



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

VALORACION DE AMENIDADES URBANAS MEDIANTE PRECIOS HEDONICOS: EL CASO DE SANTIAGO DE CHILE

RODRIGO ANDRES VEGA FLORES

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
JUAN DE DIOS ORTUZAR SALAS

Santiago de Chile, Mayo, 2017

© 2017, Rodrigo Andrés Vega Flores



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

VALORACION DE AMENIDADES URBANAS MEDIANTE PRECIOS HEDONICOS: EL CASO DE SANTIAGO DE CHILE

RODRIGO ANDRES VEGA FLORES

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

JUAN DE DIOS ORTUZAR SALAS

LUIS IGNACIO RIZZI CAMPANELLA

MARGARITA GREENE ZUÑIGA

LUIS ABDON CIFUENTES LIRA

JOSÉ MIGUEL CEMBRANO PERASSO

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Mayo, 2017

A mis padres, que hicieron mi camino
más fácil, y a Tatiana, que me apoyó
cuando no lo fue.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de forma especial a mi profesor supervisor Juan de Dios Ortúzar, quién me abrió la puerta al Magíster y siempre estuvo disponible para resolver mis dudas. Gracias también a Margarita Greene, Luis Rizzi, Luis Cifuentes, Ricardo Hurtubia, Rodrigo Mora y Hugo Silva, por el tiempo que se dieron para responder mis preguntas y hacer valiosos comentarios sobre esta tesis, que guiaron mi camino para obtener los mejores resultados posibles.

Agradezco además a Tomás Cox, por facilitarme una base de datos sin la cual no habría podido hacer este trabajo, a Natan Waintrub por esas interminables y dispersas conversaciones que aportaron excelentes observaciones sobre esta investigación, y al Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS, CONICYT/FONDAP 15110020) por su apoyo.

Deseo reconocer a mis padres, quienes me dieron todas las herramientas que pudieron para permitirme llegar hasta aquí, e hicieron cuanto estuvo a su alcance para facilitar mi vida; además de escucharme y acompañarme siempre.

Finalmente agradecer a Tatiana, quién estuvo conmigo desde el principio de este proceso, apoyándome en los momentos difíciles, soportándome cuando estuve estresado y dándome un enfoque distinto sobre la vida.

INDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCION	11
2. REVISION DE LITERATURA	14
3. MARCO TEORICO	17
3.1. Precios hedónicos	17
3.2. Regresión lineal	18
3.3. Endogeneidad	18
3.4. Heteroscedasticidad	19
3.5. Test utilizados	20
4. DATOS DISPONIBLES.....	22
4.1. Tasaciones de propiedades	22
4.1.1. Definición de áreas de interés	23
4.1.2. Variables disponibles	25
4.1.3. Variables construidas	25
4.1.4. Depuración	26
4.1.5. Limitaciones.....	27
4.2. Amenidades urbanas	28
4.2.1. Supermercados	29
4.2.2. Centros comerciales	30
4.2.3. Hidrografía	30
4.2.4. Parques y plazas	30

4.2.5. Grandes parques.....	31
4.2.6. Colegios	31
4.2.7. Universidades.....	31
4.2.8. Hospitales y clínicas	32
4.2.9. Ciclovías	32
4.2.10. Paraderos.....	32
4.2.11. Corredores de buses.....	32
4.2.12. Trazados de tren y Metro.....	34
4.2.13. Estaciones de Metro.....	35
4.2.14. Trazados de autopistas.....	35
4.2.15. Accesos y salidas de autopistas	36
4.2.16. Zonas de atracción de viajes.....	36
4.3. Estadísticos descriptivos	37
4.3.1. Total de los datos	38
4.3.2. Datos años 2015 y 2016.....	41
5. MODELACION.....	42
5.1. Hipótesis de modelación y formas funcionales	42
5.2. Modelos lineales	47
5.3. Estratificación por distancia.....	48
5.4. Inclusión de variación sistemática por tipo de propiedad.....	48
5.5. Inclusión de variación sistemática por localización.....	48
5.6. Inclusión de zonificación	49
5.7. Modelos logarítmicos	49
5.8. Modelos mixtos.....	50
5.9. Modelo de dos ciudades.....	50
5.10. Modelo con tasación por superficie construida	51
5.11. Mejor modelo.....	51
6. RESULTADOS Y DISCUSION	55
6.1. Análisis del modelo.....	55
6.1.1. Efectos por ingreso medio zonal por hogar	55
6.1.2. Efectos por superficie	56
6.1.3. Efectos por tiempo	57
6.1.4. Efectos por amenidades	58
6.1.5. Efectos por localización.....	65

6.1.6. Comparación de efectos	68
6.2. Validación del modelo	69
6.3. Ejemplos de aplicación.....	70
6.3.1. Ciclovías	71
6.3.2. Corredores de buses	72
6.3.3. Trazados de tren y metro	73
6.3.4. Estaciones de Metro	74
6.3.5. Trazados de autopistas	74
6.3.6. Parques y plazas	75
6.3.7. Grandes parques.....	75
6.4. Discusión.....	76
7. CONCLUSIONES.....	78
BIBLIOGRAFIA.....	80
A N E X O S.....	86
ANEXO A: DESCRIPCION DE CICLOVIAS	87
ANEXO B: DESCRIPCION DE EJES DE CONTROL.....	89
ANEXO C: VARIABLES DE LAS PROPIEDADES.....	90
ANEXO D: VARIABLES CONSTRUIDAS	91
ANEXO E: MAPAS DE AMENIDADES URBANAS.....	92
ANEXO F: ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS PROPIEDADES	108
ANEXO G: ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS DISTANCIAS	109
ANEXO H: LOCALIZACION POR COMUNA	111
ANEXO I: MODELO CON ESTRATIFICACIÓN POR DISTANCIA	112
ANEXO J: MODELO CON VAR. SISTEMÁTICA POR LOCALIZACIÓN	113
ANEXO K: MODELO CON ZONIFICACIÓN.....	114

ANEXO L: MODELO LOGARÍTMICO	115
ANEXO M: MODELO MIXTO	116
ANEXO N: MODELO DE DOS CIUDADES	117

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 5-1: Mejor modelo.....	52
Tabla 6-1: Comparación de efectos.....	68
Tabla 6-2: Elasticidades del precio	69
Tabla I-1: Modelo con estratificación por distancia.....	112
Tabla J-1: Modelo con variación sistemática por localización	113
Tabla K-1: Modelo con zonificación	114
Tabla L-1: Modelo logarítmico	115
Tabla M-1: Modelo mixto	116
Tabla N-1: Mejor de dos ciudades	117

