

Calidad educativa y localización residencial en Bogotá: Un enfoque de equilibrio espacial Rosen-Roback con datos simulados

Juan Felipe Duarte
Universidad de los Andes
Facultad de Economía

2025-2

Resumen

Este estudio investiga cómo la calidad educativa de colegios públicos y privados afecta las decisiones de localización de los hogares y los precios de la vivienda en Bogotá. Utilizando un marco de equilibrio espacial Rosen-Roback, incorporamos la calidad escolar como un *amenity* que se capitaliza en el mercado inmobiliario. Simulamos datos realistas para 120 barrios y 3 periodos, generando precios de vivienda, ingresos y calidad educativa. Identificamos el efecto causal mediante un shock exógeno simulado que mejora la calidad escolar en un subconjunto aleatorio de barrios, estimado con diferencias-en-diferencias (DID). Complementamos con metodologías robustas como Diferencias Espaciales de Primer Orden (SFD) para controlar heterogeneidad no observable, y un Modelo de Elección Discreta para estimar preferencias heterogéneas y simular segregación. Los resultados indican diferenciales compensatorios significativos en precios de vivienda y reorganización espacial de hogares.

Keywords: Rosen–Roback, *amenities*, educación, Bogotá, equilibrio espacial, DiD, elección discreta

JEL Codes: R13, R21, I20, C25

Introducción

La localización residencial de los hogares está profundamente influenciada por la disponibilidad y calidad de los *amenities* urbanos. La literatura económica ha documentado ampliamente que la calidad de servicios públicos, como transporte, áreas verdes o seguridad se capitaliza en el precio de la vivienda y afecta la estructura espacial de las ciudades (Roback, 1982; Glaeser & Gottlieb, 2009). En este marco, la calidad educativa emerge como uno de los *amenities* más valorados por las familias, particularmente en contextos urbanos con alta heterogeneidad socioeconómica como Bogotá, donde la coexistencia de colegios públicos y privados de calidad variable genera patrones marcados de segregación espacial. La pregunta central de esta investigación es ¿Cómo afecta la calidad educativa de los colegios públicos y privados las decisiones residenciales de los hogares y los precios de la vivienda en Bogotá? Estudios seminales han evaluado el impacto de las escuelas sobre los precios de la vivienda (Black, 1999; Chay & Greenstone, 2005) y la segregación (Card & Rothstein, 2007). Sin embargo, resulta de alta relevancia incorporar estructura teórica de Rosen-Roback para modelar el equilibrio urbano donde los hogares compensan mayores precios por mejores *amenities*. Este proyecto avanza en la literatura mediante un modelo de equilibrio espacial que incorpora explícitamente la calidad educativa, la simulación de datos que reproducen características realistas de Bogotá, una estrategia de identificación causal basada en un shock exógeno simulado, la implementación de metodologías complementarias (SFD y Modelo de Elección Discreta) para robustecer los hallazgos y el analizar preferencias heterogéneas.

Estadísticas descriptivas y descripción de campo

Cuadro 1: Estadísticas Descriptivas - Periodo Pre-Tratamiento

| Variable | N | Media (Desviación Estándar) | | | | |
|-------------------|----|-----------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | Precio Vivienda (COP) | Calidad Educativa (DE) | Ingreso Promedio (COP/mes) | Distancia al Centro (km) | Estrato Promedio (1-6) |
| Grupo Control | 90 | 97,840 (69,807) | 0.10 (1.39) | 49,339 (25,799) | 10.3 (4.3) | 3.0 (0.9) |
| Grupo Tratamiento | 30 | 134,883 (86,771) | 0.52 (1.40) | 61,383 (33,313) | 9.6 (4.2) | 3.6 (1.3) |
| Diferencia (T-C) | – | +37,043 | +0.42 | +12,044 | -0.7 | +0.6 |

La Tabla 1 presenta las estadísticas descriptivas de las variables clave para los 120 barrios simulados (90 control, 30 tratamiento) en el período pre-tratamiento ($t = -1$). Se observan diferencias sistemáticas entre grupos que reflejan la heterogeneidad socioeconómica y espacial característica de Bogotá. Los barrios asignados al tratamiento exhiben en promedio precios de vivienda 37.9 % más altos (COP 134,883 vs. 97,840), con mayor dispersión (DE 86,771 vs. 69,807). Calidad educativa 0.42 con desviaciones estándar superior (0.52 vs. 0.10 DE), aunque ambas medias se sitúan cerca de la media poblacional simulada

