020635
3	Calle 100	-74.0501505	4.6851040
4	Chico	-74.0491362	4.6757001
5	Andino	-74.0551501	4.6672688
6	Avenida Chile	-74.0584428	4.6552947
7	Centro Internacional	-74.0695009	4.6179497
8	Salitre	-74.1075244	4.6587606
9	Córdoba	-74.0582672	4.7150874

Tabla 3 Centros Corporativos

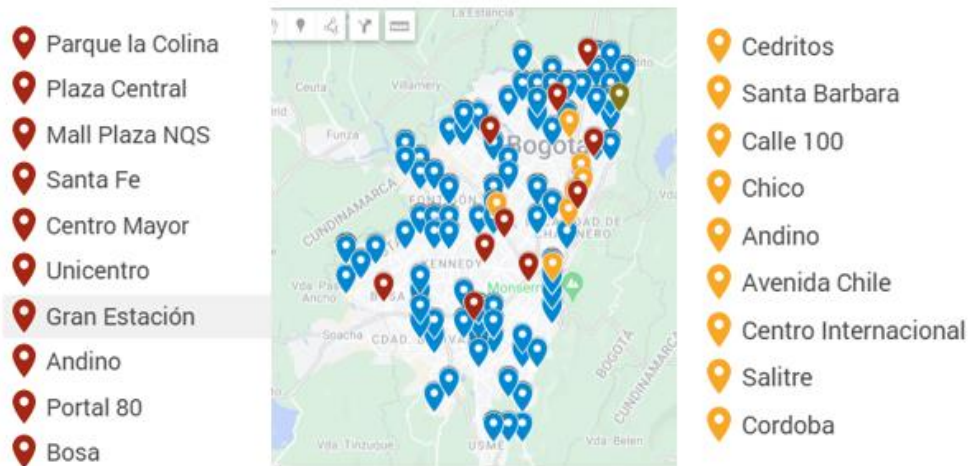


Imagen 1 Mapa Ubicaciones

A continuación, se presentan las principales estadísticas descriptivas de la vivienda nueva en Bogotá de los últimos 5 años.

	Precio Venta (COP MM)	Área (m <sup>2</sup> )	Dist Corp (km)	Dist Comercia l (km)	alcobas #	baños #	Precio por m <sup>2</sup> (COPMM)
Min	33.321	15	0.07	0.08	1.00	1.00	0.7
Max	8,893	541	11	6	5	6	27.6
Media	477	71	2	1	2	2	6.2
Mediana	340	61	1	1	2	2	6.2
Desviación	560	46	2	1	1	1	2.4

Tabla 4 Resumen indicadores

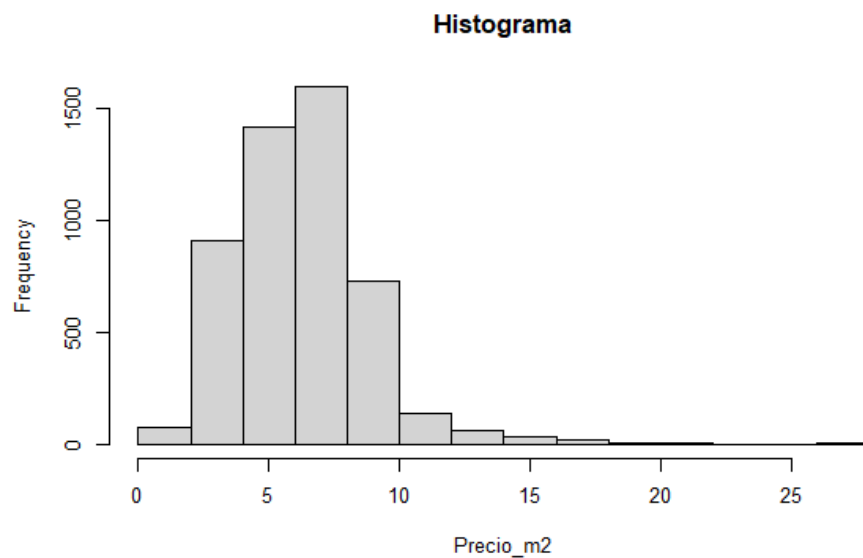


Imagen 2 Histograma precio x m2 de vivienda

Como se menciona en el estado del arte, los datos de vivienda cuentan con un alto nivel de heterogeneidad y es caracterizado por una gran cantidad de valores extremos. Es importante mencionar, que los precios de venta dependen de otras características como lo son las especificaciones técnicas de cada proyecto y su ubicación dentro de la ciudad.

Sin embargo, la ubicación relativa a ciertos puntos estratégicos de la ciudad como lo son los centros comerciales y los centros corporativos permiten analizar una posible relación del comportamiento de los precios en diferentes segmentos de precios.

