

ESTUDIOS
MACRO

98

Consumo de agua y energía en Bogotá

Evaluación de impacto
Resolución 549 de 2015

Alcaldía de Bogotá

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ
SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN -SDP

Alcalde Mayor de Bogotá
Enrique Peñalosa Londoño

Secretario Distrital de Planeación
Andrés Ortiz Gómez

Subsecretario de Información y Estudios Estratégicos
Antonio José Avendaño Arosemena

Director de Estudios Macro
David Monroy Londoño
Diana Marcela Cuéllar Orjuela (E)

Investigador
Miguel Andrés Garzón Ramírez

Equipo de la Dirección de Estudios Macro
Camilo Gaitán Victoria
Diana Marcela Cuellar
Diana Esperanza Sánchez
Henry Rincón Melo
Karen Jackeline Vargas
Myriam Cecilia Dueñas Parada
Nelson Arturo Chaparro
Silvia Adriana Roa Pineda
Vanessa Cediél Sánchez

Contenido

1. Introducción.....	4
2. Revisión de literatura.....	6
3. Metodología	9
4. Datos	12
5. Resultados	17
6. Conclusiones.....	22
Bibliografía.....	23

1. Introducción

El cambio climático y la sostenibilidad ambiental han sido objeto de atención de la administración distrital en la última década. Combatir el cambio climático requiere de la alineación de incentivos del sector público y privado en torno a la reducción del impacto ambiental de las actividades urbanas, lo cual pasa por garantizar sostenibilidad ambiental y económica.

Con este panorama, desde la Secretaría Distrital de Planeación, en conjunto con la Secretaría Distrital de Ambiente y la Secretaría Distrital de Hábitat, se han emprendido numerosos esfuerzos en la formulación e implementación de una política de ecourbanismo en Bogotá. El Decreto Distrital 566 de 2014 adopta la Política Pública de Ecourbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá, cuya primera línea de acción contempla el desarrollo de prácticas sostenibles. Posteriormente, se expide la Resolución 549 de 2015 del Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, que establece parámetros y lineamientos obligatorios de construcción sostenible para edificaciones licenciadas después del 10 julio de 2016.

Este estudio busca determinar si la expedición de la Resolución 549 de 2015 ha permitido la reducción de consumo de agua y energía en nuevas edificaciones. Para esto se realiza el cruce de bases de datos con registros administrativos de varias entidades¹ y se aplica una metodología de evaluación de impacto de políticas públicas. Esto permite identificar si algún cambio en el consumo de agua o energía en las nuevas edificaciones corresponde a un efecto causal de la Resolución 549 de 2015.

Las metodologías de evaluación de impacto han tenido una creciente aceptación en la investigación académica como soporte en la toma de decisiones y en la formulación de políticas públicas. La literatura relacionada se ha enfocado en encontrar efectos de las certificaciones de eficiencia ambiental de construcciones sobre los precios de venta. Por lo tanto, este estudio es una contribución relevante a la investigación sobre economía de la construcción sostenible y permite mostrar cómo hacer evaluaciones de política pública usando datos de registros administrativos y herramientas estadísticas.

La metodología utilizada es una “regresión discontinua”, en la que se toman edificaciones licenciadas antes y después de la fecha de referencia de la Resolución y se crean dos grupos para comparación, tratamiento y control. La hipótesis es que las edificaciones licenciadas después de la fecha de referencia de la Resolución, grupo de tratamiento, tienen menor consumo de agua y energía que las edificaciones antes de la fecha, grupo de control.

¹ Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital, Secretaría Distrital de Planeación (SDP), Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Codensa-ENEL

El principal hallazgo de este estudio es que aún no se puede determinar si la Resolución 549 de 2015 ha tenido efectos en el consumo de agua y energía en nuevas edificaciones. El cruce de las bases de datos resulta en grupos de tratamiento y control sin observaciones suficientes para hacer un análisis estadístico. Con los datos disponibles no se puede asegurar que el consumo de agua y energía corresponde a edificaciones licenciadas en las fechas de interés. Sin embargo, se establecen los protocolos de manejo de datos y la metodología estadística para realizar el estudio cuando los registros administrativos estén actualizados y permitan construir grupos de edificaciones con poder estadístico para la comparación.

En este documento se presenta la motivación de este estudio y el marco conceptual asociado, se explica la metodología y el proceso de manejo de datos, finalmente se presentan los resultados de análisis estadísticos preliminares y se ofrecen algunas conclusiones y recomendaciones para el desarrollo futuro de este estudio.

La pertinencia de este estudio se fundamenta en las líneas de acción del Decreto Distrital 566 de 2014, la vinculación de la ciudad de Bogotá al programa Acelerador de Eficiencia Energética en Edificaciones BEA en el marco de la implementación de una política de construcción sostenible y la necesidad de determinar si la Resolución 549 de 2015 ha cumplido con el objeto de su expedición, que es reducir el consumo de agua y energía en nuevas edificaciones. Esto permitirá indagar sobre cómo los constructores adoptaron la Resolución en Bogotá y, con ello, establecer lineamientos para reglamentar esta normatividad y establecer una metodología de seguimiento a sus efectos en el Distrito Capital.

La Resolución 549 de 2015 define porcentajes obligatorios de ahorro de agua y energía eléctrica nuevas edificaciones con características específicas de uso, precio y tamaño. Es de obligatorio cumplimiento para edificaciones de usos residencial no VIS2, y bajo ciertas condiciones para hospitales, oficinas, centros educativos, hoteles y centros comerciales. Entra en vigencia el 10 julio de 2016, estableciendo unos porcentajes de ahorro que aumentan a partir del 11 julio de 2017, fecha a partir de la cual, de acuerdo con el Artículo Tercero de la Resolución 549 de 2015, “Ámbito de aplicación y gradualidad”, todas las edificaciones nuevas de Bogotá deben cumplir con los porcentajes de ahorro establecidos en la Tabla No. 2 del Artículo Quinto para clima Frío. Adicionalmente, de acuerdo con el Artículo Décimo Segundo - Seguimiento Y Control, dentro del término de entrada en vigencia de la presente Resolución, el Ministerio reglamentará el procedimiento y las herramientas de seguimiento y control del ahorro de agua y energía en edificaciones aquí contempladas.

En este estudio se busca determinar si la aplicación de la Resolución ha tenido efectos reales en el consumo de agua y energía en viviendas en la ciudad de Bogotá. Se espera que el efecto haya sido positivo y que se haya motivado a los constructores a utilizar técnicas que lleven

² Vivienda de Interés Social

a este ahorro incluso en construcciones donde esto no es obligatorio. Este estudio se relaciona con análisis de normatividad para la construcción sostenible y utiliza técnicas de análisis cuantitativo. Con esta evidencia se espera establecer lineamientos para reglamentar la Resolución 549 de 2015 en el Distrito Capital. Este estudio se ubica en la evaluación de normatividad sobre construcción sostenible por medio de técnicas de análisis cuantitativo. El alcance de este estudio es Distrital y abarca desde el periodo previo a la entrada en vigor de la normatividad hasta el presente.