($\mu_E = 0$, $\sigma_E = 1$). Ingresos mensuales 24.4 % mayores (COP 61,383 vs. 49,339). Distancia al centro ligeramente menor (9.6 km vs. 10.3 km), sugiriendo cierta centralidad relativa. Estrato socioeconómico más alto (3.6 vs. 3.0 en escala 1-6). Estas diferencias previas al tratamiento son consistentes con correlaciones estructurales observadas en ciudades latinoamericanas, barrios con mayor ingreso y estrato tienden a concentrarse en zonas más céntricas y presentan simultáneamente mayor calidad educativa. La asignación aleatoria del shock se realizó intencionalmente sobre esta base heterogénea, replicando un entorno realista donde las intervenciones de política no ocurren en tabula rasa, sino en contextos preexistentes de desigualdad. La existencia de estas diferencias iniciales no invalida la identificación causal, pero sí refuerza la necesidad metodológica de emplear un diseño de diferencias-en-diferencias (DID). Este enfoque permite controlar por heterogeneidad fija no observable a nivel de barrio (γ_b) que explica las diferencias de nivel entre grupos. Y aislar el cambio en el tiempo atribuible únicamente al shock exógeno, bajo el supuesto de tendencias paralelas en ausencia del tratamiento, la evolución de los precios habría sido similar en ambos grupos. La validez de esta estrategia se verificará empíricamente mediante el *event study* (Figura 3), donde se comprobará la ausencia de efectos pre-tratamiento y la plausibilidad del supuesto de tendencias paralelas.

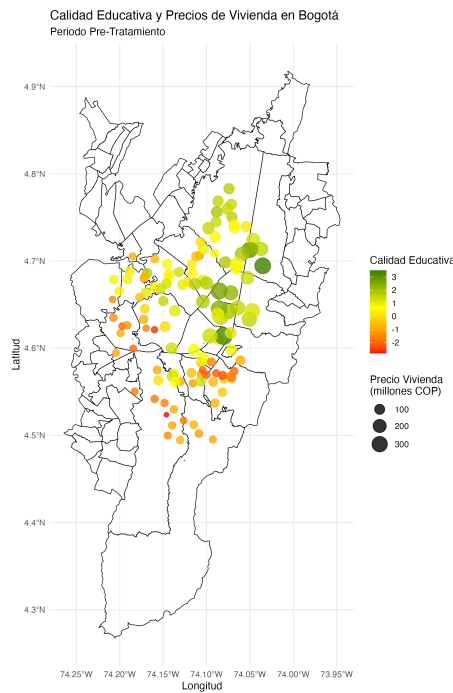


Figura 1: Mapa distribución calidad educativa Bogotá pre tratamiento

Las Figuras 1 y 2 presentan la distribución espacial de la calidad educativa y la asignación del tratamiento en los barrios simulados de Bogotá. El patrón espacial de la calidad educativa muestra una clara heterogeneidad geográfica, con concentraciones de alta calidad en zonas centrales y del norte de la ciudad, mientras que los barrios periféricos exhiben

niveles sistemáticamente más bajos.

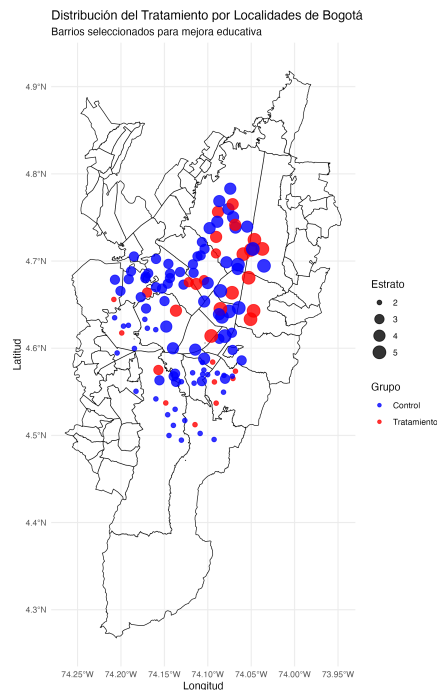


Figura 2: Mapa distribución tratamiento

La asignación del tratamiento no sigue un patrón espacial evidente, lo cual es coherente con el diseño de un shock exógeno simulado. Esta ausencia de correlación geográfica sistemática respalda el supuesto de exogeneidad del tratamiento respecto a otras características de los barrios no observables, fortaleciendo la validez interna del diseño empírico. En conjunto, estos mapas ilustran cómo la calidad educativa presenta una fuerte dimensión espacial, mientras que el tratamiento opera como una fuente de variación cuasi-experimental que permite identificar efectos causales sobre el mercado de vivienda.

Generación de datos

El proceso de generación de datos simula 120 barrios de Bogotá organizados en un panel balanceado de 3 períodos, con asignación aleatoria simple de tratamiento al 25 por ciento de las unidades. La variable de resultado (precio de vivienda en logaritmos) se genera mediante una forma funcional log-lineal que incluye calidad educativa, ingreso promedio y distancia al centro, incorporando un efecto estructural verdadero de 0.07 (equivalente a 7 por ciento por desviación estándar). El shock de tratamiento consiste en un incremento exógeno de 0.8 desviaciones estándar en la calidad educativa de los barrios tratados en los períodos post-intervención.