## 6. Resultados

### 7.1 Regresiones lineales independientes individual

De acuerdo con la metodología planteada, se realizó el análisis de regresión lineal individual de cada una de las variables. Lo anterior para determinar que variables eran significativas en el modelo. En segundo lugar, se hizo una regresión múltiple de las variables dependientes planteadas, los resultados se presentan a continuación:

*Regresión lineal Precio por m<sup>2</sup> y variables independientes individuales*

$$\text{Precio}_m2 = \beta + \beta_1 X_1 + e$$

<b>Variables</b>	<b>dis_cor</b>	<b>dis_com</b>	<b>alcobas</b>	<b>baños</b>	<b>seguridad</b>	<b>año</b>
Coefficiente de correlación múltiple	0.59	0.44	0.15	0.26	0.05	0.03
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.34	0.20	0.02	0.07	0.00	0.00
<b>R<sup>2</sup> ajustado</b>	<b>0.34</b>	<b>0.20</b>	<b>0.00</b>	<b>0.07</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Error típico	0.04	2.19	2.41	2.36	2.44	2.44
Observaciones	4,979.00	4,979.00	4,979.00	4,979.00	4,979.00	4,979.00
Grados de libertad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Suma de cuadrados	10,162.89	5,869.11	642.63	2,045.84	88.06	29.10
Promedio de los cuadrados	10,162.89	5,869.11	642.63	2,045.84	88.06	29.10
F	2,595.46	1,228.27	110.26	368.85	14.82	4.89
<b>Valor crítico de F</b>	<b>0.00E+00</b>	<b>1.06E-240</b>	<b>1.59E-25</b>	<b>2.33E-79</b>	<b>1.19E-04</b>	<b>2.71E-02</b>
<b>Coefficientes</b>	<b>-0.49</b>	<b>-1.25</b>	<b>-0.43</b>	<b>0.77</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.05</b>
Error típico	0.02	0.04	0.04	0.04	0.00	0.02
Estadístico t	-21.39	-35.05	-10.50	-2.21	-3.85	-2.21
<b>Probabilidad</b>	<b>0.00</b>	<b>-35.05</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.03</b>
Inferior 95.0%	-0.90	-1.32	-0.51	-0.09	-0.03	-0.09
Superior 95.0%	-1.18	-1.18	-0.35	0.85	-0.01	-0.01

*Tabla 5 Regresiones individuales*



De acuerdo con los resultados presentados en las regresiones lineales individuales se puede deducir que la variable más representativa en el *precio\_m2* de las viviendas es la distancia que estas tienen a los principales corredores corporativos de la ciudad, seguido por la distancia a los centros comerciales y la cantidad de baños.

Las alcobas, el año y la seguridad, aunque estadísticamente son significativas su nivel explicativo sobre la variable es mínimo debido a su R<sup>2</sup>. Lo anterior, se puede inferir debido a que existen apartamentos en una zona muy costosa y tienen la misma cantidad de habitaciones. Por lo anterior se justifica realizar una regresión múltiple que permita analizar estas variables en ubicaciones que sean comparables.

Por otro lado, se evidencia que existe una relación inversa entre la distancia y el *precio\_m2*. Lo anterior se alinea con la teoría de que en estas zonas existe una menor disponibilidad de lotes para desarrollar vivienda y de esta manera sube los precios de los inmuebles.

*Regresión múltiple lineal Precio por m<sup>2</sup> de variables independientes*

$$\text{Precio}_m2 = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e$$

	<b>Coefficient es</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t- value</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
Intercepto	58.7	33.05	1.77	0.076
Dis_Cor	-0.64	0.02	-28.40	2.00E-16
Dis_Com	-0.2	0.04	-4.89	2.00E-06
Alcobas	-0.84	0.04	-19.77	2.00E-16
Baños	1.003	0.04	23.47	2.00E-16
Año	-0.02	0.01	-1.57	1.10E-01
Seguridad	0.01	0.00	0.45	6.50E-01
<b>R2</b>	<b>0.418</b>			
<b>F</b>	<b>593</b>			
<b>P-value</b>	<b>2.20E-16</b>			

*Tabla 6 Regresiones múltiples con todas las variables*

Al realizar la regresión lineal múltiple, se puede observar un comportamiento similar de todas las variables en comparación a las regresiones individuales. Sin embargo, la cantidad de alcobas deja de ser significativa con un nivel de confianza del 5% como también es la seguridad.

Por otro lado, de acuerdo con las pruebas de bondad se tiene un R2 del 0.42, esto indica que el 42% de los datos son explicados por la regresión lineal múltiple. Adicionalmente, se tiene un p-value de F menor que el 1%, lo cual nos permite decir que el modelo tiene capacidad explicativa para determinar la variable independiente con el conjunto de variables anteriores.