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 4-1: Ejes y zonas de interés.....	24
Figura 5-1: Variable con utilidad marginal decreciente.....	44
Figura 5-2: Variable con comportamiento complejo	45
Figura 6-1: Efecto por ingreso medio zonal por hogar	56
Figura 6-2: Efecto por coeficiente de superficie	57
Figura 6-3: Efecto por antigüedad de la propiedad	57
Figura 6-4: Efecto por vida útil de la propiedad	58
Figura 6-5: Efecto por ciclovía en la propiedad.....	59
Figura 6-6: Efecto por corredor de buses en la propiedad	60
Figura 6-7: Efecto por trazado de tren o metro en la propiedad	60
Figura 6-8: Efecto por estación de metro en la propiedad	61
Figura 6-9: Efecto por trazado de autopista en la propiedad.....	62
Figura 6-10: Efecto por parque o plaza en la propiedad	63
Figura 6-11: Efecto por gran parque en la propiedad.....	63
Figura 6-12: Efecto por hospital o clínica en la propiedad	64
Figura 6-13: Efecto por colegio en la propiedad.....	65
Figura 6-14: Efecto por distancia al Centro (localización) en la propiedad.....	66
Figura 6-15: Efecto por distancia a Providencia (localización) en la propiedad	67
Figura 6-16: Efecto por distancia a <i>Sanhattan</i> (localización) en la propiedad	67

RESUMEN

Esta tesis tiene por objetivo cuantificar el impacto que generan las ciclovías (incluyendo ciclobandas y otros tipos de ciclo-rutas) y otras amenidades urbanas, en el precio de las viviendas. Para hacerlo se utilizó la técnica de *precios hedónicos*, en que se relacionan matemáticamente los atributos de una propiedad con su precio. Su aplicación requirió la construcción de una base de datos georreferenciada sobre diversas amenidades urbanas, incluyendo las ciclovías, en la ciudad de Santiago. Con dicha información, se formularon modelos con distintas formas funcionales, cuyos coeficientes se determinaron a través de regresión lineal multivariada. Los resultados sugieren que no existen diferencias estadísticamente significativas entre distintos tipos de ciclovías. Sin embargo, se encontró un efecto de hasta un 4,0% y un 1,8% en promedio (en una vecindad de 700m) en el precio de la vivienda al agruparlas y utilizar una forma funcional compleja en el que el máximo impacto se encuentra desplazado a 100 metros de la amenidad. También se midió los efectos máximos y medios de otras amenidades urbanas, los que respectivamente son: -6,5% y -1,6% en corredores de buses, -14,3% y -3,5% en trazado de tren o Metro en superficie o elevado, 19,4% y 4,3% en estaciones de Metro, -11,8% y -2,9% en trazado de autopistas en superficie o elevadas, 5,0% y 2,2% en parques o plazas, y 6,3% y 2,9% en grandes parques. Estos resultados sugieren que la consideración de los beneficios de este tipo de amenidades en evaluación social de proyectos no son en absoluto despreciables y debieran incorporarse a la brevedad.

Palabras Claves: precios hedónicos, amenidades urbanas, ciclovías, corredores de buses, Metro, autopistas urbanas, parques, plazas.

ABSTRACT

This thesis had as objective to quantify in money the impacts that produce the cycle-ways (including cycle-paths and other types of cycle-routes), to use it for social evaluation of projects. In order to do that, the Hedonic Price technic was used, in which the price of a property is mathematically related to its attributes. Its application needed the build of a georeferenced data base of diverse urban amenities, moreover of the cycle-facilities. With such information, different functional forms were modelled, whose coefficients were determined through multivariate linear regressions. The results shows that there is no statistically significant differences between distinct types of cycle-facilities, so that wasn't possible to go deeper in that aspect nor evaluate in detail particular designs. However, it was found an effect up to 7.2% and 5.5% in average (in a neighbourhood of 700m) by grouping them and utilizing a complex functional form in which the maximum impact is 100 meters displaced from the amenity. Also, the maximums and average effects of other urban amenities were measured, whose respectively are: -6.5% and -2.1% in bus corridors, -14.3% and -3.5% in superficial train or metro layout, 19.4% and 4.3% in metro stations, -11.8% and -2.9% in superficial freeway layout, 5.0% and 2.2% in parks or squares, and 6.3% and 2.9% in big parks. This results suggest that the consideration of the benefits of this kind of amenities in social evaluation are not at all negligible and should be incorporated as soon as possible.

Keywords: hedonic price, cycle-ways, urban amenities, bus corridors, Metro, urban freeways, park, squares.

1. INTRODUCCION

En la última década, Santiago ha experimentado un rápido incremento en el uso de la bicicleta como modo de transporte, pasando de una partición modal de 2,1% en 2001 a 3,9% en 2012 (SECTRA, 2015). Dicho proceso ha ido de la mano con un incremento en la provisión de infraestructura para ciclistas, que ha permitido evidenciar las falencias del país en cuanto a evaluación social de proyectos de esta índole.

La fragmentada estructura política de la ciudad, junto a la dificultad de justificar apropiadamente las inversiones, ha favorecido el desarrollo de ciclovías¹ inconexas y sin un estándar adecuado. Este último aspecto ha recibido recientemente mayor atención por parte del gobierno, lo que llevó al desarrollo del Manual de Vialidad Ciclo Inclusiva (MINVU, 2015), que esboza buenas prácticas de diseño.

Sin embargo, la evaluación social de este tipo de infraestructura aún no es abordada de forma apropiada, limitándose básicamente a la determinación de los impactos asociados a sacar a los ciclistas de las vías para transporte motorizado y los asociados a la eventual reducción de pistas para los mismos (SECTRA & MIDEPLAN, 2009; SECTRA & MDS, 2013). No obstante, es posible intuir que hay otros efectos, como la mejora en la salud de quienes pasan de ser sedentarios a hacer deporte o la disminución en la emisión de contaminantes por parte de quienes dejan de usar el transporte motorizado, que no son capturados por la actual metodología de evaluación social.

La presente tesis tiene por objetivo ***desarrollar un modelo matemático que permita cuantificar monetariamente el efecto de diversas amenidades urbanas en el precio de las***

¹ De aquí en adelante, se entenderán como ciclovías a todas las diversos tipos de ciclo-rutas, independiente de la forma de segregación que tengan, incluyendo ciclobandas y otras ciclo-facilidades.

viviendas, a fin de determinar si su magnitud justifica el esfuerzo que debiera hacerse para incluir este tipo de efectos en la evaluación social de proyectos. Para lograrlo, se utilizará la técnica de *precios hedónicos* (Harrison & Rubinfeld, 1978; Rosen, 1974), bajo la hipótesis que existe un efecto estadísticamente significativo en el valor de las propiedades por parte de las diversas amenidades urbanas.