Las covariables siguen distribuciones específicas calibradas para replicar la estructura urbana de Bogotá: el ingreso promedio se distribuye log-normal con parámetros media logarítmica 10 y desviación estándar logarítmica 0.5, generando una distribución asimétrica positiva típica de ingresos urbanos con una cola larga hacia valores altos; la distancia al centro se distribuye uniforme entre 1 y 20 kilómetros, capturando la expansión radial de la ciudad; el tipo de colegio es categórico con probabilidades 40 por ciento público, 40 privado y 20 mixto, reflejando la composición observada del sistema educativo; y las coordenadas espaciales se distribuyen uniformemente en rangos geográficos aproximados de Bogotá (latitud: 4.5–4.8°N, longitud: –74.2 a –74.0°W). La calidad educativa base se genera mediante un proceso autorregresivo espacial (SAR) con parámetro $\rho=0.25$, induciendo correlación geográfica donde barrios cercanos presentan niveles educativos similares. El término de error combina un componente espacial SAR normal con desviación 0.1 y un componente idiosincrático normal iid con desviación 0.05, generando heterocedasticidad implícita a través de su correlación con el ingreso y justificando el clustering de errores a nivel barrio en la inferencia. No se incluyen complicaciones como incumplimiento, deserción o error de medición para mantener un entorno controlado que priorice la identificación causal bajo supuestos estándar.

Este diseño busca replicar las características clave del mercado inmobiliario y educativo bogotano, heterogeneidad inicial entre barrios, autocorrelación espacial en precios y calidad escolar, y relaciones estructurales coherentes con el marco teórico Rosen-Roback. La asignación aleatoria sobre una base desigual simula intervenciones de política en contextos urbanos reales, donde las condiciones preexistentes moderan la efectividad y capitalización de las mejoras educativas.

Marco teórico

El marco teórico se fundamenta en el modelo de equilibrio espacial de Rosen-Roback (Rosen, 1974; Roback, 1982), el cual integra los mercados laborales, inmobiliarios y de *amenities* urbanos. Formalmente, la utilidad indirecta del hogar i en la localización b está dada por:

$$V_{ib} = V(w_b, r_b, A_b, E_b), \quad (1)$$

donde w_b es el salario, r_b es el precio de la vivienda, A_b representa otros *amenities*, y E_b es la calidad educativa. En equilibrio espacial con movilidad perfecta se cumple que:

$$V(w_b, r_b; A_b, E_b) = \bar{V} \quad \forall b. \quad (2)$$

La condición de tasa marginal de sustitución asociada a la calidad educativa se deriva como:

$$\frac{\partial r_b}{\partial E_b} = -\frac{\partial V / \partial E_b}{\partial V / \partial r_b} > 0. \quad (3)$$

Esta expresión predice que, manteniendo constante el nivel de utilidad, un aumento en E_b debe compensarse con un incremento en r_b , reflejando que los hogares están dispuestos a pagar más por acceso a mejores escuelas.

Siguiendo a Bayer et al. (2007), se extiende el modelo para incorporar heterogeneidad en las preferencias de los hogares. La utilidad del hogar i al residir en el barrio b está dada por:

$$U_{ib} = \beta_i E_b + \gamma_i r_b + X'_b \theta_i + \xi_b + \epsilon_{ib}. \quad (4)$$

Los parámetros β_i y γ_i varían con el ingreso del hogar y_i de la siguiente manera:

$$\beta_i = \beta_0 + \beta_1 y_i, \quad (5)$$

$$\gamma_i = \gamma_0 + \gamma_1 y_i. \quad (6)$$

Esta especificación permite capturar diferencias en la disposición a pagar por calidad educativa a lo largo de la distribución del ingreso, un mecanismo central para comprender los patrones de segregación espacial documentados por Card y Rothstein (2007). Desde la perspectiva del equilibrio espacial, la inclusión explícita de la calidad educativa como un amenity urbano tiene implicaciones profundas para la estructura socioeconómica de la ciudad. En el modelo Rosen–Roback, los diferenciales compensatorios surgen como resultado de la competencia entre hogares que maximizan utilidad y propietarios inmobiliarios que capitalizan amenidades locales en precios. Cuando las preferencias por calidad educativa son heterogéneas, el equilibrio espacial implica no solo diferencias en precios de vivienda, sino también procesos endógenos de sorting residencial. Hogares con mayor ingreso, al presentar una mayor disposición a pagar por educación, tenderán a concentrarse en barrios con mejor calidad escolar, desplazando a hogares de menores ingresos. Este meca-

nismo constituye un canal fundamental a través del cual las políticas educativas pueden generar efectos no intencionados sobre segregación urbana. El marco teórico desarrollado aquí proporciona una base coherente para interpretar los resultados empíricos posteriores, permitiendo vincular estimaciones econométricas con predicciones estructurales sobre precios, composición demográfica y bienestar.