2. Revisión de literatura

La sostenibilidad consiste en lograr la satisfacción de las necesidades de generaciones actuales sin afectar las necesidades de generaciones futuras (Departamento Nacional de Planeación, 2019). Esta meta se relaciona directamente con uno de los Objetivos del Desarrollo Sostenible: “garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”. Una de las actividades urbanas que mayor impacto ambiental y económico tiene a lo largo de su ciclo de vida es la construcción. Por ejemplo, el uso de materiales recuperables, técnicas de construcción que permitan mayor eficiencia en el consumo de servicios públicos o la integración ecológica de los nuevos edificios con su entorno son formas de mitigación del impacto ambiental y pueden ser considerados como acciones de adaptación de los sistemas humanos a los retos ambientales actuales.

Es evidente que los constructores requieren incentivos económicos para implementar técnicas de construcción que lleven a menores consumos de agua y energía y reducción en la contaminación en el ciclo de vida de una edificación, esto es, el proceso de construcción, su uso y demolición. En otras palabras, para que la construcción sea sostenible la edificación debe estar en sincronía con su entorno, hace uso eficiente de energía, agua y materiales, de tal manera que provee confort y salud a sus usuarios (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2019).

Los incentivos se basan en los beneficios que una decisión puede generar en el marco de un sistema productivo, esto hace que la investigación académica sobre construcción sostenible gire en torno a la sostenibilidad económica. Además de los beneficios de los constructores, que son nuestro foco de interés, también sería pertinente considerar los beneficios de los consumidores. Por lo tanto, la revisión de literatura se enfoca en los beneficios de las prácticas de construcción sostenible. En primer lugar, Freybote, et al. (2015), Eichholtz, et al. (2012), Deng, et al. (2012), Cajias, et al. (2012), Yau & Chiu (2012) y Fizaine, et al. (2018) buscan entender cuáles pueden llegar a ser los potenciales beneficios económicos, para el sector de la construcción, de incursionar en prácticas de construcción sostenible. Para abordar el tema, los autores se preguntan si el valor de los activos de los proyectos de

construcción sostenible poseen un *premium*³ en el mercado (Deng, et al., 2012), si el *green labeling*⁴ de los edificios contribuye a que su precio aumente (Freybote, et al., 2015; Yau & Chiu, 2012), si un mejor desempeño en materia de sostenibilidad –en la finca raíz– se puede relacionar con mayores ingresos y con una menor volatilidad de los activos (Cajias, et al., 2012) y si una mayor eficiencia energética, asociada con la sostenibilidad, mejora las ganancias económicas de los edificios (Eichholtz, et al. 2012). Adicionalmente, Fizaine, et al. (2018) se preguntan si, mediante una amplia revisión de la literatura, existe un *premium* en el precio de venta en los edificios sostenibles. En segundo lugar, He & Wu, (2016), Serpell, et al. (2012) y Djokoto, et al. (2014), buscan encontrar si en los mercados de países en desarrollo (China, Chile y Ghana respectivamente) existen suficientes incentivos, y un nivel de conocimiento suficiente, para que las compañías de construcción decidan incursionar y mantenerse en el negocio del desarrollo de edificios sostenibles.

No obstante, las investigaciones de Hwang, et al. (2017) y de Aroul & Rodríguez (2017) van por caminos diferentes a los de la mayoría de las investigaciones relacionadas con la construcción sostenible. Hwang, et al. (2017) se preguntan acerca de si los proyectos de construcción sostenibles ostentan un *premium* en el costo de producción y de funcionamiento, frente a los proyectos de construcción tradicional. Mientras que, en el artículo de Aroul & Rodríguez (2017) se tiene como objetivo describir cuál es el tipo de información, acerca de las características y el desempeño sostenible de los edificios, que usualmente está disponible para ser usada en modelos econométricos.

Estas investigaciones se realizan en diferentes unidades de observación. La mayoría se realizan con datos de carácter local (una sola ciudad), otro grupo importante trabajan con datos a nivel nacional, y como una excepción Fizaine, et al. (2018) utiliza una muestra global, a lo largo del tiempo, de los diferentes artículos que han investigado acerca de los beneficios económicos de los proyectos de construcción sostenible. Dentro de los trabajos de carácter local se pueden encontrar estudios sobre Singapur (Hwang, et al., 2017; Deng, et al., 2012; Liao & Zhao, 2019), Beijing (He & Wu, 2016), Portland (Freybote, et al., 2015), Hong Kong (Yau & Chiu, 2012) y Tokio (Fuerst & Shimizu, 2016). Por otro lado, los estudios de Serpell, et al. (2012), Djokoto, et al. (2014) y Cajias, et al. (2012) se realizaron sobre las compañías de construcción de Chile, de China y de Europa respectivamente. Finalmente, Eichholtz, et al. (2012) y Zhang, et al. (2018) analizaron datos acerca de los precios de los edificios sostenibles en Estados Unidos y en China, respectivamente.

Respecto a los datos utilizados, algunos autores utilizan certificaciones ambientales ya existentes como un punto de partida para medir la sostenibilidad de un proyecto de construcción, He & Wu (2016) utilizan el “Great Wall Award” -el cual es un premio de sostenibilidad otorgado por el gobierno de China- Freybote, et al. (2015) utilizan la certificación LEED y Yau & Chiu (2012) usan el Hong Kong Building Environmental

3 Mayores precios de venta respecto a edificios similares que no cuentan con características de construcción sostenible.

4 Certificaciones de ecoeficiencia. Certificaciones autónomas en algún aspecto de construcción sostenible, como eficiencia energética, Eficiencia en agua, uso de materiales de construcción de baja energía embebida, entre otros.

Assesment Method (BEAM), entre otros. Por otro lado, autores como Hwang, et al. (2017) y Fizaine, et al. (2018) realizaron una revisión de literatura de aquellas investigaciones que previamente han analizado (i) el comportamiento del mercado de la construcción y (ii) los beneficios que acarrea la construcción de edificios sostenibles. Por último, ciertos investigadores, como Djokoto, et al., 2014 y Hwang, et al., 2017, también realizaron entrevistas a las diferentes empresas de construcción sostenible en su respectiva ciudad o país. Cada grupo de investigadores utiliza un método estadístico o econométrico distinto para analizar y evaluar la información que tienen disponible. Freybote, et al. (2015) utilizaron un modelo autorregresivo espaciotemporal (STAR, por sus siglas en inglés). Deng, et al. (2012) diseñaron una investigación en dos etapas: primero realizaron una modelación de precios hedónicos de los edificios, y posteriormente, se realizó una regresión sobre los atributos locales de los proyectos. Mientras que, Liao & Zhao (2019) diferencian el tratamiento de los cuantiles condicionales e incondicionales y trabajan con un método de puntaje de propensión.

Este panorama en la investigación sobre construcción sostenible en economía permite observar la importancia de la contribución del presente estudio. Si bien la pregunta de investigación busca indagar sobre los efectos en la eficiencia en el consumo de servicios públicos, este es el inicio de una agenda de investigación donde se indaga sobre preferencias de los consumidores a través de cambios en los precios. En la literatura se observa un cuerpo de investigación sólido respecto a los efectos de certificaciones de ecoeficiencia en países con alto nivel de desarrollo, en contraste con una carencia de investigación sobre prácticas de construcción sostenible en países en desarrollo. De hecho, para estos países, la literatura no ofrece un análisis positivo de las prácticas de construcción sostenible sino un análisis diagnóstico sobre las necesidades para fomentar incentivos a los constructores, específicamente a través de la acción del gobierno. Por lo tanto, este estudio y la agenda de investigación que invita a abrir tienen potencial para contribuir a la literatura en economía de la construcción desde el contexto de la ciudad de Bogotá. Por otro lado, la metodología que se propone es novedosa en este tema porque busca sustentar un efecto causal de la Resolución 549 de 2015 y se hace uso recursivo de registros administrativos, que solo disponen los organismos del gobierno de la ciudad.