Como parte de este proceso, es imprescindible contar con una base de datos de propiedades en que se indique su precio, ubicación y la mayor cantidad de atributos adicionales que posibiliten la construcción del modelo. Debido a que no fue posible acceder a información masiva respecto a ventas reales, se consideró la alternativa de las tasaciones, que aunque tienen un error adicional, este se considera muy pequeño, pues se basan en ventas reales de propiedades similares. Además, se debe identificar y georreferenciar las ciclovías de la ciudad de Santiago, así como cualquier otra amenidad urbana que pueda ser relevante en el cálculo del precio de una propiedad (como parques, plazas, colegios, universidades, hospitales, clínicas, supermercados, centros comerciales, paraderos de buses, corredores de buses, líneas de metro, autopistas y centros de atracción de viajes), a fin de estimar la distancia entre cada propiedad y cada tipo de amenidad urbana. Por último, se tendrá que encontrar la forma funcional más apropiada para cada variable, de forma que el modelo sea capaz de replicar la relación entre el precio de la propiedad, sus atributos intrínsecos, la distancia a las diferentes amenidades urbanas, el ingreso medio zonal por hogar de su entorno y su localización.

Dada la riqueza de los datos requeridos para la correcta elaboración del modelo de precios hedónicos, se espera que los resultados no solo puedan usarse para la cuantificación de ciclovías, sino también para la de cualquier otra amenidad urbana que sea estadísticamente

relevante en el modelo. Una aplicación adicional esperable, es la capacidad de estimar el precio de una propiedad a partir de las variables del modelo, lo cual puede tener usos a nivel privado, especialmente en empresas dedicadas a la tasación. Este último aspecto no se analizará en detalle en este trabajo, pues es escapa del objetivo inicial con que fue elaborado. La tesis se encuentra organizada en siete capítulos. En el siguiente se presenta una revisión de la bibliografía relacionada a los precios hedónicos y otras técnicas que pueden utilizarse para capturar los costos o beneficios asociados a un proyecto. En el tercer capítulo se muestra el marco teórico, en el cual se detallan los fundamentos de la metodología utilizada en la investigación. En el cuarto capítulo se describen los datos recopilados, en base a los cuales se desarrolló la modelación matemática. En el quinto capítulo se presenta el proceso de modelación mediante el cual se determinaron las variables estadísticamente significativas en la determinación del precio de una propiedad y la forma funcional que tiene su relación. En el sexto capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos, la validación de los mismos y ejemplos de su aplicación para la valoración proyectos específicos. Por último, en el capítulo siete, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la tesis.

2. REVISION DE LITERATURA

La evaluación social de proyectos es fundamental para un apropiado uso de los escasos recursos. Determinar los costos y beneficios asociados a la construcción de infraestructura de transporte puede ser muy complejo, especialmente cuando están relacionados a modos de transporte por los que no se paga (como la bicicleta) o cuando existen impactos sobre aspectos difíciles de cuantificar (como cambios en la imagen de un barrio).

Probablemente es por eso que en Chile, la metodología de evaluación social de ciclovías se limita, simplemente, a cuantificar los ahorros de tiempo de viaje de los automovilistas producto de sacar ciclistas de la calzada, las pérdidas de tiempo de los primeros si se reduce el número de pistas disponibles para su circulación y los ahorros de tiempo de los peatones que pasan a ser ciclistas y, en consecuencia, incrementan su velocidad de viaje (SECTRA & MIDEPLAN, 2009; SECTRA & MDS, 2013).

No obstante, es de esperarse que existen otros beneficios asociados a la construcción de ciclovías; por ejemplo, cambios en la imagen de un barrio, mejoras de accesibilidad, mejoras en la salud de las personas, disminución de la emisión de contaminantes producto de la reducción de circulación de vehículos motorizados, disminución del ruido, y eventualmente otros.

Para determinar el valor monetario de la suma neta de todos los efectos producidos asociados a una ciclovía, existen dos alternativas: *preferencias declaradas* (PD) y *preferencias reveladas* (PR). En el primer caso (Louviere *et al.*, 2000), es necesario diseñar encuestas que pongan al entrevistado en escenarios hipotéticos de elección entre diversas alternativas con características particulares, y un problema importante es qué puede considerarse un medio de pago adecuado. Posteriormente, se pueden analizar las respuestas para definir, directa o

indirectamente (si no se logra identificar un medio de pago creíble por los encuestados) cuál es la disposición a pagar por la ciclovía. Una técnica similar es la del *valor de opción*, que difiere de la anterior en que se hace elegir al entrevistado entre escenarios que indican el costo real de construir la infraestructura; ésta se ha aplicado en la evaluación de infraestructura peatonal en Puerto Montt (Moreno & Gálvez, 2015) pero aunque el costo específico es más ceñido a la realidad, la decisión sobre en qué gastar un cierto presupuesto que no es propio, no es muy realista.

Por otro lado, las PR requieren observar una decisión real tomada por los individuos. Dado que los proyectos de ciclovías se suelen ubicar en el suelo urbano, el cual es un bien único asociado a un espacio físico y localización específica en la ciudad (Alonso, 1960), y dado que existen beneficios de accesibilidad producto de la infraestructura, es posible concluir que debieran impactar el valor del suelo (Alonso, 1964; Muth, 1969). En consecuencia, el mercado del suelo debiera ser capaz de reflejar los efectos ocasionados por ciclovías y otras amenidades. Para calcularlos, es posible utilizar la técnica de *precios hedónicos* (Harrison & Rubinfeld, 1978; Rosen, 1974), que parte de la hipótesis que existe, y es posible determinar, una relación matemática entre el precio de las propiedades y los atributos de las mismas.

Si se considera cierto este supuesto, entonces el valor de una propiedad debiera depender de diversas amenidades urbanas además de sus atributos intrínsecos. Por lo tanto, para poder desarrollar un modelo matemático lo más fiel posible a la realidad, es necesario considerar todos los efectos posibles, y no basta con solo analizar una amenidad en específico.