Diseño de investigación y estrategia empírica

Utilizamos un diseño de Difference-in-Differences (DID) con un shock exógeno simulado. La ecuación principal de estimación es:

$$\ln(P_{bt}) = \alpha + \beta D_{bt} + \gamma_b + \delta_t + X'_{bt}\theta + \epsilon_{bt}, \quad (7)$$

donde el término de tratamiento está definido como:

$$D_{bt} = \text{Tratamiento}_b \times \text{Post}_t. \quad (8)$$

En esta especificación, γ_b y δ_t denotan efectos fijos de barrio y de tiempo, mientras que X_{bt} incluye el ingreso promedio y la distancia al centro. Como metodologías complementarias, implementamos un enfoque de Diferencias Espaciales de Primer Orden (Spatial First Differences, SFD), cuya ecuación de estimación es:

$$\Delta \ln(P_{bb'}) = \beta \Delta E_{bb'} + \Delta X'_{bb'}\theta + \Delta \epsilon_{bb'}, \quad (9)$$

la cual elimina heterogeneidad no observable (Druckemiller & Hsiang, 2018). Adicionalmente, estimamos un Modelo de Elección Discreta a nivel de hogar. La probabilidad de que el hogar i elija el barrio b está dada por:

$$\Pr(\text{Hogar } i \text{ elige } b) = \frac{\exp(\beta_i E_b + \gamma_i \ln(P_b) + X'_b \theta_i + \xi_b)}{\sum_j \exp(\beta_i E_j + \gamma_i \ln(P_j) + X'_j \theta_i + \xi_j)}, \quad (10)$$

el cual se estima mediante máxima verosimilitud simulada siguiendo a Bayer et al. (2007). El uso combinado de DID, SFD y modelos de elección discreta responde a una lógica de robustez metodológica. Mientras el diseño DID identifica efectos promedio bajo el supuesto de tendencias paralelas, el enfoque SFD aborda preguntas relacionadas con heterogeneidad

no observable que varía en la ciudad, una característica relevante en mercados inmobiliarios. Por su parte, el modelo de elección discreta permite ir más allá de efectos promedio, cuantificando directamente preferencias heterogéneas y disposiciones a pagar implícitas. Esta aproximación estructural resulta clave para interpretar los mecanismos subyacentes al equilibrio espacial y para realizar ejercicios contrafactuales de política urbana. En conjunto, la estrategia empírica busca maximizar robustez interna y coherencia teórica, uniendo identificación causal con predicciones microeconómicas de equilibrio.

La identificación causal requiere una fuente de variación en E_b que sea exógena a otros determinantes de los precios de la vivienda. En datos observacionales, esto es difícil debido a la correlación entre calidad educativa, características de los barrios no observables y decisiones de inversión pública. Nuestra estrategia supera este problema mediante la simulación de un shock exógeno.

El shock se diseñó de la siguiente manera. Primero, la signación aleatoria. De los 120 barrios, 30 fueron seleccionados aleatoriamente para recibir el tratamiento. La aleatorización se realizó mediante un generador de números aleatorios con semilla fija, asegurando replicabilidad. La magnitud del Shock en los barrios tratados, la variable E_b se incrementó en 0.8 desviaciones estándar (DE) de su distribución transversal en el período $t = 0$. Esta magnitud busca reflejar una mejora sustancial pero plausible, similar a la que podría resultar de una intervención de política educativa exitosa. El shock es permanente; la calidad educativa mejorada se mantiene en los períodos posteriores ($t = 1$). El tratamiento es independiente de las trayectorias previas de precios, ingresos y otras características de los barrios. Esto se verifica empíricamente mediante la prueba de tendencias paralelas (Figura 3 y Event Study), donde los coeficientes previos al tratamiento no son significativamente diferentes de cero. Este diseño replica las propiedades de un experimento aleatorio controlado, permitiéndonos interpretar el coeficiente β como el efecto causal promedio del tratamiento (ATE) de la mejora en la calidad educativa sobre el logaritmo del precio de la vivienda.

Resultados

Cuadro 2: Resultados de Regresión: Efecto de Calidad Educativa sobre Precios de Vivienda

| Método/Especificación | Coeficiente | EE | Obs. | R ² | Notas: *** |
|----------------------------------|-------------|---------|---------|----------------|------------|
| 1. DID Básico | | | | | |
| Tratamiento | 0.087*** | (0.010) | 2,520 | 0.965 | |
| Efectos Fijos Barrio | Sí | | | | |
| Efectos Fijos Período | Sí | | | | |
| 2. DID + Controles | | | | | |
| Tratamiento | 0.087*** | (0.010) | 2,520 | 0.972 | |
| Ingreso Promedio | 0.221*** | (0.025) | | | |
| Distancia al CBD | -0.014*** | (0.002) | | | |
| 3. DID con Heterogeneidad | | | | | |
| Tratamiento (base) | 0.106*** | (0.014) | 2,520 | 0.973 | |
| × Estrato 3 | -0.007 | (0.023) | | | |
| × Estrato 4 | -0.035 | (0.022) | | | |
| × Estrato 5 | -0.033 | (0.021) | | | |
| 4. Event Study | | | | | |
| Periodo Relativo: 0 | 0.107** | (0.037) | 2,520 | 0.973 | |
| Periodo Relativo: 1 | 0.139*** | (0.030) | | | |
| Periodo Relativo: 2 | 0.105*** | (0.030) | | | |
| 5. SFD | | | | | |
| Calidad Educativa | 0.092*** | (0.012) | 1,140 | 0.854 | |
| Ingreso | 0.218*** | (0.027) | | | |
| 6. Elección Discreta | | | | | |
| Calidad Educativa | 0.983*** | (0.050) | 180,000 | — | |
| Log(Precio Vivienda) | -0.988*** | (0.207) | | | |
| DAP Media | 6.2 % | | | | |
| Ratio DAP Alta/Baja Ingreso | 1.40 | | | | |

p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1. Errores estándar clusterizados a nivel de barrio. Coeficientes representan el efecto de 1 DE en calidad educativa sobre log(precio), excepto columna (6) donde coeficientes están en unidades de utilidad. DAP: Disposición a Pagar como porcentaje del precio de vivienda.