Sin embargo, las variables de año y seguridad no cumplen con el nivel de significancia requerido. Dado lo anterior, se decidió no tomar en cuenta estas variables y realizar una nueva regresión lineal. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

	<b>Coefficientes</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t- value</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
Intercepto	7.32	0.09	78.62	0.076
Dis_Cor	-0.64	0.02	-28.53	2.00E-16
Dis_Com	-0.20	0.04	-4.83	1.39E-06
Alcobas	-0.83	0.04	-19.77	2.00E-16
Baños	1.00	0.04	23.45	2.00E-16
<b>R2</b>	<b>0.418</b>			
<b>F</b>	<b>889</b>			
<b>P-value</b>	<b>2.20E-16</b>			

*Tabla 7 Regresiones múltiples con variables significativas*

Los resultados de la nueva regresión se mantienen similares a excepción del intercepto dado las nuevas variables. Adicionalmente, los indicadores de ajuste R2 de la regresión también se mantienen en el mismo rango. Asimismo, la prueba F se mantiene por debajo del nivel de significancia del 1%.

Por otro lado, de acuerdo con la nueva regresión múltiple, se puede concluir que la distancia tanto a los centros comerciales y los corredores corporativos se comporta inversamente proporcional al precio. Es decir, que entre el inmueble más lejos esté de estas ubicaciones el precio va a disminuir. Lo anterior, se encuentra en concordancia al

planteamiento teórico, donde los precios de la vivienda se ven afectados por las buenas ubicaciones en la ciudad.

Otro punto importante para mencionar es la cantidad de baños, esta variable determina un mayor precio del inmueble a medida que esta aumenta. Esto se podría explicar que en los apartamentos que se tiene un baño adicional es más atractivo para el comprado por que representa una mayor comodidad para las personas.

Por otro lado, el número de alcobas es inversamente proporcional al precio. Lo anterior puede entenderse que a medida que los apartamentos aumentan en precio, no necesariamente cuentan con más alcobas. Esto se puede interpretar que las personas no necesitan una gran cantidad de habitaciones en los últimos años debido a la reducción de la familia en los últimos años y buscan otro tipo de atributos.

Sin embargo, en este tipo de análisis no se puede identificar los diferentes segmentos de precio como es el comportamiento de dichas variables. Por lo que la metodología de la regresión lineal tiene como parámetro principal la media de las variables. Por lo anterior, se realizó el análisis de las regresiones cuantílicas, el cual permite tener un mayor entendimiento de las variables en sus diferentes segmentos de la variable independiente.

### Regresión Cuantílica Precio x m2 vs Distancia corredores corporativos

Para el primer análisis, se hizo una comparación entre la regresión lineal de la variable distancia, a los corredores corporativos y la regresión cuantílica. Lo anterior para identificar si las variables tienen un efecto distinto dependiendo del precio x m2 de la vivienda nueva.

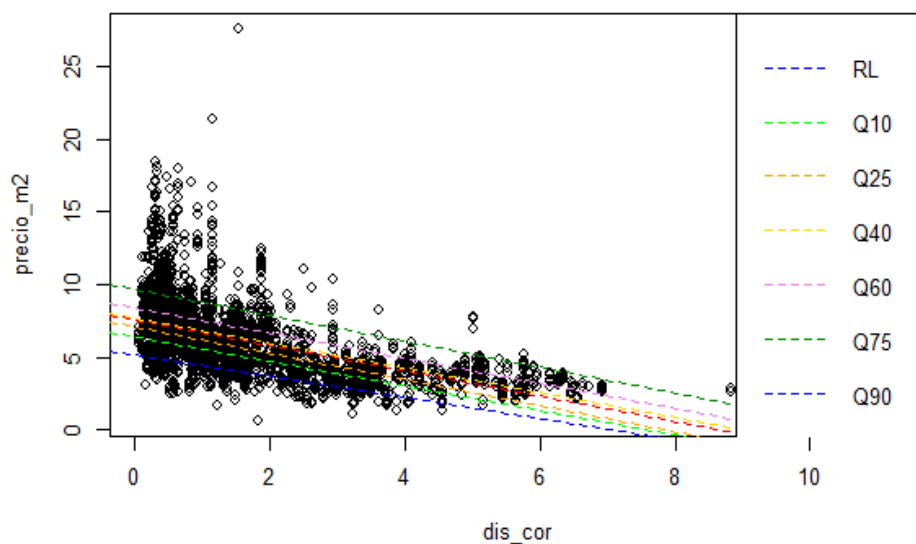


Imagen 3 Gráfica Precio x m2 y distancia a centros corporativos

Regresión Cuantílica	Intercepto (COP MM x m2)	Dis_Cor (km)
Q10	5.21	-0.72
Q25	6.36	-0.84
RL	7.58	-0.86
Q75	8.44	-0.86
Q90	9.70	-0.89

Tabla 8 Coeficientes lineales Dis\_Cor

Como se puede ver en el gráfico anterior, existen diferencias considerables al analizar los diferentes cuantiles. Esto se debe a que en la variable precio existen extremos en los datos debido a la alta heterogeneidad de las características de la vivienda. Adicionalmente, en un país con altos índices de desigualdad, se esperaría tener un alto componente de datos extremos.