Se tienen diferentes motivaciones para investigar sobre la construcción sostenible en economía. En algunos casos la calidad de las construcciones es un problema significativo en el mercado de la vivienda, como en Beijing (He & Wu, 2016). En otros casos el surgimiento de green labels, al parecer, ha permitido internalizar una externalidad positiva derivada de la construcción de edificios sostenibles, lo cual aumenta su precio (Freybote, et al., 2015; Deng, et al., 2012; Yau & Chiu, 2012; Fuerst & Shimizu, 2016). Más aun, a Serpell, et al. (2012) y a Djokoto, et al. (2014) les interesa conocer si las condiciones socioeconómicas e institucionales de un país en vía de desarrollo ralentizan o facilitan la creación de edificios sostenibles. Finalmente, a Hwang, et al. (2017) les preocupa que las iniciativas de construcción sostenible estén siendo perjudicadas por el premio en los costos de estas. Este estudio se ajusta a las motivaciones de Serpell, et al. (2012), acudiendo a la necesidad de regulación que incentive a los constructores, llegando a la posibilidad de evaluar lo avanzado en política de ecourbanismo en Bogotá.

Consecuentemente, la motivación de estos autores por sus investigaciones ha permitido que estos generen nuevas contribuciones a la economía y al campo de la construcción sostenible. Hwang, et al. (2017) proponen un conjunto de soluciones, mediante las cuales se podrían reducir los premiums en los precios de este tipo de construcciones. He & Wu (2016) encuentran que existe un desfase entre los costos y los beneficios que poseen los constructores de vivienda sostenible. Freybote, et al. (2015) encuentran que la forma en la cual los mercados perciben una certificación grupal (barrial) es muy diferente a como se percibe una certificación por cada edificio, individualmente. Complementariamente, Serpell, et al. (2012) esclarece que las condiciones contextuales e institucionales de un país son fundamentales para fomentar el crecimiento del sector de la construcción sostenible. Por último, el estudio de Deng, et al. (2012) corresponde a una investigación pionera acerca de los beneficios económicos de la sostenibilidad en un mercado emergente –construcción– dentro de un país emergente a nivel económico. Por nuestra parte, la evaluación de la Resolución 549 de 2015 permite establecer si la regulación actual ha funcionado, dimensionar sus efectos y analizar sus limitaciones y posibles mejoras.

3. Metodología

Este estudio busca medir el efecto de la Resolución 549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio sobre el consumo de agua y energía eléctrica en nuevas construcciones en Bogotá. La resolución establece que los proyectos cuya licencia de construcción sea radicada después del 10 de julio de 2016, la fecha de corte, deben implementar medidas de construcción sostenible de tal manera que se logren las metas de ahorro en consumos de servicios públicos definidas.

Para observar este efecto, se seleccionan proyectos en grupos cuya única diferencia en promedio sea la fecha de radicación de la licencia de construcción. De esta manera, entre los proyectos seleccionados, el grupo de tratamiento lo conforman los predios en construcciones cuya licencia haya sido radicada después de la fecha de corte. El grupo de control contiene predios en construcciones cuya licencia fue radicada antes de la fecha de corte, y que bajo ciertas condiciones pueden ser comparado con el grupo de tratamiento. Esta fecha es el principal instrumento que define la probabilidad de que un proyecto esté en el grupo de tratamiento o de control y se puede considerar como un instrumento de asignación que tiene un componente exógeno.



Figura 1: Comportamiento esperado del consumo de agua o energía de las edificaciones que aplicaron la Resolución 549 de 2015 en comparación con edificaciones que no la aplicaron.

La hipótesis inicial es que, entre los proyectos con licencias radicadas alrededor de la fecha de corte, los proyectos en el grupo de tratamiento tengan consumos promedio más bajos que los proyectos en el grupo de control. El efecto se observa a través de la comparación de los consumos de los grupos en el presente. Para esto es necesario que los predios creados por el proyecto hayan estado un tiempo considerable uso, esto es, que sus consumos de agua y energía no sean cero.

La medición del efecto se realizará por medio de una regresión discontinua. Esta técnica econométrica permite establecer un diseño experimental en casos donde hay un instrumento de asignación por punto de corte para ver el cambio sobre una variable de interés. De acuerdo con nuestra hipótesis, el consumo de servicios públicos cambia discontinuamente alrededor de la fecha de corte. El efecto sería el cambio promedio del consumo entre los dos grupos.

En la Figura 1 se ilustra la discontinuidad esperada. De acuerdo con Imbens & Lemieux (2008), esta discontinuidad es el efecto buscado y se mide ejecutando dos regresiones lineales, una a la izquierda y otra a la derecha de la fecha de corte de la siguiente manera:

$$\text{Consumo}_i = \alpha_{l|r} + \beta_{l|r}(\text{fecha_licencia}_i - \overline{\text{fecha_de_corte}}) + e_i \quad \text{Ecuación 1}$$

Consumo_i es el consumo de alguno de los dos servicios públicos en un predio i . La expresión $(\text{fecha_licencia}_i - \overline{\text{fecha_de_corte}})$ estandariza las fechas de licenciamiento teniendo como referencia la fecha de corte, de tal manera que la expresión tiene valores negativos a la izquierda de la fecha de corte y valores positivos a la derecha. Entonces, el efecto está dado por el estadístico τ , que es la resta entre el intercepto de la regresión hacia

la izquierda (α_l) con el intercepto de la regresión hacia la derecha (α_r) de la siguiente manera:

$$\hat{\tau} = \alpha_l - \alpha_r \quad \text{Ecuación 2}$$

En cada regresión se están modelando los factores de error, por lo tanto, la hipótesis nula es que los residuos se distribuyen normalmente debido a que se comparan proyectos de construcción licenciados en un rango de tiempo suficientemente pequeño sobre la fecha de corte. Al rango de tiempo sobre la fecha de corte respecto al cual se realiza la evaluación se le llama ancho de banda. La selección del ancho de banda debe garantizar que haya una cantidad elevada predios a la derecha y a la izquierda de la fecha de corte para garantizar poder estadístico en el ejercicio. La determinación de este ancho de banda se puede hacer con métodos paramétricos o no paramétricos. En este caso, resulta práctico desarrollar métodos paramétricos por el carácter inicial del estudio, se pueden tomar anchos de banda de un mes, dos meses, seis meses o un año antes y después de la fecha de corte de acuerdo con la disponibilidad de datos, la cantidad de observaciones y el cumplimiento de los supuestos de no discontinuidad de las variables observables en la fecha de corte y no diferencias sistemáticas entre los grupos de comparación.