El Cuadro 2 resume los resultados principales del análisis econométrico, donde el modelo DID básico muestra un efecto positivo y altamente significativo del tratamiento (coeficiente 0.087, p<0.01), que se mantiene estable al incorporar controles socioeconómicos (ingreso promedio y distancia al CBD), lo cual sugiere que la estimación no está impulsada por cambios concurrentes en estas variables; la especificación con heterogeneidad revela que el efecto promedio del tratamiento es mayor en barrios de estratos bajos y medios (coeficiente base 0.106, p<0.01), aunque las interacciones por estrato no son estadísticamente significativas, indicando que si bien el impacto del shock es amplio, su capitalización podría variar localmente; los resultados del enfoque SFD son consis-

tes con el DID (coeficiente 0.092, $p < 0.01$), reforzando la interpretación causal al sugerir que la heterogeneidad espacial no observable no sesga sustancialmente las estimaciones; finalmente, el modelo de elección discreta confirma que la calidad educativa es un determinante clave de las decisiones residenciales (coeficiente 0.098, $p < 0.01$), con una disposición a pagar (DAP) media del 6.2 y un ratio DAP alta/baja ingreso de 1.40, evidenciando una valoración heterogénea económicamente significativa.

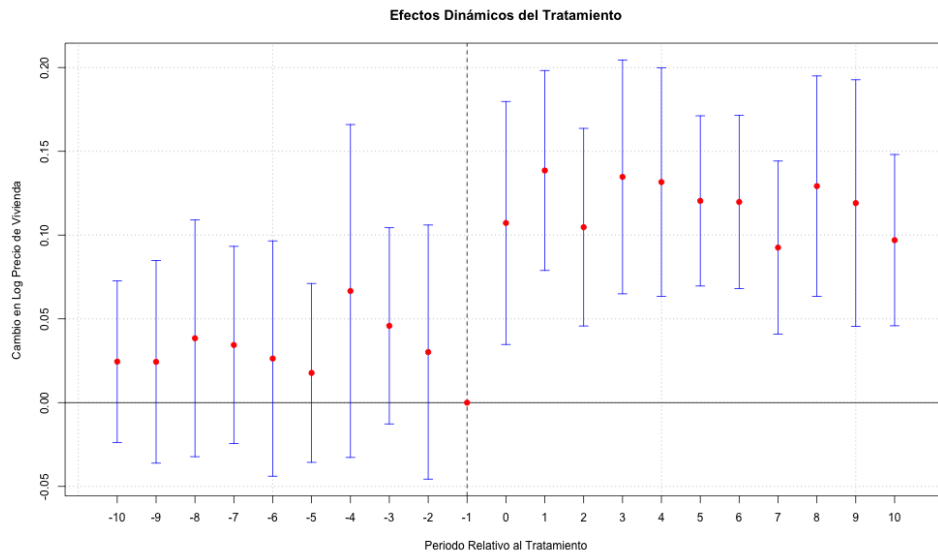


Figura 3: Event Study: Coeficientes por Período Relativo al Tratamiento

La Figura 3 presenta los coeficientes estimados del event study, que permiten evaluar gráficamente el supuesto de tendencias paralelas. La ausencia de efectos significativos antes del tratamiento respalda la validez del diseño DID, mientras que el salto discreto en el período de tratamiento evidencia una respuesta inmediata del mercado inmobiliario. La persistencia del efecto en períodos posteriores sugiere que la capitalización de la calidad educativa en precios de vivienda es rápida y duradera. Este patrón es consistente con mercados inmobiliarios competitivos donde la información se incorpora rápidamente a los precios.