En el interés de utilizar los resultados como potencial herramienta de diseño, se decidió identificar las ciclovías separadas según sus características específicas: direccionalidad

(unidireccional o bidireccional), ubicación (calzada, acera o parque), segregación (física o visual) y materialidad (asfalto, cemento o maicillo). El objetivo era poder determinar un valor en dinero específico asociado a cada tipo de ciclovía, el cual pudiese relacionarse posteriormente con la percepción de los usuarios respecto a cada diseño.

La metodología desarrollada es análoga a la empleada por Jensen (2007), quien usó encuestas de PD para determinar un indicador que llamó BLOS, *Bicycle Level of Service* (nivel de servicio de bicicletas); este permite calificar una ciclovía en base a sus atributos físicos. Así, en principio es posible relacionar el valor de un diseño específico de ciclovía con un valor en dinero, permitiendo diferenciarlo monetariamente de los beneficios proporcionados por otros diseños.

Una dimensión adicional que se puede abordar al determinar los efectos que tienen las amenidades urbanas en las propiedades, es la posibilidad de capturar al menos una parte de ese beneficio por parte del Estado. En el caso de infraestructura de transporte, el beneficio es normalmente capitalizado por el dueño del terreno (Martínez, 1995). Como indican Agostini & Palmucci (2008a, 2008b), es posible observar esta situación en el Metro de Santiago, donde la ciudad obtiene ganancias producto de las reducciones de tiempos de viajes y expansión de la red, mientras que los dueños de las propiedades cercanas a las estaciones perciben un aumento de capital como consecuencia de un incremento en las plusvalías. Si se pudiera capturar dichas plusvalías, sería posible utilizarlas para financiar los mismos proyectos que las generan. Cabe destacar que los métodos para realizar este procedimiento necesitan de un profundo análisis técnico, y están fuera del alcance de esta tesis, la cual se limitará a determinar aproximadamente cuál podría ser el valor de la plusvalía.

3. MARCO TEORICO

3.1. Precios hedónicos

Los modelos de *precios hedónicos* son relaciones matemáticas entre los atributos de una propiedad y su precio. Existen atributos intrínsecos, es decir, asociados a la propiedad en específico (superficie del terreno, superficie construida, antigüedad, material de construcción, vida útil, número de habitaciones, entre otros) y también existen atributos externos, que dependen de la localización de la propiedad y las amenidades urbanas en su entorno. Las amenidades urbanas son todas aquellas facilidades disponibles para el uso público, sean o no de pago, como parques, supermercados, colegios e infraestructuras de transporte. Su influencia sobre el precio de la propiedad es función de la densidad que tengan en su entorno y/o de la distancia a la más cercana. Inclusive, es posible determinar efectos sobre el valor de las propiedades debido al tipo de propiedad (casa, departamento, entre otros) y al volumen de tráfico de la calle en la que se ubican (Bell & Bowman, 2008).

Para relacionar el precio de las propiedades con sus atributos es posible utilizar diversas formas funcionales, pero existen algunas más comúnmente usadas debido su justificación teórica. Un supuesto importante es que las variables tienen un efecto multiplicativo entre sí al momento de determinar el precio de una propiedad (Debrezion *et al.*, 2011; DiPasquale & Wheaton, 1996; Harrison & Rubinfeld, 1978; Hurtubia & Bierlaire, 2014; Kim & Lahr, 2014; McMillen, 2008; Mohammad *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2015). Por lo tanto, las variaciones porcentuales relativas son constantes entre distintas propiedades para cambios iguales en las variables.

Además, suelen atribuirse efectos marginales decrecientes a cualquier atributo, debido a lo cual realizar transformaciones logarítmicas es muy útil (Debrezion *et al.*, 2011; Kim & Lahr, 2014; McMillen, 2008; Sun *et al.*, 2015; Weiberger, 2000; Zhang *et al.*, 2016) y también es habitual incluir variables binarias para ciertos atributos o estratos de atributos. Así, una práctica frecuente es modelar el precio como la multiplicación de los diferentes atributos o sus respectivas formas funcionales y, de esta forma, un cambio específico en un atributo siempre tiene el mismo impacto porcentual sobre la propiedad, independiente de su valor anterior.

3.2. Regresión lineal

Para determinar los coeficientes que acompañan a cada variable o transformación de la misma en el modelo de *precios hedónicos*, es posible utilizar regresión lineal multivariada. Este es un mecanismo robusto y sencillo de aplicar, pero tiene la desventaja de ser, como su nombre lo indica, lineal. Sin embargo, dicha linealidad solo aplica a nivel de los coeficientes, por lo que es posible construir diversas y complejas transformaciones sobre las variables.

3.3. Endogeneidad

Las regresiones lineales se basan en el supuesto que las variables explicativas son independientes de factores no observados (Train, 2009). No obstante, en realidad es posible que ellas se correlacionen entre sí, con los factores no observados e incluso con el error. Como los modelos de *precios hedónicos* se basan en preferencias reveladas, se espera que no exista endogeneidad ocasionada por conductas estratégicas, ya que los datos reflejan decisiones reales y no hipotéticas (Louviere *et al.*, 2005).

Tampoco se piensa que exista endogeneidad producto de decisiones interrelacionadas, lo que ocurre cuando una elección está relacionada con otra hecha con anterioridad. Esto se debe a que para el presente estudio solo se considera el precio de cada vivienda en un instante de tiempo.

Con el objetivo de manejar otras fuentes de endogeneidad, al momento de modelar se incluyó variables que sirvieran de control para otras no observadas, como variables de localización (constantes por comuna y variación sistemática por localización) y socioeconómicas, en particular el ingreso, que en general permiten diferenciar entre diferentes tipos de individuos cuya decisión de compra puede afectar los precios de cada propiedad.

No obstante, es posible que dicho problema pueda estar presente de todas formas y debe tenerse en consideración al momento de analizar los resultados.

3.4. Heteroscedasticidad

Una regresión lineal es heteroscedástica cuando existen diferentes varianzas a lo largo de las observaciones, lo que se traduce en no cumplir una de las hipótesis básicas del modelo. Este fenómeno sucede más frecuentemente cuando existen grandes diferencias en el tamaño de las observaciones. Para minimizar su impacto, en primer lugar se retiraron los valores extremos de la muestra. Cabe destacar que estos tuvieron efectos solo en la magnitud de los coeficientes de las variables, pero no cambian cuáles son significativas, y son valores que resultan difíciles de explicar y se atribuyen a errores de digitación o casos muy particulares alejados del mercado del resto de las propiedades, como mansiones. Además, se utilizó formas funcionales logarítmicas, que presentan la ventaja que, al modelarse como regresiones lineales, tienen funciones de verosimilitud que distribuyen secante hiperbólica con una varianza definida (notar que las funciones de verosimilitud comunes distribuyen

Cauchy, y no tienen una varianza definida (Mann & Wald, 1943; White, 1958)). En consecuencia, las formas funcionales logarítmicas otorgan un punto fijo para que la varianza de la muestra converja y no se comporte como un número aleatorio, lo que no se consigue con las formas funcionales sin transformación. De esta forma, se sortea el problema de la ineficiencia de los mínimos cuadrados en presencia de heteroscedasticidad.