Como era de esperarse, el intercepto como el coeficiente de la variable tiene valores muy distintos en cada uno de los cuantiles. Por ejemplo, en el cuantil 90 es el del mayor intercepto ya que son los precios más altos. Esto se puede analizar, teniendo en cuenta la pendiente. En el cuantil más alto, la pendiente es mayor y en caso de alejarse de esta ubicación tiene un mayor impacto en el precio por metro cuadrado del inmueble.

Lo anterior permite inferir, que las personas están dispuestas a pagar un mayor precio en los estratos altos entre más cerca estén a los centros corporativos. Esto se debe a que las distancias de movilización a su lugar de trabajo son menores y esto les resulta más atractivo en una ciudad como Bogotá. Aunque también se podría explicar por características específicas de la infraestructura de la zona.

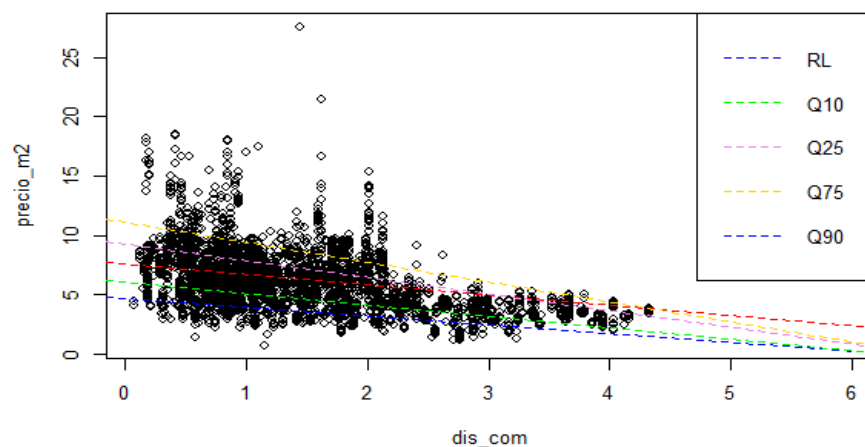
Adicionalmente, observamos que esta relación deja de tomar importancia a medida que los precios de las viviendas se reducen. La distancia a los centros corporativos impacta en cada cuantil menos que en el anterior. Esto se podría explicar debido a que entre menos capacidad adquisitiva tiene el comprador, busca otro tipo de características para adquirir un inmueble.

En resumen, podemos ver que la regresión lineal cuenta con sesgo para poder analizar el comportamiento real de esta variable. Esto se debe a que cada segmento de la población

tiene unas preferencias y capacidades distintas de negociación. Por lo anterior, este tipo de análisis por segmentos resulta muy valioso para comprender la variable.

### *Regresión Cuantílica Precio x m2 vs Distancia centros comerciales*

Se realizó el mismo análisis para la variable de la distancia a los centros comerciales en los diferentes segmentos de precios, donde se tuvieron resultados similares a los presentados en la variable distancia a los centros corporativos. El análisis de la variable se presenta a continuación.



*Imagen 4 Gráfica x m2 y distancia a centros comerciales*

<b>Regresión Cuantílica</b>	<b>Intercepto COP MM x m2)</b>	<b>Dis_Com (km)</b>
Q10	4.64	-0.73
Q25	6.06	-0.95
RL	7.95	-1.24
Q75	9.23	-1.39
Q90	11.04	-1.67

*Imagen 5 Coeficiente regresiones lineales Dis Com*

Se puede observar que a medida que los precios suben el intercepto y el impacto de alejarse al sitio de interés es mayor. A diferencia de lo que se planteó en la hipótesis inicial, se ve un comportamiento muy similar en esta variable que con los centros corporativos y no un comportamiento diferente.

Sin embargo, igual que la regresión anterior las pendientes de los coeficientes y el intercepto son distintos en cada segmento. En resumen, las dos variables de la distancia, tanto al centro comercial como a los corporativos, son más relevantes a medida que el precio incrementa.

Adicionalmente, se puede ver una mayor diferencia entre las pendientes en entre la estimación de precios con la distancia comercial en los segmentos más alto versus a la distancia a los centros corporativos. Sin embargo, para comparar las variables con una misma distancia es necesario realizar una regresión múltiple que se hará a continuación.