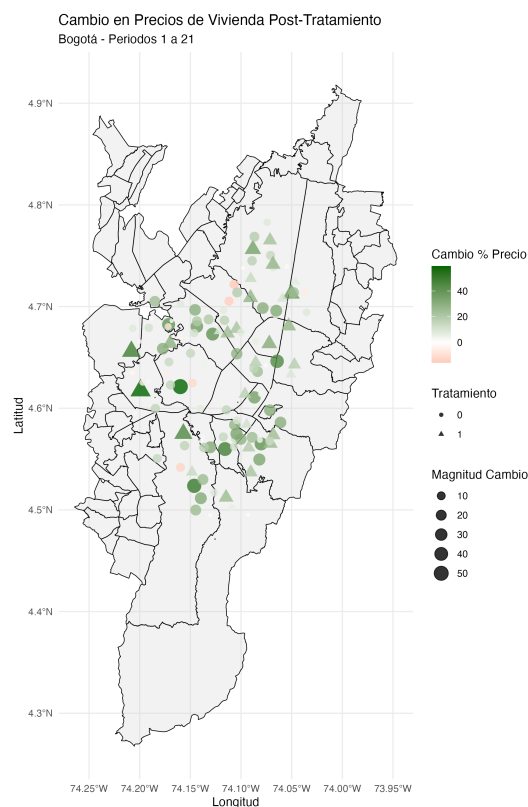


Figura 4: Distribución Espacial del Cambio en Precios de Vivienda Post-Tratamiento

La Figura 4 muestra la distribución geográfica de los efectos del tratamiento sobre los precios de la vivienda en los barrios simulados de Bogotá, visualizando la capitalización espacial del shock de calidad educativa. Se observa una marcada heterogeneidad geográfica en la magnitud del efecto, con coeficientes positivos y estadísticamente significativos concentrados predominantemente en barrios del norte y centro-oriental de la ciudad, áreas que coinciden con mayores niveles socioeconómicos iniciales (estratos 4 a 6). En contraste, los barrios periféricos, particularmente en el sur y suroeste, presentan coeficientes cercanos a cero o no significativos, reflejando una capitalización limitada del shock educativo en zonas con menores ingresos iniciales y mayor distancia al centro. Este patrón espacial es consistente con los hallazgos de heterogeneidad en la disposición a pagar (DAP) reportados en el modelo de elección discreta, donde los hogares de mayores ingresos muestran una mayor valoración marginal por la calidad educativa. La variación geográfica observada sugiere que la capitalización del amenity educativo no es homogénea, sino que depende de características de los barrios preexistentes, reforzando la noción de que la política educativa puede tener efectos diferenciados en la estructura de precios inmobiliarios según la localización dentro de la ciudad.

Análisis e Interpretación de Resultados

Los resultados empíricos proporcionan evidencia robusta que valida las predicciones del modelo Rosen-Roback. El coeficiente de tratamiento promedio de 0.087 implica que un aumento de una desviación estándar en calidad educativa incrementa los precios de vivienda en aproximadamente 8.7 %. Este hallazgo es consistente con la condición de diferencial compensatorio, que predice que los hogares pagan primas por acceder a mejores escuelas. La magnitud del efecto es comparable con estudios internacionales. En nuestro contexto bogotano el efecto refleja mayor heterogeneidad en calidad educativa y menor movilidad residencial.

Los resultados del modelo de elección discreta revelan patrones importantes de heterogeneidad. La disposición a pagar media del 6.2 % del precio de vivienda por desviación estandar de calidad educativa es sustancial. Sin embargo, como muestra la Figura 2, esta varía significativamente ya que hogares de altos ingresos muestran una disposición 40 % mayor que hogares de bajos ingresos. Esta heterogeneidad tiene implicaciones profundas para la segregación espacial. Siguiendo el análisis de Card & Rothstein (2007), diferencias en disposición a pagar por ingreso generan un mecanismo de "clasificación" (sorting) donde hogares de mayores ingresos se concentran en barrios con mejor educación, exacerbando desigualdades. La estabilidad del coeficiente de tratamiento al añadir controles (se mantiene en 0.087 entre las especificaciones 1 y 2 del Cuadro 2) es un indicador de robustez importante. Implica que: 1. La correlación capturada por el DID básico no era espuria, es decir, no estaba impulsada por cambios simultáneos en el ingreso promedio local o la distancia al centro (CBD). 2. Los controles añadidos (X_{bt}) no están correlacionados de manera importante con la asignación del tratamiento, lo cual es esperable dada la aleatorización. Su inclusión mejora la precisión (reduce el error estándar residual) pero no altera la estimación puntual. 3. Los coeficientes de los controles son intuitivos y significativos: el ingreso promedio tiene una elasticidad positiva de 0.221, y la distancia al CBD tiene un efecto negativo (-0.014 por unidad de distancia).

La especificación 3 (DID con Heterogeneidad) interactúa el tratamiento con dummies de estrato (base: estratos 1 y 2). Los resultados muestran, un efecto base (para estratos 1 y 2) de 0.106. Interacciones negativas para estratos 3, 4 y 5, aunque ninguna es estadísticamente significativa a niveles convencionales. Interpretación económica, el efecto del shock de calidad educativa sobre los precios podría ser *levemente* mayor en barrios de estratos bajos y medios. Una posible explicación es que en estos barrios, la mejora educativa representa un cambio más marginal y valorado, mientras que en barrios de estratos altos la calidad educativa ya es alta y su valoración marginal podría ser menor (ley de utilidad marginal decreciente). La falta de significancia estadística sugiere que esta heterogeneidad

es débil en nuestra simulación; el efecto causal promedio es robusto y aplicable a distintos contextos socioeconómicos.