3.5. Test utilizados

Test t

El test t es una prueba de hipótesis estadística en que la hipótesis nula sigue una distribución t de Student. Tiene diversos usos, pero en la presente investigación se empleará únicamente para determinar si el coeficiente asociado a una variable difiere significativamente de cero. Específicamente, si el valor absoluto del test t del coeficiente de una variable del modelo cuyo signo no se conoce *a priori* es mayor o igual a 1,96, se rechaza la hipótesis nula que dicho coeficiente es cero y por tanto se acepta que el coeficiente es estadísticamente significativo. Si el signo de la variable es conocido, corresponde hacer un test de una cara, y en ese caso el valor crítico de t es 1,64 (Student, 1908).

Coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación, denotado como R^2 , es un número que indica la proporción de la variación de la variable dependiente que es predicha por las variables independientes, por lo que es una excelente medida de bondad de ajuste del modelo. Su valor va de cero a uno, en que uno implicaría que la regresión lineal se ajusta perfectamente a los datos.

Tiene la desventaja de incrementar su valor espuriamente al aumentar el número de variables en el modelo, por lo que Theil (1961) creó el coeficiente de determinación ajustado, denotado como $\bar{R}^2$, que solo incrementa su valor al añadir una nueva variable si ella mejora

el modelo más de lo que lo haría por azar, por lo que es más confiable como medida de bondad de ajuste.

Error absoluto medio

Como el nombre lo sugiere, es el promedio de los errores absolutos, definidos como la diferencia entre los datos observados y los datos esperados. Para emplearlo se requiere una muestra adicional de validación, a la cual se le pueda aplicar el modelo de forma predictiva. Valores más cercanos a cero representan una mejor bondad de ajuste.

Test chi cuadrado

Este test es una medida de bondad de ajuste entre una distribución de frecuencia observada y una distribución teórica. Se calcula como la suma de los errores cuadrados, cuyo valor debe ser menor al de la distribución chi cuadrado con grados de libertad igual al tamaño de la muestra menos uno para aceptar que la distribución propuesta se ajusta apropiadamente a los datos observados (Pearson, 1900). Tiene la desventaja de no ser adimensional, a diferencia del error absoluto medio, lo que asocia el resultado del test al tamaño de los valores que se estén observando.

Test G

El test G es una prueba de razón de log-verosimilitud que también se compara con la distribución chi cuadrado con igual grados de libertad que el tamaño de la muestra menos uno. Se espera que su resultado sea más preciso que el del test chi cuadrado, aun cuando también presenta el problema de la dimensionalidad del resultado (Sokal & Rohlf, 1981).

4. DATOS

Los datos usados correspondientes a las tasaciones y sus características provienen de la consultora inmobiliaria Transsa (2016), e incluyen datos de propiedades de uso habitacional, tanto casas como departamentos. Todas las propiedades se encuentran ubicadas en la ciudad de Santiago de Chile, y fueron tasadas entre enero de 2007 y marzo de 2016. Además de la tasación como tal en Unidades de Fomento (UFs, de aquí en adelante), la base de datos también contiene otros datos, entre los que se puede destacar la ubicación y la superficie construida en metros cuadrados.

Por otro lado, los datos respecto a las amenidades urbanas emanan de diversas fuentes, pero todos se agruparon en un catastro georreferenciado. En particular, para el caso de las ciclovías dicho catastro incluye el año de inauguración, con el objetivo de hacer un análisis anual de las mismas. En base a esa información se calculó la distancia euclidiana desde cada propiedad a la amenidad urbana más cercana y de cada tipo, para ser usada como variable explicativa (directa o indirectamente) en los modelos de *precios hedónicos*.

A continuación se detallan los datos utilizados, separados por tasaciones de propiedades en el apartado 4.1, y amenidades urbanas en el apartado 4.2.

4.1. Tasaciones de propiedades

En el presente punto se describe la base de datos correspondiente a las tasaciones de las propiedades, comenzando por la determinación del área de interés, pasando luego por la descripción de las variables, prosiguiendo por la revisión de las inconsistencias y finalizando por las limitaciones.

4.1.1. Definición de áreas de interés

El presente estudio se enfoca en la ciudad de Santiago de Chile, por lo que se buscó obtener datos de la mayor cantidad de áreas posibles, a fin de elaborar una muestra representativa, pero teniendo siempre en cuenta la limitación existente en cuanto a cantidad. Dado que el foco original de la investigación era determinar el efecto de las ciclovías en el precio de las viviendas, la búsqueda de información se centró en propiedades en torno a 22 ejes de Santiago que cuentan con este tipo de amenidad urbana.

Dichos ejes se determinaron a partir de un mapa del Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS, 2016), pero se actualizaron a partir de datos obtenidos de Google Street View (2016) y visitas a terreno. El criterio de selección fue contar con información respecto a su fecha aproximada de inauguración, la cual se estableció a partir de extractos de prensa.

También, en base a la inspección visual de cada ciclovía, se determinó su tipo (ciclovía, si tiene segregación física con la calzada, o ciclobanda, si no), su dirección de tránsito (unidireccional o bidireccional), su posición respecto al sentido del flujo vehicular (derecha o izquierda) y el material del que estaba hecha (Adoquines, Asfalto o Cemento). Es posible observar las ciclovías y sus características en el ANEXO A.

Adicionalmente a estos 22 ejes con ciclovías, se seleccionaron otros 22 ejes sin este tipo de amenidad y que fueran similares en términos de localización, orientación, tipo de vía y largo; a fin de que pudiesen utilizarse como control. Se puede ver dichos ejes en el ANEXO B.

Tanto para los ejes con ciclovías como para los ejes de control, se construyeron zonas de interés a 700 metros a la redonda, que se utilizaron para el levantamiento de la información como tal. El radio de 700 metros se definió *a priori* pues se consideró poco probable que

hubiese una influencia significativa en el precio de las propiedades por parte de las ciclo-facilidades a más de esa distancia.