## 7.2 Regresión cuantílicas múltiples Precio x m<sup>2</sup>

De acuerdo con la metodología planteada a continuación se presentan las diferentes regresiones para analizar la diferencia entre las variables seleccionadas e identificar patrones en el comportamiento de los precios de vivienda en los diferentes niveles de precio.



### *Regresión Cuantílica Q10*

<b>Q10</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Error estándar</b>	<b>t- value</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
Intercepto	5.02	0.10	50.00	0.00
Dis_Cor	-0.05	0.02	-19.00	0.00
Dis_Com	-0.07	0.04	-1.53	0.12
Alcobas	-0.78	0.04	-18.14	0.00
Baños	0.93	0.04	20.73	0.00

*Tabla 9 Coeficientes regresiones cuantiles Q10*

Teniendo en cuenta la regresión anterior, del primer cuantil observamos que la variable distancia a los centros comerciales deja de ser representativa para el modelo a diferencia del resto de variables.

En ese sentido, observamos que por cada 2km que se aleja del centro empresarial el precio de la vivienda se reduce en un millón de pesos por m<sup>2</sup>. Distinto de la distancia al centro comercial que en este modelo el impacto es casi de cero en el precio además de no ser representativa para el modelo.

Como se había mencionado anteriormente, la cantidad de alcobas no representa un mayor valor del inmueble distinto de la cantidad de baños. Con esta variable, podemos ver que en la estructuración de los proyectos y sus ventas tener un baño adicional permite adicionar casi un millón de pesos por metro cuadrado al precio del inmueble.

### Regresión Cuantílica Q25

Q25	Coefficientes	Error estándar	t- value	Pr(>[t])
Intercepto	5.80	0.06	87.57	0.00
Dis_Cor	-0.68	0.01	-42.51	0.00
Dis_Com	-0.08	0.02	3.00	0.00
Alcobas	-0.78	0.03	-21.92	0.00
Baños	0.95	0.03	28.31	0.00

Tabla 10 Coeficiente regresiones cuantiles Q25

A diferencia del cuantil anterior, todas las variables son representativas para el modelo. Sin embargo, la variable distancia a los centros comerciales tiene un cambio de signo lo que representa que según el modelo entre más lejos se esté del centro comercial este el precio por metro cuadrado aumenta. Lo cual se contradice con la teoría y el resto del análisis. Sin embargo, este cambio puede darse por un centro comercial en particular el cual no cuenta con buena reputación o alguna situación particular del segmento.

### Regresión Cuantílica Q75

Q75	Coefficientes	Error estándar	t- value	Pr(>[t])
Intercepto	8.41	0.12	65.64	0.00
Dis_Cor	-0.61	0.03	-20.50	0.00
Dis_Com	-0.26	0.05	-5.12	0.00
Alcobas	-0.78	0.05	-15.33	0.00
Baños	0.85	0.05	14.75	0.00

Tabla 11 Coeficientes regresiones cuantiles Q75

En el cuantil 75, todas las variables son representativas y la distancia a los centros comerciales empieza a tener un mayor protagonismo en el modelo. Distinto de los segmentos de precios anteriores, llegando a pesar casi 300 mil pesos por m2 en el precio x m2 por cada kilómetro en el que se alejan de estos inmuebles. Las demás variables se mantienen en un mismo rango a excepción del intercepto, como es de esperarse.

### *Regresión Cuantílica Q90*

Q90	Coefficientes	Error estándar	t- value	Pr(>[t])
Intercepto	10.03	0.24	42.00	0.00
Dis_Cor	-0.50	0.04	-11.94	0.00
Dis_Com	-0.57	0.08	-7.04	0.00
Alcobas	-1.11	0.09	-12.22	0.00
Baños	1.10	0.12	9.03	0.00

*Tabla 12 Coeficientes regresiones cuantiles Q90*

En el cuantil 90, la distancia a los centros comerciales toma un mayor protagonismo en la determinación del precio de la vivienda por metro cuadrado. Como se ve en la regresión anterior, es casi igual de importante estar cerca al centro comercial que al distrito corporativo. Esto se puede ver en ambos coeficientes que cada uno está cerca del 0.5.

Lo anterior corresponde entre otros factores, a que la zona con mayores precios confluye la zona corporativa más importante y uno de los centros comerciales más exclusivos de la ciudad. Dado lo anterior, entre los inmuebles más se alejen de esta zona, estos

empiezan a perder valor. A diferencia de los otros sectores de la ciudad, donde el centro comercial y la ubicación corporativa están en ubicaciones distintas.