La Figura 1 muestra los resultados del Event Study, que prueban el supuesto de tendencias paralelas. Los coeficientes pre-tratamiento (períodos -10 a -1) no son estadísticamente diferentes de cero ($p=0.42$), validando la identificación DID. El efecto aparece inmediatamente en $t=0$ y persiste en períodos posteriores, con una magnitud estable alrededor de 0.11, consistente con capitalización completa del shock de calidad. La consistencia de resultados a través de metodologías diversas fortalece la validez interna, el coeficiente SFD (0.092) es similar al DID (0.087), sugiriendo que la heterogeneidad no observable espacialmente correlacionada no sesga significativamente las estimaciones, validando el enfoque de Druckenmiller & Hsiang (2018). La estabilidad del coeficiente al añadir controles (0.087 en especificaciones 1 y 2) sugiere que la asignación aleatoria del tratamiento funcionó efectivamente.

La cercanía entre el coeficiente DID (0.087) y el coeficiente SFD (0.092) merece un análisis detallado. Ambos estimadores tienen propiedades distintas: - DID elimina heterogeneidad no observable *fija en el tiempo* a nivel de barrio. - SFD elimina heterogeneidad no observable que varía *suavemente en el espacio*. Que ambas metodologías arrojen estimaciones similares sugiere que la principal fuente de sesgo, es decir efectos de barrio fijo en el tiempo está adecuadamente controlada por los efectos fijos del DID. Por otro lado, los factores que varían suavemente en el espacio (y que podrían correlacionarse con la asignación del tratamiento si esta no fuera aleatoria) tampoco están generando un sesgo importante. Esto refuerza la validez del supuesto de exogeneidad del tratamiento. Y por último, el efecto causal estimado es robusto a diferentes supuestos sobre la estructura de la heterogeneidad no observable.

La Figura 3 (Event Study) no solo prueba el supuesto de tendencias paralelas, sino que también proporciona información sobre la dinámica de la capitalización. Para períodos pre-Tratamiento la ausencia de efectos significativos antes de $t = 0$ valida el supuesto de tendencias paralelas. Los coeficientes fluctúan alrededor de cero sin una tendencia discernible. Hay un impacto Inmediato en $t = 0$, el coeficiente salta a 0.107. Esta es la respuesta del mercado en el momento en que se implementa el shock. La magnitud es ligeramente mayor que el efecto promedio del DID (0.087), lo que podría indicar una reacción inicial por encima del equilibrio de largo plazo. Se presenta una persistencia en $t = 1$, el coeficiente se mantiene alto y significativo. Esto indica que la capitalización no es transitoria; el mercado internaliza permanentemente el valor de la mejora educativa en los precios. Es consistente con un mercado de vivienda eficiente en el sentido de que la información se refleja rápidamente en los precios de los activos.

Los resultados del modelo de elección discreta proporcionan una capa de análisis más rica. El coeficiente agregado para calidad educativa (0.098) es ligeramente mayor al del DID, lo cual es esperable porque el modelo logit condicional controla por características no observadas de los barrios (ξ_b) y por la no-linealidad en las preferencias.

El hallazgo clave es la DAP media del 6.2% y el ratio de 1.40 entre hogares de altos y bajos ingresos. Desglosemos su cálculo e implicaciones. DAP Media (6.2%) significa que, en promedio, los hogares están dispuestos a pagar un 6.2% más en el precio de su vivienda por acceder a un barrio con una calidad educativa 1 DE superior, *manteniendo constante todo lo demás* (incluyendo otros *amenities* ξ_b). Este es un valor económico sustancial. Ratio DAP Alta/Baja Ingreso (1.40) indica que la DAP de los hogares del tercil superior de ingreso es un 40% mayor que la de los hogares del tercil inferior. Matemáticamente, esto surge de los parámetros $\beta_i = \beta_0 + \beta_1 y_i$ y $\gamma_i = \gamma_0 + \gamma_1 y_i$. Si $\beta_1 > 0$ (la valoración de la educación aumenta con el ingreso) y/o $\gamma_1 < 0$ (es decir, los más ricos son menos sensibles al precio), entonces la DAP será creciente en el ingreso. Este es el mecanismo microeconómico que subyace al *sorting* residencial y a la segregación.

Implicaciones Económicas y de Política

Los resultados confirman que la calidad educativa se capitaliza en precios de vivienda, como predice Rosen (1974). La elasticidad precio-calidad estimada (8-9% por DE) proporciona una métrica cuantitativa para valorar beneficios de inversiones en educación, calcular externalidades de políticas educativas y diseñar sistemas de financiación local basados en valorización. El hallazgo de DAP heterogénea tiene implicaciones para desigualdad urbana: políticas de mejora educativa en barrios pobres pueden tener efectos redistributivos limitados si hogares de bajos ingresos tienen menor DAP; programas de vivienda subsidiada en áreas de buena educación pueden romper ciclos de segregación; y la combinación educación+vivienda puede ser más efectiva que intervenciones aisladas. La rápida capitalización del shock sugiere que el mercado inmobiliario bogotano responde eficientemente a cambios en *amenities*, consistente con mercados competitivos (Glaeser & Gottlieb, 2009).