Para realizar una regresión discontinua con ancho de banda seleccionado paramétricamente se deben verificar dos supuestos, como se acotó anteriormente. El supuesto de no discontinuidad en las variables observables, en donde se debe mostrar que las características de las construcciones no varían abruptamente respecto a la fecha de licenciamiento, específicamente a la izquierda y a la derecha de la fecha de corte. El cumplimiento de estas condiciones permite suponer que las variables no observadas tienen el mismo comportamiento que las variables observadas, sin discontinuidades alrededor de la fecha de corte. Por otro lado, se debe garantizar que no hay diferencias sistemáticas en las características observables de los grupos de control y tratamiento (predios a la derecha y a la izquierda respectivamente) por medio de pruebas de diferencia de medias para diferentes anchos de banda (Bernal & Peña, 2011).

La Resolución 549 de 2015 permitió que los constructores tuvieran un año para preparar el cumplimiento de esta norma. Eso hace que la exogeneidad de la fecha de corte pueda estar afectada por alguna posible anticipación de los constructores, esto es, que el constructor pudo haber implementado las disposiciones necesarias para cumplir la norma en proyectos licenciados antes de la fecha de corte y en consecuencia el grupo de control (a la izquierda) podría tener proyectos que en la realidad fueron tratados. Para corregir este problema de identificación se puede implementar una regresión discontinua difusa. Esta regresión requiere calcular la probabilidad de que una edificación haya implementado las disposiciones de la Resolución y ponderarla con el estadístico que mide el efecto. Para este estudio no se implementa este método por la escasez de edificaciones identificadas producto del cruce de las bases de datos.

Este modelo solo es válido para evaluar el efecto directo, inicial y de corto plazo, de la Resolución 549 de 2015 sobre los consumos de servicios públicos. Esto es porque al incluir en el modelo proyectos licenciados mucho tiempo después de la fecha de corte hace que los supuestos sobre las variables no observadas no sean válidos. Si se quisiera medir la

evolución de los consumos de servicios públicos a más largo plazo se puede estimar un modelo de diferencias en diferencias con regresores adicionales. La forma funcional básica sería la siguiente:

$$\Delta Y_i = \beta_0 + \tau_i D_i + \delta_i X_i + \mu_i \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde ΔY_i es el cambio en el consumo de agua o energía en un predio i , D_i es una variable binaria que es igual a 1 si la fecha de radicación de la licencia del predio i es posterior al punto de corte y 0 en otro caso. τ_i es el coeficiente que indica la diferencia del consumo promedio entre los grupos de tratamiento y control. μ_i recoge los residuos de la regresión. El modelo incluiría variables de control X_i que permitan reducir sesgos en la inferencia del coeficiente τ_i producto del posible cambio en los hábitos de consumo de la población. Estas variables pueden ser características de la población que vive en los predios analizados, como cantidad de niños en el hogar, ya que es posible que los hogares que viven en construcciones nuevas licenciadas años antes de la fecha de corte tengan diferencias sistemáticas con hogares que viven en construcciones nuevas licenciadas después de la fecha de corte. También se pueden incluir variables como el tiempo de uso de los predios en el proyecto para controlar por posibles diferencias sistemáticas en los consumos de hogares que están estrenando los predios (grupo de tratamiento) respecto a los hogares que llevan más de un año con el predio en uso (grupo de control). Se puede considerar incluir variables catastrales como tamaño del terreno, tamaño del área construida o cantidad de cuartos en los predios para controlar por diferencias sistemáticas de los constructores respecto al tamaño promedio de las viviendas licenciadas en los grupos de comparación. Se plantea esta metodología para futuros estudios sobre cambios en hábitos de consumo de servicios públicos.

4. Datos

Este estudio requirió la solicitud y procesamiento de nuevos datos y su cruce con las bases de datos disponibles en la Dirección de Estudios Macro de la Secretaría Distrital de Planeación. Para observar los consumos de agua y energía se solicitó a las empresas de servicios públicos (Empresa de Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB y Codensa-ENEL) los datos de consumos de agua y energía de la facturación durante el año 2019. En el marco de esta investigación se solicitó, adicionalmente, la facturación completa para años anteriores, obteniendo datos desde el año 2010 para energía y desde 2012 para agua. Con estos datos se calcularon indicadores de consumo de estos servicios públicos y se implementó un sistema de seguimiento de consumo para todas las unidades geográficas de Bogotá.

Para construir la Figura 1 se requiere relacionar los datos de consumos con la fecha de licenciamiento de estas construcciones. Esto implica, además, hacer seguimiento lógico al proceso de construcción de la edificación desde el momento en que es radicada la licencia hasta que se tiene registro de consumos de agua y energía en ese lugar. De esta manera, la

relación entre consumos y fecha de licenciamiento se hace a través de la base predial de la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital. Estas bases se actualizan continuamente desde el año 2011.

La información de licenciamiento es suministrada por las Curadurías Urbanas y es compilada por la Dirección de Información Cartográfica y Estadística. Esta base reúne los registros de licencias de construcción de toda la ciudad de Bogotá y tiene información consolidada desde el año 2008. Contiene la variable Código de Lote Catastral, que permite hacer una relación directa con la base predial. Al hacer esta unión, se espera tener información que de cuenta de una edificación con licencia radicada previamente a su construcción (variable *vetustez5* en la base predial).

A su vez, cada factura de servicios públicos cuenta con un número de factura que está asociado a un número de contrato. Este número de contrato⁶ está asociado a un único predio y a su vez, un predio puede tener varias cuentas⁷. Las bases de consumo de agua cuentan con la variable *chip8*, que es el identificador único de la base predial, por lo cual la unión entre las dos bases es directa. Las bases de consumo de energía solo cuentan con la variable *dirección*, y a través de esta se debe hacer la unión con la base predial por medio de un estandarizador de direcciones suministrado por la Dirección de Estratificación de la Secretaría Distrital de Planeación.

Para efectos prácticos, cada base de consumo de agua y energía se agregó a nivel predial y en seguida se unió con la base predial correspondiente para cada año. De esta manera, se construyó un panel de consumos de agua y energía a nivel predial sobre la que se calculó el consumo anual, tiempos de facturación y los indicadores de referencia de la Resolución 549 de 2015. Para agua, el indicador muestra la cantidad de litros consumidos por persona al día. Para energía, el indicador muestra la cantidad de kilowatts-hora por metro cuadrado de energía consumidos en un año. Como ilustración, en la Tabla 1 mostramos un resumen de la unión entre las bases prediales y los consumos de agua y energía para el año 2017.

5 La variable *vetustez* registra el año en el que la edificación fue cimentada.

6 También llamado cuenta-contrato.

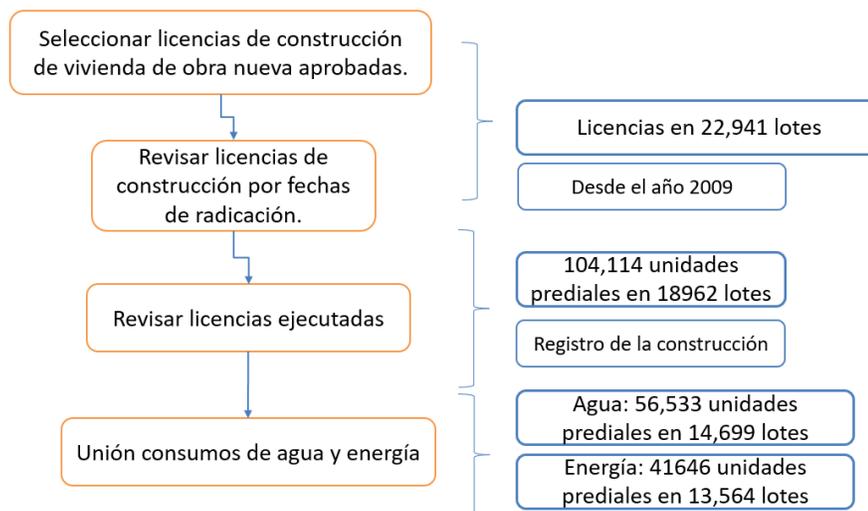
7 Por ejemplo, un edificio que haya contratado una cuenta de agua para cada apartamento, pero en el registro catastral todos los apartamentos comparten la misma identificación predial.