Adicionalmente, como se menciona en la teoría, la oferta de tierra en ciudades como Bogotá disminuye y las zonas las cuales ya cuentan con edificios corporativos y centros comerciales cada vez son más costosas. En ese mismo sentido, los proyectos de vivienda en los sectores más importantes de la ciudad cada vez tienen un mayor valor y escasez de oportunidades de nuevos proyectos.

### 7.3 Pruebas de bondad y ajuste regresiones cuantílicas

De acuerdo con la metodología planteada, se le realizó la prueba de bondad y ajuste a las regresiones utilizando el método de Koenker y Machado planteado en su artículo.

	<b>Q10</b>	<b>Q25</b>	<b>Q75</b>	<b>Q90</b>
Pseudo - R2	0.30	0.30	0.25	0.20

*Tabla 13 Resultados prueba bondad y ajuste*

Como se puede ver en la tabla anterior, las regresiones de los cuantiles inferiores tienen un mayor poder explicativo que los de los cuantiles superiores. Lo anterior se puede dar, porque en los sectores más exclusivos pueden existir variables que tengan una mayor influencia en el precio que las seleccionadas.

### 7.4 Backtesting y comparación regresiones múltiples

Para la revisión de los diferentes supuestos, se realizó un ejercicio teórico con un apartamento con características similares. A continuación, se presenta una tabla con las características del apartamento a modelar.

### Supuestos:

Variable	Valor	unidad
Dis_cor	2.0	km
Dis_com	1.0	km
Alcobas	2.0	#
Baños	2.0	#

Tabla 14 supuestos backtesting

De acuerdo con las características planteadas, se realizó las estimaciones de los precios por metro cuadrado para las diferentes regresiones. A continuación, se presenta una tabla con los resultados obtenidos.

### Resultados:

Variable	Q10	Q25	RL Ordinaria	Q75	Q90
Intercept	5.0	5.8	7.3	8.4	10.0
Dis_cor	-0.5	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5
Dis_com	-0.1	0.1	-0.2	-0.3	-0.6
Alcobas	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-1.1
Baños	0.94	0.96	1.01	0.85	1.11
<b>Y</b>	<b>4.20</b>	<b>4.87</b>	<b>6.18</b>	<b>7.06</b>	<b>8.43</b>
<b>% en Precio</b>	<b>-32%</b>	<b>-21%</b>	<b>0%</b>	<b>14%</b>	<b>36%</b>

Tabla 15 Resultados del backtesting

Como se puede ver en la tabla anterior donde se enfrentan los diferentes resultados de las regresiones se puede ver una gran diferencia en el análisis de precios. La diferencia entre

utilizar una regresión convencional y una cuantílica puede tener hasta una diferencia de más del **35%**.

Lo anterior, muestra que en cada sector económico existen comportamientos similares en cuanto a las variables. Pero las magnitudes de las regresiones nos permiten entender los segmentos de los precios con mayor precisión.

En primer lugar, en las variables seleccionadas, se puede ver como el intercepto tiene un rol fundamental en el análisis. Ya que este cuenta con el punto de partida de los precios según cada regresión permitiendo establecer una diferencia clara en cada cuantil analizado.

Por otro lado, se puede observar que la distancia a los centros corporativos es la variable que tiene mayor  $R^2$ , por lo cual es la que explica mejor el modelo teniendo una mayor relevancia frente a las demás variables. Sin embargo, a diferencia de las regresiones lineales individuales en la regresión múltiple esta no tiene mayor cambio en los cuantiles analizados.

Sin embargo, la variable de la distancia a los centros comerciales si tiene una variación en cada uno de los cuantiles. Esta variable tiene mayor importancia a medida que los precios de la vivienda van aumentando. Esto podría ser explicado por que los proyectos más costosos están cerca de un centro comercial en particular en la ciudad de Bogotá.

Por otro lado, la variable de los baños también tiene mayor relevancia en los precios más elevados. El coeficiente aumenta en casi un 40% pasando de **(0.8)** al **(1.1)**. Esto demuestra

una vez más la preferencia por tener una mayor cantidad de baños. Esto se refleja en una variable de comodidad para los compradores como se mencionó anteriormente.

Por último, la cantidad de alcobas, la cual cuenta con una pendiente negativa se podría interpretar que los apartamentos más costosos no tienen más habitaciones. Es decir, que las zonas más costosas de la ciudad pueden ser apartamentos de pocas habitaciones en zonas muy exclusivas.

## 7. Conclusiones

De acuerdo con la hipótesis planteada, donde se estimó que las variables dependientes iban a tener un comportamiento distinto en los diferentes de precios se puede decir que no se cumple en su mayor mayoría. Lo anterior, se infiere debido al análisis de las regresiones por cuantiles múltiples donde no se observa una mayor variación en los coeficientes de las variables.