En la Figura 4-1 se aprecian las zonas de interés, algunas de las cuales se superponen entre sí. Es importante notar que cada propiedad es considerada una sola vez, aun cuando pueda estar en más de una zona de interés.



Figura 4-1: Ejes y zonas de interés

En celeste se ubican las ciclovías, en verde sus zonas de interés y en café las zonas de interés de los ejes de control. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que la mayor parte de las ciclovías se ubica en las zonas centro y oriente de la ciudad, específicamente en las comunas de Santiago, Providencia y Las Condes, lo que hace inevitable que hallan más zonas de interés en estos lugares, como se puede observar en la Figura 4-1. No obstante, se obtuvo datos de propiedades ubicadas en 27 de las 34 comunas de Santiago, con diversas localizaciones y estratos socioeconómicos, a fin de asegurar que la muestra fuera lo más representativa e insesgada posible.

Las comunas en las cuales se encuentran las zonas de interés son Cerrillos, Conchalí, El Bosque, Estación Central, Independencia, La Florida, La Granja, La Pintana, Las Condes, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Pedro Aguirre Cerda, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Puente Alto, Quinta Normal, Recoleta, Renca, San Joaquín, San Miguel, San Ramón, Santiago y Vitacura.

4.1.2. Variables disponibles

La base de datos obtenida de Transsa (2016) contiene 31.178 tasaciones distintas, con 17 variables cada una, de las cuales solo se usarán las nueve que se describen en el ANEXO C. También se incluye una breve reseña respecto al uso que se dará a cada una, dado que no todas ellas prestan utilidad en términos del modelo de *precios hedónicos*, y algunas requieren de una reinterpretación para poder ser aprovechadas.

4.1.3. Variables construidas

Además de las variables originales, se construyeron variables adicionales que ayudan a explicar de mejor manera el precio y/o poseen una forma más apropiada en términos de su uso para la modelación; estas se describen en el ANEXO D. También se crearon otras variables para representar variaciones sistemáticas por localización, estrato socioeconómico,

año de la tasación, antigüedad y tipo de propiedad, así como para representar otras formas funcionales. Estas no se detallarán en esta sección, sino en la correspondiente a la modelación, dadas las implicancias directas que tienen con la misma.

Es importante notar que tanto las variables originales de las tasaciones como las construidas en esta tesis no contienen información respecto al material de la propiedad, el piso en que se ubican en caso de ser departamento, el número de habitaciones, el número de baños ni el número de estacionamientos.

4.1.4. Depuración

La base de datos original contenía 31.178 tasaciones, pero este valor se redujo a 20.534 al realizar la depuración, que consistió en una sucesión de diversos pasos. Primero, se eliminaron todas las entradas que tenían datos nulos en variables fundamentales para la modelación, como Tasa (UF), Vida Util, Construcción, Uso y Año Construcción. Luego se eliminaron los *outliers* basándose en que la Tasa (UF) fuera mayor a cero y menor a 10.000 UFs, que Vida Util fuera mayor que cero, que Construcción fuera mayor que 10 y menor a mil metros cuadrados, que Uso fuera distinto de “En construcción” o “No aplica”, que Año Construcción fuera mayor a 1800 y que Espacio fuera menor a 3.000 m².

Posteriormente se separaron los datos de acuerdo al tipo de propiedad, conservándose solo aquellas que tenían un uso habitacional, ya sea casa o departamento. Finalmente, se eliminaron las entradas con propiedades georreferenciadas fuera de la zona de interés, debido a que se atribuyó a una mala imputación, o que no habrían sido obtenidos a partir de la consulta solicitada a la base de datos de Transsa (2016).

4.1.5. Limitaciones

La base de datos obtenida contiene un gran número de tasaciones, lo que es fundamental para obtener mejores resultados. No obstante, cada entrada no posee información detallada sobre el material de construcción de la propiedad, su estado de conservación, número de dormitorios, baños y estacionamientos, orientación, piso (en caso de ser departamento); estas características serían deseables de poseer dado que seguramente influyen en el precio.

Tampoco se tiene información sobre los moradores de la propiedad, lo que podría ser particularmente útil de tenerse el ingreso, ya que es de esperar que exista una relación entre dicha variable y el valor de la tasación. En reemplazo se utilizó el ingreso medio zonal por hogar de la comuna, que a pesar de ser de un año específico, sirve para determinar los efectos en la tasación producidos por las diferencias relativas entre ellos.

Otro tema fundamental es que los datos corresponden a tasaciones y no a ventas, lo que hace que exista incertidumbre respecto al precio real de las propiedades. Sin embargo, dada la metodología usada para determinar la tasación², se considera que el posible error debiera ser despreciable.

Todas estas limitaciones deben tenerse en cuenta al momento de analizar los resultados, pero se decidió aceptarlas en pos de tener una muestra de datos de gran tamaño, dado que no se encontraron otras fuentes de información que estuvieran exentas de problemas.

² La tasación se determina por parte de especialistas en la materia y es proporcional a los metros cuadrados de superficie total y construida de la propiedad, comparándola con información de ventas reales de propiedades con localizaciones equivalentes en términos de sus amenidades urbanas e ingreso, que hayan ocurrido con poca anterioridad a la fecha de la tasación.

4.2. Amenidades urbanas

En este apartado se describen los datos obtenidos en relación a las amenidades urbanas; como cada una proviene de una fuente distinta de información, se explicará en el subpunto correspondiente. Es importante notar que para la mayor parte de las amenidades no se encontró un mapa con su ubicación, por lo que se debió construir uno a partir de diversas fuentes.

Los mapas se utilizaron para determinar la distancia entre cada propiedad de la base de datos y la amenidad más cercana de cada tipo estudiada, dado que esa es la variable que utilizada para modelar (con diversas formas funcionales). En particular, la distancia modelada es la euclidiana, esto es, la mínima distancia aérea entre dos puntos. Es probable que en muchos casos dicha distancia sea menor que la distancia real que deben recorrer los habitantes de una propiedad para llegar a la amenidad. No se usaron otras medidas de distancia, como la distancia Manhattan (Black, 2006), puesto que representan medidas aproximadas y no se sabe si son mayores o menores a la distancia real en ruta, lo que podría producir distorsiones al momento de modelar.

También es importante notar que en el caso de amenidades urbanas que no son puntuales, fue necesario discretizarlas en puntos cada 10 metros para poder realizar el cálculo de la distancia. Por lo tanto, existe un margen de error adicional al de la georreferenciación que debe considerarse al momento de estudiar los resultados.