8 Código homologado de identificación predial.

Uso	Predios	Viviendas	Contratos Energía	Contratos Agua	Energía		Agua	
					% Predios	% Cuentas	% Predios	% Cuentas
Estrato 1	126.280	200.537	151.231	115.581	58,9	61,3	66,1	100,0
Estrato 2	560.149	943.304	712.310	567.490	55,0	71,9	74,6	100,0
Estrato 3	582.432	834.328	722.048	621.538	53,8	73,7	82,7	100,0
Estrato 4	280.121	271.587	289.084	281.376	54,3	83,6	80,8	100,0
Estrato 5	91.334	85.878	96.262	92.816	58,8	80,1	87,8	100,0
Estrato 6	73.726	62.910	76.894	83.977	64,5	80,0	80,6	100,0
Sin estrato	45.271	11.917						
Residencial	1.759.313	2.398.543	2.047.829	1.762.778	56,6	80,3	76,7	100,0
Comercial	159.952		241.668					
Industrial	34.568		34.624					
Otros	643.571		8.572					
Total	2.597.404		2.332.693					
Fuente	Catastro	Censo 2018	Enel- Codensa	EAAB				

Tabla 1: Resultados de la unión de las bases de consumos de agua y energía con la base predial del año 2017.

Se puede observar que la información suministrada por la EAAB representa al 76.7% de los predios residenciales de la ciudad de Bogotá. Esto abre posibilidades para preguntarse sobre el consumo de agua del 23.3% de predios sin identificar. Por su parte, se pudo identificar consumo de energía para el 56.6% de los predios residenciales en la ciudad de Bogotá, lo que corresponde al 80.3% de los contratos en la base de consumos de energía. Esto pone en evidencia que se debe depurar y actualizar el estandarizador de direcciones y abre inquietudes sobre el 43.4% de los predios residenciales sin datos de consumo de energía.



Esquema 1: Proceso de cruce de bases de datos de licencias de construcción, base predial y consumos de agua y energía.

El Esquema 1 muestra los resultados de la unión sucesiva de las bases de datos. De la base de licencias de construcción se seleccionan solo las licencias de obra nueva, de uso residencial y aprobadas. Se encuentran registros para 22,941 lotes desde el año 2009. Al cruzar estas observaciones con la base catastral se pueden identificar que corresponden a

104,114 unidades prediales en 18,962 lotes. En seguida, esta base se cruza con la información de consumos de agua y energía. Se obtiene que de las 101,114 unidades se identifica registro en la base de consumos de agua para 56,553 unidades prediales, esto es el 55.9%. A su vez, se identifican 42,646 unidades prediales con registro en la base de consumos de energía, esto es el 40%.

Sobre estas dos bases de datos, predios con consumos de agua y predios con consumos de energía, se debe hacer una serie de correcciones. Es posible que los predios estén englobados y por lo tanto la magnitud de su consumo de agua o energía se vea en la distribución como un valor atípico. También es posible que algunos predios no estén en uso y su consumo se vea como cero en la base de datos. Estos predios no deben incluirse en el análisis porque puede generar sesgo de menor consumo para un grupo de edificaciones que tienen fecha de licenciamiento posterior a la fecha de corte. La corrección más importante es a la posible desactualización del registro administrativo. Al respecto, se descartan predios residenciales que no contengan la variable estrato, cuyo año de licenciamiento sea posterior al año de construcción (o cimentación, variable *vetustez9*) o que el año de incorporación a la base predial de Catastro Distrital sea anterior al año de construcción¹⁰. Esto implica que un conjunto de predios se perdería por rezagos en la actualización de la base predial de Catastro Distrital respecto a la base de licencias de construcción.

Estrato	No tratados	Tratados	Total
1	10	4	14
2	162	43	205
3	603	149	752
4	252	0	252
5	113	13	126
6	16	11	27
Total	1,156	220	1,376

Tabla 2: Unidades prediales con consumo de agua licenciadas desde el año 2015 por estratos después de hacer correcciones a la unión de las bases de datos.

Como se ve en las Tablas 1 y 2, la cantidad de unidades prediales sobre las cuales se debió aplicar la Resolución 549 de 2015 es muy baja, esto hace que los supuestos de la

⁹ Algunos análisis realizados en la Dirección de Estudios Macro indican que esta variable puede tener un rezago de hasta tres años.

¹⁰ La base predial de Catastro Distrital reúne los cambios físicos observables en las construcciones de la ciudad, por lo tanto, para que un predio se incorpore en la base de Catastro Distrital debe estar construido. Si su año de construcción es posterior al registro de actualización (variable año de incorporación) es posible que exista un error de registro.

metodología no se puedan cumplir. Los análisis estadísticos se basan en la observación de suficientes individuos tal que se cumpla la ley (débil) de los grandes números, eso es, que de una muestra se pueda calcular un valor esperado tal que el estadístico pueda ser considerado como un “idealización” de un grupo más grande de individuos (Blanco, 2010).

Estrato	No tratados	Tratados	Total
1	12	5	17
2	157	23	180
3	327	80	407
4	235	0	235
5	131	0	131
6	3	0	3
Total	865	108	973

Tabla 3: Unidades prediales con consumo de energía licenciadas desde el año 2015 por estratos después de hacer correcciones a la unión de las bases de datos.

Una muestra es una selección de individuos de un grupo más grande. Del método de selección se puede hablar de la precisión y el sesgo de los estadísticos que se calculan con base en la muestra para representar el comportamiento del grupo más grande, el universo. En este caso, el universo son todos los predios en edificaciones que aplicaron la Resolución 549 de 2015, la muestra es el conjunto de predios para los cuales hay información confiable, bajo las condiciones expuestas anteriormente.

Si la falta de predios en la muestra corresponde a la actualización de registros administrativos puede existir un sesgo en la composición de la muestra. Esto se debe a que estas edificaciones se vendieron y fueron ocupadas más rápidamente, lo cual puede suceder por diferentes razones. Por ejemplo, las edificaciones están localizadas en sitios con mayor atractivo, una posible mejor relación de precio o ambos factores. Es posible que esto se vea reflejado en diferentes características de la población que habita estas edificaciones. Por lo tanto, en la construcción del grupo de control, edificaciones no tratadas para comparar, se deba tener en cuenta características como los tiempos de ventas del proyecto o la localización.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que comparar predios en edificaciones inmediatamente antes y después de la fecha de corte de la Resolución 549 de 2015 implica comparar edificaciones que no hayan implementado sus disposiciones por la falta de herramientas para fiscalizar su cumplimiento. Una posible solución es la comparación de unidades prediales antes y después de una ventana de tiempo después de la fecha de corte de la norma. Por ejemplo, cabe suponer que el tiempo en que las empresas constructoras adopten las disposiciones de la norma bajo parámetros verificables por el Estado sea un año, sobre esta ventana de tiempo se deben comparar grupos de unidades prediales en edificaciones licenciadas antes de la fecha de corte y un año después de la misma. A su vez,

esto implica un mayor requerimiento de datos, ya que se reduce el grupo de unidades prediales en los grupos de tratamiento según las Tablas 1 y 2.