Lo mencionado anteriormente, refuerza lo que mencionan diferentes autores que afirman que la principal variable en la determinación del precio es la ubicación. Esto se debe como se ha dicho anteriormente, a que la tierra en las ciudades es un bien limitado y en el desarrollo de las ciudades grandes como Bogotá esto se ve aún más reflejado.

Sin embargo, rechazar la hipótesis también nos permite afirmar que las personas buscan los mismos atributos en el momento de comprar una vivienda y no depende del nivel de ingresos que están perciban. Es decir, que se tiene un mismo comportamiento a través de la sociedad y en el momento de tomar una decisión de inversión en uno de los principales generadores de patrimonio familiar.

Adicionalmente, de acuerdo con el análisis de las regresiones lineales vemos la importancia de los espacios como la cantidad de baños. Esta variable se puede decir que es una medida de comodidad y lujo dentro de los inmuebles, aumentando los precios considerablemente en todos los segmentos de precios. Lo anterior significa que, en el momento de la estructuración de un proyecto en la planificación arquitectónica, es fundamental tener esta variable en cuenta para tener precios más competitivos frente a la competencia.

Asimismo, la variable de la cantidad de alcobas nos permite inferir un comportamiento de la sociedad. Como se pudo observar, con una mayor cantidad de habitaciones los precios por metro cuadrado no aumentan, sino que disminuyen. Esto podría significar, que las personas no están buscando una gran cantidad de habitaciones, por lo que esto podría ser una disminución en las personas que viven en esos hogares. Lo anterior refleja la tendencia demográfica en una reducción del núcleo familiar.

En ese mismo sentido, se puede ver la tendencia de reducir los espacios en una ciudad como Bogotá. Estos pequeños apartamentos de menos de 20 metros cuadrados en zonas muy costosas se han vuelto muy populares. Este tipo de apartamentos pequeños son muy comunes en los países asiáticos con ciudades muy pobladas y las personas eligen una muy buena ubicación a cambio de la comodidad.

Sin embargo, aunque se pudo ver que las variables tienen comportamientos muy similares en los diferentes sectores económicos. También nos deja otra conclusión sobre el análisis particular de cada segmento. Lo anterior se puede observar en la comparación de la



regresión lineal frente a las regresiones cuantílicas. Si se hubiera hecho únicamente la primera regresión se podría tener un error en la determinación de un precio hasta del 40%.

Adicionalmente, se puede ver que los reportes de la cantidad de riñas no tienen impacto sobre los precios de la vivienda. Lo anterior podría deberse a que las localidades en Bogotá no representan una buena variable para determinar la ubicación y se debe hacer un análisis a nivel micro de cada zona.

En la misma línea, el año de venta de la vivienda nueva no ayuda a determinar el precio de los inmuebles. Lo cual no resulta tan evidente por el alza en el costo de los materiales en los últimos años. Este resultado podría deberse a que en un mismo año se tienen precios similares, pero si uno revisa solo una zona en particular si ve un mayor precio por metro cuadrado.

En conclusión, el factor más determinante en el precio de la vivienda en una ciudad como Bogotá es su ubicación y la cercanía a sitios de interés. No importa si es un centro comercial o los principales corredores corporativos. Esto como se mencionó anteriormente se debe a varias razones. La primera es la poca disponibilidad de tierra, donde la mayoría de la tierra ya está urbanizada. Y, en segundo lugar, la comodidad de estar cerca y no tener que transportarse largas distancias en una ciudad de gran tamaño.

## 8. Recomendaciones

Como principal recomendación, en el momento de determinar los precios de la vivienda, es realizar un estudio tanto del nivel de precios como el comportamiento en zonas más pequeñas y sus principales sitios de interés.

Es importante mencionar, que, aunque los comportamientos de las personas son similares en todos los segmentos. Las tendencias demográficas de la familia en las ciudades son un factor para tener en cuenta en el análisis de inversión de un proyecto de vivienda.

Por otro lado, en un análisis de inversión en un proyecto de vivienda, se debe tener en cuenta que la ciudad tiene un crecimiento e identificar las ubicaciones con nuevos proyectos comerciales puede potencializar la inversión. En este sentido, estar al tanto de los planes de ordenamiento territoriales en el caso de Colombia para desarrollar un proyecto exitoso.

En este mismo sentido, las familias en el momento de comprar un inmueble también deben tener en cuenta estos factores para aumentar realizar mejores inversiones. Lo anterior resulta en un mayor patrimonio y en ese sentido mejorar la calidad de vida de las familias.