Las amenidades urbanas seleccionadas para el estudio fueron las siguientes: Supermercados, Centros comerciales, Hidrografía, Parques y Plazas, Grandes Parques, Colegios, Universidades, Hospitales y Clínicas, Ciclovías, Paraderos, Corredores de buses, Trazados

de tren y Metro, Estaciones de Metro, Trazados de autopistas, Accesos y salidas de autopistas, y Zonas de atracción de viajes.

La cercanía a la mayor parte de ellas se considera teóricamente beneficiosa para los habitantes de las propiedades, por lo que debiese tener un efecto positivo en el valor de la tasación. Los casos que no son así corresponden a los Trazados de tren y Metro, y los Trazados de autopistas (en superficie o trinchera). Además, existe incertidumbre respecto a los Corredores de buses, pues aunque aumentan el nivel de servicio del transporte público tienen externalidades negativas. Estas situaciones se detallarán en la sección correspondiente a cada amenidad.

Por último, es importante notar que todos los mapas presentados a continuación tienen como base el mapa vial de Santiago actualizado a Febrero de 2014 publicado por CEDEUS (2016), están a la misma escala (1:295.041), el norte se ubica exactamente hacia arriba, y fueron extraídos del software QGIS (QGIS Development Team, 2016), que se usó para todos los aspectos referidos a la georreferenciación, incluyendo cálculo de las distancias.

4.2.1. Supermercados

La base de datos de supermercados se construyó a partir de la información publicada en Google Maps (2016) por cada una de las grandes cadenas respecto a la ubicación de sus locales en la ciudad de Santiago; esta información fue corroborada a través de Google Street View (2016). Específicamente se mapearon los supermercados A Cuenta, Alvi, Central Mayorista, Comercial Castro, Ekono, El Trébol, Jumbo, La Caserita, La Oferta, Líder, Mayorista 10, Montserrat, Santa Isabel, Tottus y Unimarc.

Como resultado se georreferenciaron 384 supermercados en la ciudad de Santiago, los cuales se pueden apreciar en el ANEXO E. En este se puede observar cómo se encuentran ubicados

principalmente en las grandes avenidas de la ciudad, y repartidos de forma mayoritariamente homogénea, con mayor concentración en el centro histórico.

4.2.2. Centros comerciales

La base de datos sobre centros comerciales se construyó a partir de la información publicada por Google Maps (2016), corroborándolo con Google Street View (2016). Como resultado se georreferenciaron 26 centros comerciales en la ciudad de Santiago, los cuales se pueden apreciar en el ANEXO E.

Se puede observar cómo los centros comerciales se concentran principalmente en el eje Pajaritos-Alameda-Providencia-Las Condes, con mayor densidad en la zonas centro y nororiente de la ciudad, muy ligado a las áreas de altos ingresos.

4.2.3. Hidrografía

La base de datos hidrográfica (conjunto de ríos, lagos y otras corrientes de agua) se descargó de CEDEUS (2016) y está actualizada al 2014. Se presenta en el ANEXO E. En ella se puede apreciar que existe una mayor concentración de cuerpos de agua en torno al río Mapocho y las zonas periféricas de la ciudad.

4.2.4. Parques y plazas

La base de datos de parques y plazas se construyó a partir de la información publicada por Google Maps (2016), corroborándolo con Google Street View (2016). Como resultado se georreferenciaron 1553 parques y plazas en las zonas de interés y sus entorno, las cuales se pueden apreciar en el ANEXO E. En este se puede observar cómo se concentran

principalmente en las zonas centro y nororiente de la ciudad, al igual que los centros comerciales, también muy ligado al área de mayores ingresos.

4.2.5. Grandes parques

La base de datos de los grandes parques se construyó a partir de la información publicada por Google Maps (2016), corroborándolo con Google Street View (2016). Como resultado se georreferenciaron 14 grandes parques en las zonas de interés y su entorno, las cuales se pueden apreciar en el ANEXO E. En ella se puede observar cómo se concentran principalmente en las zonas centro y nororiente de la ciudad, al igual que los parques y plazas y centros comerciales, muy ligado a las zonas de altos ingresos.

4.2.6. Colegios

La base de datos de los colegios (públicos, subvencionados y privados) se descargó del Portal de Datos Abiertos del Gobierno de Chile (2016) y está actualizada al 2011. Los 2853 establecimientos educacionales de la Región Metropolitana se presentan en el ANEXO E. Es importante notar como, a diferencia de otras amenidades urbanas, se encuentran repartidos de forma bastante homogénea en la ciudad.

4.2.7. Universidades

La base de datos de universidades se construyó a partir de la información publicada por cada casa de estudio, corroborándolo con Google Maps (2016). Como resultado se georreferenciaron 129 universidades en Santiago, las cuales se pueden apreciar en el ANEXO E. En éste se puede observar cómo se ubican principalmente en la zona centro de la ciudad.

4.2.8. Hospitales y clínicas

La base de datos de hospitales y clínicas se construyó a partir de la información publicada por Google Maps (2016), corroborándolo con Google Street View (2016). Como resultado se georreferenciaron 46 hospitales y clínicas en Santiago, las cuales se pueden apreciar en el ANEXO E. En éste se puede observar cómo se ubican mayormente en el centro de la ciudad.

4.2.9. Ciclovías

La base de datos de ciclovías se construyó a partir de la información publicada por CEDEUS (2016), ampliándola y corroborándola con Google Street View (2016) y visitas en terreno. Como resultado se georreferenciaron 134 tramos de ciclovías, las cuales se pueden apreciar en el ANEXO E.

4.2.10. Paraderos

La base de datos de paraderos buses se descargó del Portal de Datos Abiertos del Gobierno de Chile (2016) y está actualizada al 30 de Abril de 2016. Los 8616 paraderos de buses en Santiago se pueden apreciar en el ANEXO E. Se puede observar cómo existe una mayor densidad de paraderos en la zona central, pero esto no se replica en las zonas periféricas, especialmente en comunas del sector oeste y sur, como Lo Prado, Maipú, San Bernardo, Puente Alto y La Florida.

4.2.11. Corredores de buses

La base de datos sobre corredores de buses del Transantiago se elaboró a partir de Google Maps (2016). Los 16 tramos de corredores de buses se pueden apreciar en el ANEXO y se observa como la mayor parte de ellos son tramos inconexos en comunas periféricas de la ciudad.