A la luz de los datos disponibles, para realizar este estudio con todas las herramientas estadísticas necesarias se requiere mayor actualización de los registros administrativos. En este momento, para el grupo de edificaciones tratadas en estratos más altos se tienen 23 unidades prediales con consumo de agua y ninguna con consumo de energía.

5. Resultados

A pesar de la limitación de datos para este estudio, se realizaron algunos análisis para verificar que las unidades prediales con consumos de agua identificadas en la muestra cumplen con el supuesto de no diferencias sistemáticas entre los grupos a ambos lados de la fecha de corte de la norma y para generar con los datos la Figura 1.

Inicio	Fin	No tratados	Tratados
Desde 2012	Hoy	12,483	220
Desde 2013	Hoy	7,669	220
Desde 2014	Hoy	3,581	220
Desde 2015	Hoy	1,156	220
Desde 2016	Hoy	276	220
Año 2016		276	158
Entre abril y septiembre 2016		154	110
Entre mayo y agosto 2016		81	58

Tabla 4: Unidades prediales con consumo de agua por intervalos de tiempo.

La Tabla 4 muestra cómo se reduce sucesivamente la cantidad de unidades prediales en el grupo de comparación cuando se reduce el periodo de tiempo considerado. Se toma en cuenta estos intervalos de tiempo para comparar las tendencias de consumo entre los dos grupos. Se realizaron pruebas de diferencias de medias sobre variables observables de las edificaciones, como tamaño de los predios y avalúos catastrales.

Para el tamaño de los predios no se encuentran diferencias estadísticamente significativas sobre los promedios entre los dos grupos para ninguna de las ventanas de tiempo si se comparan los predios en edificaciones de propiedad horizontal. Se obtienen los mismos

resultados si se tiene en cuenta todos los predios, tanto como propiedad horizontal como no propiedad horizontal.

Respecto a la variable valor del metro cuadrado construido se encuentran diferencias estadísticamente significativas para todas las ventanas de tiempo. En las ventanas de tiempo más grandes, que inician entre los años 2012 y 2015, la diferencia es positiva para el grupo de predios no tratados, es decir que en promedio los predios licenciados antes de la norma muestran mayor valor de avalúo en el componente de construcción. Todos los avalúos son del año 2018, por tanto, estas unidades monetarias tienen el mismo valor económico. Esto puede estar recogiendo, por ejemplo, aumentos en la valorización por inversión en obras públicas o la presencia de nuevos equipamientos respecto a las zonas con edificaciones más recientes. Esto reafirma la necesidad de hacer una selección de predios en edificaciones no tratadas de comparación en zonas con características urbanísticas comparables, especialmente si se va medir el efecto con una ventana de tiempo más amplia. Para ventanas de tiempo más pequeñas también se encuentran diferencias significativas, pero positivas para los predios licenciados después de la fecha de corte de la norma. Esto quiere decir que el avalúo puede estar capturando el precio de salida del predio y tiene las mismas implicaciones que el caso anterior.

Estos análisis se hacen a modo exploratorio y no constituyen un resultado que conteste a la pregunta de investigación por cuanto la muestra no tiene poder estadístico, como se enunció de manera conceptual en el apartado Datos.

De las Figuras 2 a 7 se muestra el comportamiento de la tendencia del consumo de agua en las diferentes ventanas de tiempo consideradas en la Tabla 3. Las pruebas de diferencias de media para cada ventana no muestran ninguna diferencia estadísticamente significativa entre el consumo de agua en las diferentes combinaciones de estos grupos.

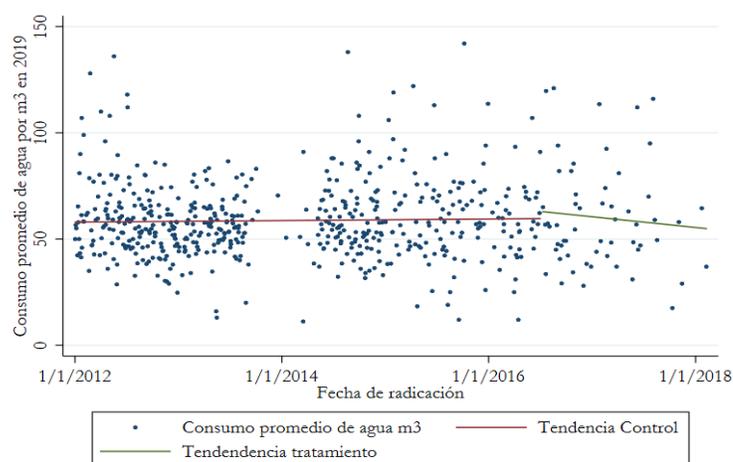


Figura 2: Tendencia de consumo de agua por grupos antes y después de la fecha de corte de la Resolución 549 de 2015 desde el año 2012 hasta hoy.

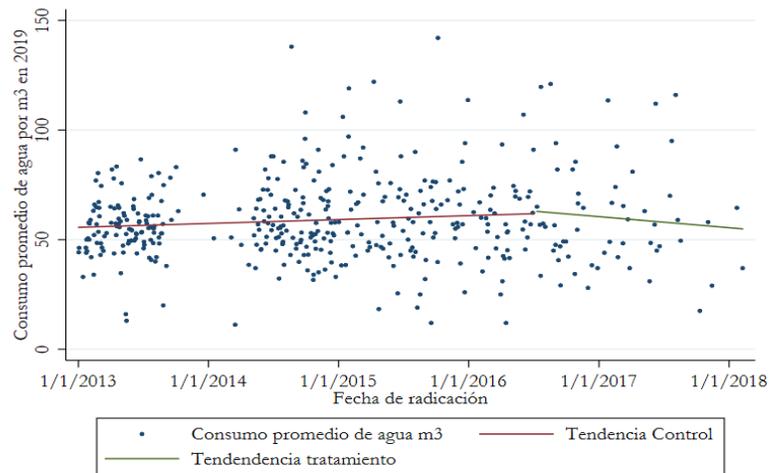


Figura 3: Tendencia de consumo de agua por grupos antes y después de la fecha de corte de la Resolución 549 de 2015 desde el año 2013 hasta hoy.

Esto indica que no hay evidencia de que se cumpla la hipótesis principal de este estudio. En otras palabras, aun no se puede observar una discontinuidad en el consumo de agua o energía eléctrica y que esto sea una causa de la Resolución 549 de 2015. Tampoco se puede inferir algún comportamiento particular en la tendencia del consumo.