## 9. Bibliografía

- Agnello, L., y Schuknecht, L. (2009). *Booms and busts in housing*. European Central Bank (ECB).
- Alarcon, G., y Vera, A. (2020). *Pasado, Presente, y Futuro de la Financiación de Vivienda en Colombia* (Vol. I). (A. Vera, y G. Alarcon, Edits.) Bogotá: Asobancaria.
- Aoki, K., Proudman, J., y Vlieghe, G. (2012). *House prices, consumption, and monetary policy: a financial accelerator*. Bank of England.
- Caballero, C. (2019). *Una visión retrospectiva de dos crisis financieras de los últimos cuarenta años en Colombia*. Revista Desarrollo y Sociedad-Uniandes, 133-165.
- Caldera, A., y Johansson, A. (2013). *The price responsiveness of housing supply in OECD countries*. 231-249.
- Camelo, M., y Campo, J. (2015). *Análisis de la política de vivienda en Bogotá: Un enfoque desde la oferta y la demanda*. Universidad Católica de Colombia, 105-122.
- Cavalleri, M. C., Cournéde, B., y Ziemann, V. (2019). *Housing markets and macroeconomic risks*.
- Chin, T. L., y Chau, K. W. (2003). *A Critical Review of Literature on the Hedonic Price Model*. International Journal for Housing Science and Its Applications , 145-165.
- Fama, E. (1970). *Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work*. The Journal of Finance, 383-417.
- Garriga, C. (2010). *The Role of Construction in the Housing Boom*. Obtenido de Fedea.es: [www.fedea.es](http://www.fedea.es)
- Glaeser, E. L., Gyourko, J., y Saiz, A. (2008). *Housing supply and housing bubbles*. Journal of Urban Economics, 198-217.
- Grossman, S., y Stiglitz, J. (1980). *On the impossibility of informationally efficient markets*. The American economic review, 393-408.

- Hong, J., Choi, H., y Kim, W.-s. (2020). *A House price valuation based on the random forest*. International Journal of Strategic Property Management, 140-152.
- Koenker, R., y Hallock, K. (2001). *Quantile Regression*. Journal of Economic Perspectives, 143-156.
- Koetter, M., y Poghosyan, T. (2010). *Real estate prices and bank stability*. Journal of Banking y Finance, 1129-1138.
- Modigliani, F., y Miller, M. (1958). *The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment*. The American Economic Review, 261-297.
- Modigliani, F., y Miller, M. (1963). *Corporate income taxes and the cost of capital: a correction*. The American economic review, 433-443.
- Mora, R. T., Cespedes, M. F., Pérez, R., Marti, P., y Pérez, J. C. (2019). *Determinants of the Price of Housing in the Province of Alicante (Spain): Analysis Using Quantile Regression*. Building Sciences and Urbanism Department.
- Morales, L., y Arias, F. (2005). *La calidad de la vivienda en Bogotá: Enfoque de precios hedónico de hogares y de agregados espaciales*. Revista Sociedad y Economía, 47-80.
- Paciorek, A. (2013). *Supply constraints and housing market dynamics*. Journal of Urban Economics, 11-26. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jue.2013.04.001>
- Páez, A., Long, F., y Farber, S. (2008). *Moving Window Approaches for Hedonic Price Estimation: An Empirical Comparison of Modelling Techniques*. Sage Journals, 1565-1581.
- Preciado, J. C. (2019). *Redes Neuronales artificiales, una aplicación al mercado inmobiliario habitacional de segmento medio de la ciudad de Morelia Michoachan, México*. Revista Nicolaita de Estudios Económico.
- Rosen, S. (1974). *Hedonic Prices and Implicit Market: Product Differentiation in Pure*. Journal of Political Economy, 34-55.

- Salazar, N., Steiner, R., Becerra, A., y Ramírez, J. (2012). *¿Qué tan desalineados están los precios de la vivienda en Colombia?* Fedesarrollo.
- Schnare, A. B., y Struyk, R. J. (1976). Segmentation in urban housing markets. *Journal of Urban Economics*, 144-166.
- Sharpe, W. (1964). *Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium Under Conditions of Risk*. *Journal of Finance*(19), 425-442.
- Sheppard, S. (1999). *Handbook of regional and urban economics*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Triviño, L., y Velasco, V. (2019). *Vivienda digna para todos*. Obtenido de Worldbank.org
- Warnock, V. C., y Warnock, F. E. (2007). *Markets and Housing*. National Bureau of Economic Research.
- Zietz, J. (2008). *Determinants of House Prices: A Quantile Regression Approach*. *The Journal of Real Estate Research*
- Liao, W. C., y Wang, X. (2011). *Hedonic house prices and spatial quantile regression*. *Journal of Housing Economics*
- Hung, W. T., Shang, J. K. y Wang, F. C (2010). *Pricing determinants in the hotel industry: Quantile regression analysis*. *Journal of Housing Economics*
- Koenker, R. J. A. F., Machado (1999). *Goodness of Fit and Related Inference Processes for Quantile Regression*. *Journal of the American Statistical Association*