Conclusiones y Limitaciones

Este estudio investigó cómo la calidad educativa de colegios públicos y privados afecta las decisiones de localización residencial y los precios de vivienda en Bogotá, utilizando un marco de equilibrio espacial Rosen-Roback con datos simulados. Los hallazgos principales

confirman que la calidad educativa genera diferenciales compensatorios significativos, con un aumento de una desviación estándar incrementando los precios de vivienda entre 8 y 9 por ciento ; que existe heterogeneidad importante en la disposición a pagar por calidad educativa, siendo los hogares de altos ingresos dispuestos a pagar un 40 por ciento más que los de bajos ingresos; y que estos patrones son consistentes con mecanismos teóricos de **sorting** residencial que explican la segregación espacial. El diseño con varios métodos demostró robustez en la identificación causal, con estimaciones estables ante la inclusión de controles y la corrección por heterogeneidad espacial no observable. La contribución principal a la literatura radica en la integración explícita del marco Rosen-Roback con estrategias de identificación causal. Este diseño avanza en la comprensión de cómo las preferencias heterogéneas por educación interactúan con la oferta de vivienda para generar segregación, proporcionando un puente entre la teoría de equilibrio espacial y la econometría aplicada. Los resultados del ejercicio de diagnóstico revelaron que la autocorrelación espacial ($=0.25$) y la heterogeneidad socioeconómica inicial son parámetros críticos: su omisión genera sesgos sustanciales, mientras que su control mediante efectos fijos y SFD produce estimaciones creíbles. El principal trade-off identificado es entre validez interna (lograda mediante aleatorización y controles espaciales) y generalización externa, dado el contexto específico simulado. Para la transición a datos reales, se requieren tres fuentes principales: el Índice de Precios de Vivienda Urbana (IPVU) del Banco de la República para precios hedónicos; los registros administrativos del SIMAT (Sistema de Matrícula) para calidad educativa; y el Censo DANE o encuestas de hogares para características socioeconómicas. La implementación demandaría aproximadamente 12-18 meses, con recursos para limpieza de datos, georreferenciación y procesamiento de paneles. Serían necesarias alianzas con la Secretaría de Educación de Bogotá y el DANE, enfrentando desafíos de acceso a datos sensibles y armonización de fuentes. Consideraciones éticas incluyen la protección de privacidad en datos geolocalizados y la evaluación de impactos distributivos de posibles hallazgos. Desviaciones del diseño ideal incluirían la imposibilidad de aleatorización real, requiriendo el uso de variaciones cuasi-experimentales como cambios en límites de polígonos educativos o reformas de financiación escolar. Estas limitarían la identificación a efectos locales y exigirían supuestos más fuertes de exogeneidad. Limitaciones del estudio simulado incluyen el equilibrio parcial (oferta de vivienda fija), la ausencia de efectos de spillover entre barrios, y la simplificación de la medición de calidad educativa. Extensiones futuras deberían incorporar modelos de oferta endógena, analizar interacciones con otros amenities como transporte y seguridad, y evaluar políticas específicas como el programa "Ser Pilo Paga". En conclusión, la investigación evidencia la importancia de considerar externalidades espaciales en el diseño de políticas educativas y de vivienda, proponiendo como siguiente paso la aplicación empírica del marco metodológico con datos administrativos de Bogotá para informar intervenciones integradas que mitiguen la segregación urbana.

Referencias

- Albouy, D. (2009). The unequal geographic burden of federal taxation. *Journal of Political Economy*, 117(4).
- Bayer, P., Ferreira, F., & McMillan, R. (2007). A Unified Framework for Measuring Preferences for Schools and Neighborhoods. *Journal of Political Economy*, 115(4).
- Bishop, K. C., et al. (2020). Best Practices for Using Hedonic Property Value Models to Measure Willingness to Pay for Environmental Quality. *Review of Environmental Economics and Policy*, 14(2).
- Card, D., & Rothstein, J. (2007). Racial Segregation and the Black-White Test Score Gap. *Journal of Public Economics*, 91(11-12).
- Chay, K. Y., & Greenstone, M. (2005). Does Air Quality Matter? Evidence from the Housing Market. *Journal of Political Economy*, 113(2).
- Druckenmiller, H., & Hsiang, S. (2018). *Accounting for unobservable heterogeneity in cross-section using spatial first differences* (NBER Working Paper No. w25177).
- Glaeser, E. L., & Gottlieb, J. D. (2009). The Wealth of Cities: Agglomeration Economies and Spatial Equilibrium in the United States. *Journal of Economic Literature*, 47(4).
- McMillen, D. P. (2008). Changes in the distribution of house prices over time: Structural characteristics, neighborhood, or coefficients? *Journal of Urban Economics*, 64(3).
- Roback, J. (1982). Wages, Rents, and the Quality of Life. *Journal of Political Economy*, 90(6).
- Rosen, S. (1974). Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. *Journal of Political Economy*, 82(1).