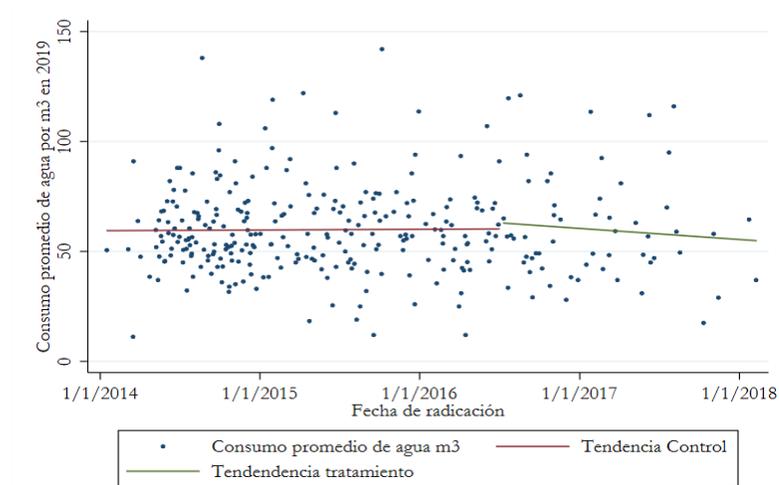


Figura 4: Tendencia de consumo de agua por grupos antes y después de la fecha de corte de la Resolución 549 de 2015 desde el año 2014 hasta hoy.

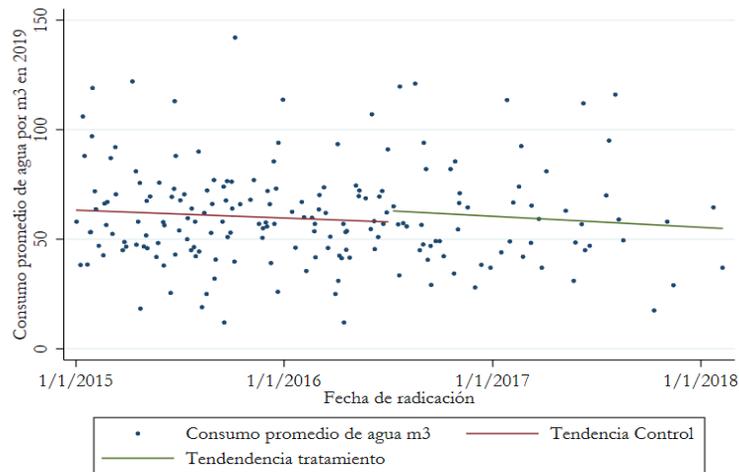


Figura 5: Tendencia de consumo de agua por grupos antes y después de la fecha de corte de la Resolución 549 de 2015 desde el año 2015 hasta hoy.

En las Figuras 6 y 7 se muestran las tendencias de consumo para grupos uno y dos meses antes y después de la fecha de corte respectivamente. Como se muestra en la Tabla 3 y se concluye del apartado Datos, la cantidad de unidades prediales no permite hacer inferencias estadísticas sólidas, pero permiten explorar de manera preliminar si existe alguna tendencia en la muestra disponible. De la Figura 6 se puede plantear una no-linealidad en el consumo de agua antes y después de la fecha de corte de la norma, pero esto no logra confirmarse con lo observado en la Figura 7.

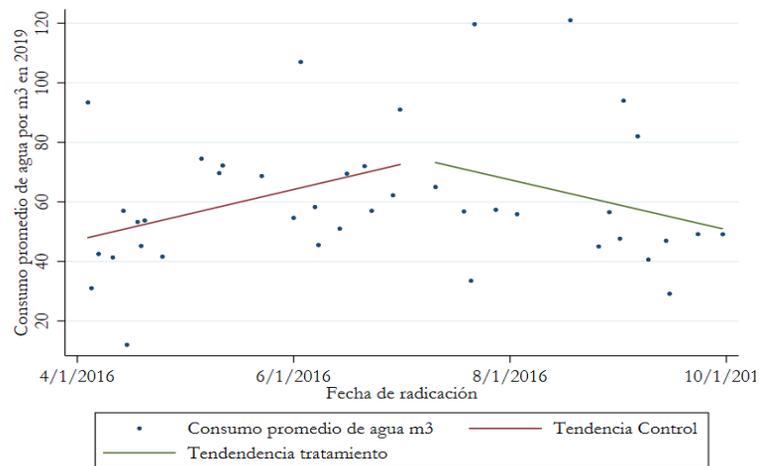


Figura 6: Tendencia de consumo de agua por grupos antes y después de la fecha de corte de la Resolución 549 de 2015 desde el año 2016 hasta hoy.

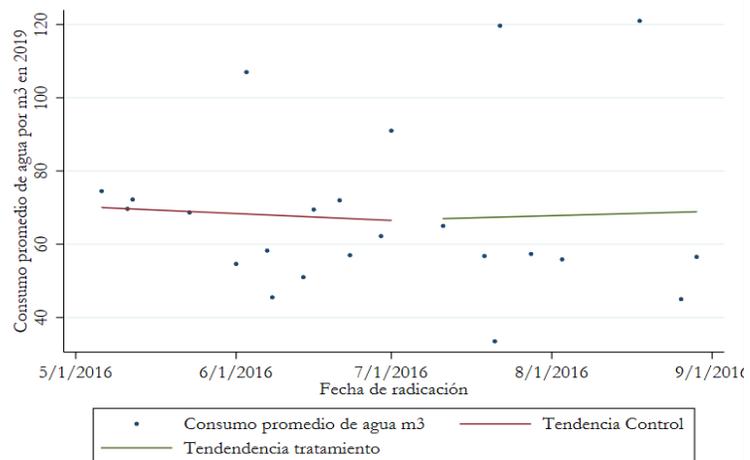


Figura 7: Tendencia de consumo de agua por grupos antes y después de la fecha de corte de la Resolución 549 de 2015 entre mayo y agosto de 2016.

También, de manera exploratoria, se realizaron los cálculos de las ecuaciones 1 y 2 con los datos disponibles. Se obtienen resultados poco robustos. Con un ancho de banda de un mes, que corresponden a 37 y 42 unidades prediales a la izquierda y a la derecha de la fecha de corte respectivamente, se registra un consumo de 4.5 metros cúbicos menor en los predios de edificaciones licenciadas después de la fecha de corte de la norma en la posible discontinuidad. Los predios a la izquierda de la posible discontinuidad consumen en promedio 71.11 metros cúbicos y los de la derecha de la posible discontinuidad consumen 66.65 metros cúbicos. Esta cifra no se puede entender como estadísticamente distinta de cero ya que no se encuentra evidencia de que exista discontinuidad del consumo en la fecha de corte tanto en los gráficos mostrados como en la verificación del supuesto de discontinuidad en el punto de corte para la variable dependiente, consumo de agua.

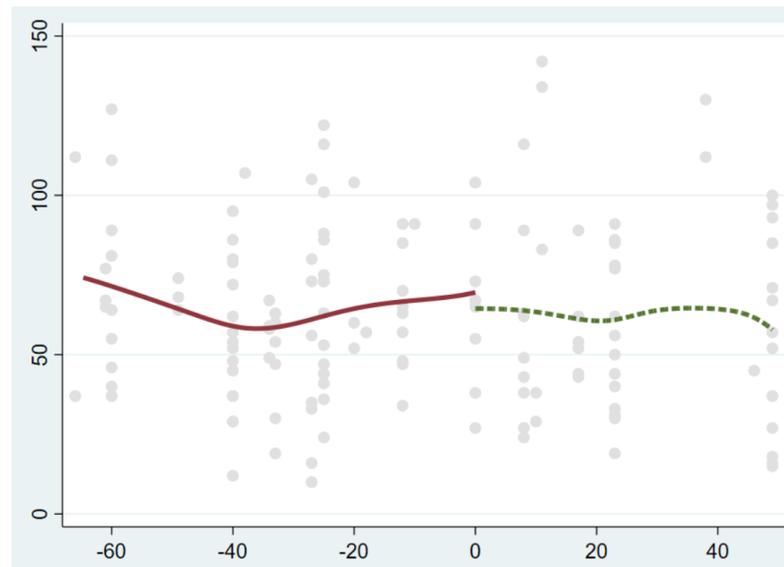


Figura 8: Tendencia no lineal de consumo de agua por grupos antes y después de la fecha de corte de la Resolución 549 de 2015 entre mayo y agosto de 2016. Generado por el comando `rd_obs` en Stata. El eje x es la cantidad de días antes y después de la fecha de corte de la norma y el eje y los metros cúbicos consumidos en promedio por los predios licenciados por día.

6. Conclusiones

La evaluación de impacto de políticas públicas de construcción sostenible es poco frecuente. En contraste, es frecuente la evaluación de los efectos de las certificaciones voluntarias de ecoeficiencia sobre los precios de las edificaciones en el contexto de países desarrollados. La motivación de este estudio se fundamenta en la necesidad de entender cómo se están adoptando las normas de la Política Pública de Ecurbanismo y Construcción sostenible de Bogotá y sus normas relacionadas.

Aunque la administración distrital tenga acceso a una importante cantidad de datos sobre la actividad de construcción y el consumo de servicios públicos, la actualización de los registros administrativos es una limitante importante en la realización de esta clase de estudios. Esto se concluye del cruce y unión de la información de las bases prediales de la UAECD, las bases de consumo de agua y energía de la EAAB y ENEL – Codensa y la información de las licencias de construcción disponible en la Secretaria Distrital de Planeación a través de las curadurías urbanas. Con el resultado de este cruce y unión no se puede inferir estadísticamente el efecto de la Resolución 549 de 2015 en el consumo de agua y energía eléctrica en Bogotá.

Se hace evidente la necesidad de actualizar los registros administrativos para poder realizar este estudio con los requerimientos estadísticos necesarios para tal fin. Como resultado, se ofrece una metodología que permitiría inferir el impacto de la Resolución 549 de 2015 en

los consumos de agua y energía eléctrica. La metodología requiere que se construyan grupos de comparación de tal manera que se reduzca algún sesgo por los hábitos de consumo de las personas a través de las características de las edificaciones seleccionadas, especialmente su ubicación, avalúo, tamaño y aspectos sociales de la población de la zona.

La realización de este estudio permitió el procesamiento de una gran cantidad de datos que pueden ser utilizados para emprender una línea de investigación sobre los aspectos económicos de la construcción de vivienda, su distribución espacial, la identificación de sus características por medio de los consumos de servicios públicos y aspectos ambientales como la reducción de estos consumos.

Bibliografía

- Aroul, R., & Rodriguez, M. (2017). Obtaining Better Sustainability Data for Hedonic Analysis. *Journal of Real Estate Literature*, 25(2), 429–443.
- Bernal, B., & Peña, X. (2014). *Guía práctica para la evaluación de impacto*. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Economía, Centro de Estudios Económicos sobre Desarrollo Económico; Ediciones Uniandes.
- Blanco, L. (2010). *Probabilidad*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.
- Cajias, M., Geiger, P., & Bienert, S. (2012). Green agenda and green performance: Empirical evidence for real estate companies. *Journal of European Real Estate Research*, 5(2), 135–155. <https://doi.org/10.1108/17539261211250717>
- Deng, Y., Li, Z., & Quigley, J. M. (2012). Economic returns to energy-efficient investments in the housing market: Evidence from Singapore. *Regional Science and Urban Economics*, 42(3), 506–515. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2011.04.004>
- Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Pacto por la sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo*. Departamento Nacional de Planeación. Recuperado de: <https://www.dnp.gov.co/DNPN/Plan-Nacional-de-Desarrollo/Paginas/Pactos-Transversales/Pacto-por-la-sostenibilidad/Sostenibilidad.aspx>
- Djokoto, S. D., Dadzie, J., & Ohemeng-Ababio, E. (2014). Barriers to sustainable construction in the ghanaiian construction industry: Consultants perspectives. *Journal of Sustainable Development*, 7(1), 134–143. <https://doi.org/10.5539/jsd.v7n1p134>
- Djokoto, S. D., Dadzie, J., & Ohemeng-Ababio, E. (2014). Barriers to sustainable construction in the ghanaiian construction industry: Consultants perspectives. *Journal of Sustainable Development*, 7(1), 134–143. <https://doi.org/10.5539/jsd.v7n1p134>

- Eichholtz, P., Kok, N., & Yonder, E. (2012). Portfolio greenness and the financial performance of REITs. *Journal of International Money and Finance*, 31(7), 1911–1929. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2012.05.014>
- Fizaine, F., Voye, P., & Baumont, C. (2018). Does the literature support a high willingness to pay for green label buildings? An answer with treatment of publication bias. *Revue d'Economie Politique*, 128(5), 1013–1046. <https://doi.org/10.3917/redp.285.1013>
- Freybote, J., Sun, H., & Yang, X. (2015). The Impact of LEED Neighborhood Certification on Condo Prices. *Real Estate Economics*, 43(3), 586–608. <https://doi.org/10.1111/1540-6229.12078>
- Fuerst, F., & Shimizu, C. (2016). Green luxury goods? The economics of eco-labels in the Japanese housing market. *Journal of the Japanese and International Economies*, 39, 108–122. <https://doi.org/10.1016/j.jjie.2016.01.003>
- He, J., & Wu, J. (2016). Doing well by doing good? The case of housing construction quality in China. *Regional Science and Urban Economics*, 57, 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2016.01.003>
- Hwang, B. G., Zhu, L., Wang, Y., & Cheong, X. (2017). Green Building Construction Projects in Singapore: Cost Premiums and Cost Performance. *Project Management Journal*, 48(4), 67–79. <https://doi.org/10.1177/875697281704800406>
- Liao, W. C., & Zhao, D. (2019). The selection and quantile treatment effects on the economic returns of green buildings. *Regional Science and Urban Economics*, 74(May 2017), 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2018.11.002>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2019). *Construcción Sostenible*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/cambio-climatico/mitigacion/construccion-sostenible>
- Serpell, A., Kort, J., & Vera, S. (2013). Awareness, Actions, Drivers and Barriers of Sustainable Construction in Chile. *Technological and Economic Development of Economy*, 19(2), 272–288. <https://doi.org/10.3846/20294913.2013.798597>
- Yau, Y., & Chiu, S. M. (2012). Economics of sustainable built environment: Case studies in Hong Kong's private housing market. *Sustainable Development: New Research*, (January 2013), 178–191.
- Zhang, L., Wu, J., & Liu, H. (2018). Turning green into gold: A review on the economics of green buildings. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2234–2245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.188>

Imbens, G. W., & Lemieux, T. (2008). Regression discontinuity designs: A guide to practice. *Journal of Econometrics*, 142(2), 615–635.
<https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.001>

www.sdp.gov.co

 @planeacionbog

 PlaneacionBogota

Alcaldía de Bogotá