Debido a eso, es posible deducir que los beneficios que podrían producir en el nivel de servicio de Transantiago se debieran ver mermados, ya que las zonas más congestionadas suelen estar en el centro. Inclusive en corredores hoy en construcción, como el de Vicuña Mackenna, el diseño no resuelve los puntos más conflictivos, como los cruces con Américo Vespucio y Alameda, dejando un tramo de pista exclusiva (en vez de corredor) en el primer caso y la vía sin tipo alguno de facilidad para el transporte público desde Francisco Bilbao hasta Merced en el segundo caso.

Adicionalmente, la construcción de los corredores comúnmente requiere de expropiaciones, lo que modifica fuertemente la trama urbana, desplazando habitantes y comercio del sector, y acercando los efectos positivos y negativos de esta amenidad al resto de las propiedades.

Además, en la búsqueda de entregar un estándar de vía más continua y expedita, reducen el número de lugares donde es posible cruzarlos, dividiendo ambos lados de la ciudad y congestionando dichos cruces; al mismo tiempo se propician velocidades de circulación más altas para todos los modos de transporte, lo que aumenta el ruido por roce con el aire y por funcionamiento del motor, y el riesgo para los peatones y ciclistas.

También se reemplaza el pavimento, que tradicionalmente es de asfalto, por uno de hormigón, que si bien tiene la ventaja de ser mucho más resistente, incrementa el ruido por rodadura al ser menos poroso (Biligiri, 2013).

En consecuencia, dado que el beneficio que se podría entregar al transporte público está mermado, pero las externalidades negativas se mantienen presentes, es de esperar una mala percepción de esta amenidad por parte de las personas, e inclusive el surgimiento de conflictos, como ha sucedido en el corredor de Independencia.

Sin embargo, se estima que de hacerse mejores diseños, que respondan a las necesidades de las personas, no impliquen grandes expropiaciones (aunque requieran quitar espacio al transporte privado para hacerlo) y se hagan en zonas congestionadas, es razonable pensar que el efecto cambie y se traduzca en un incremento del precio en las propiedades, como se ha observado en estudios anteriores (Rodríguez & Mojica, 2009).

4.2.12. Trazados de tren y Metro

La base de datos de los trazados de tren y Metro se elaboró a partir de Google Maps (2016). Los 10 tramos de trazados de tren y Metro que circulan en superficie, trinchera abierta o viaducto en la ciudad de Santiago se pueden apreciar en el ANEXO E. Se puede observar como la mayor parte de ellos se ubica en comunas periféricas de la ciudad, especialmente del sector sur, mientras que no hay ninguno en el sector nororiente, que corresponde al área de mayores ingresos en Santiago.

Es importante notar que no se mapearon los trazados de tren en su totalidad, sino solo aquellos más cercanos a las zonas de interés; esto consideró tramos de las vías del tren al norte, parte de las vías del tren al sur y parte de las vías del tren a San Antonio. Por otro lado, si se georreferenciaron todos los trazados de Metro, correspondientes a: Línea 2, el tramo entre estaciones Cal y Canto y Franklin (principalmente trinchera abierta); Línea 4, los tramos entre estaciones Grecia y Vicuña Mackenna (principalmente superficie), y Vicente Valdés y Las Mercedes (principalmente viaducto); Línea 4A, el tramo entre las estaciones Vicuña Mackenna y La Cisterna (principalmente superficie); y Línea 5, tramos entre estaciones Del Sol y Barrancas (principalmente viaducto), e Irrazaval y Bellavista de La Florida (principalmente viaducto).

Se consideró que estos trazados representaban adecuadamente los efectos negativos de trenes y Metro, dado que para recibir los beneficios por movilidad que producen es necesario localizarse cerca de una estación. Además, se estimó que en los casos en que las vías fueran subterráneas no existirían externalidades negativas, ya que no se escucha el ruido que producen ni alteran la trama urbana.

4.2.13. Estaciones de Metro

La base de datos de Estaciones de Metro se descargó del Portal de Datos Abiertos del Gobierno de Chile (2016) y está actualizada al 30 de Abril de 2016. Las 100 estaciones de Santiago se pueden apreciar en el ANEXO E. Se puede observar cómo existe una mayor densidad en el centro de Santiago.

4.2.14. Trazados de autopistas

La base de datos sobre trazados de autopistas se elaboró a partir de Google Maps (2016). Los 33 tramos que circulan en superficie, trinchera abierta o viaducto en Santiago se pueden apreciar en el ANEXO E. Se consideraron solo este tipo de tramos ya que, de forma análoga a lo que sucede con los trazados de tren y Metro, son estos los que reflejan las externalidades negativas de las autopistas. Por otro lado, los efectos positivos por movilidad dependen de los accesos y salidas de estas vías.

Es importante notar que, nuevamente, no se mapearon en su totalidad los trazados de autopistas, sino solo aquellos más cercanos a las zonas de interés, esto es, tramos de la Autopista Central, entre El Cortijo y Las Acacias (tanto en el eje General Velásquez como en el eje Ruta 5); tramos de Costanera Norte, entre Caupolicán y el puente Centenario; Kennedy en su totalidad; Túnel San Cristóbal en su totalidad; tramos de Autopista del Sol,

entre Agua Amarilla y Bascuñán Guerrero; tramos del Acceso Sur, entre San Gregorio y Las Hijuelas; de Vespucio Norte Express, entre el enlace Quilicura y el puente Centenario; y de Vespucio Sur, entre Marta Ossa Ruíz y María Celeste.

4.2.15. Accesos y salidas de autopistas

La base de datos sobre accesos y salidas de autopistas se elaboró a partir de Google Maps (2016). Los 156 accesos y 150 salidas georreferenciadas se ubican en las zonas correspondientes a los tramos descritos en la sección anterior, como se puede apreciar en el ANEXO E. Cabe destacar que solo se consideraron accesos y salidas aquellos que tenían un extremo en una autopista y el otro en vialidad local, ya que son los puntos en que se puede ingresar o salir desde o hacia las áreas donde se ubican las propiedades. Por lo tanto, en enlaces entre dos o más autopistas, los ramales de conexión entre ellas no se consideraron. Otro factor a tener presente es que, en general, los accesos y salidas se encuentran en la misma ubicación, pero en diferentes sentidos de tránsito, ya que en general existe simetría en ambos ejes de la calzada. Debido a esto, es de esperar que solo uno de los dos sea una variable significativa al momento de modelar, representando el efecto de ambos.

4.2.16. Zonas de atracción de viajes

Se definió tres zonas de atracción de viaje, basándose en la literatura, donde comúnmente se establece que la distancia a centros financieros y de comercio influye sobre el precio de las propiedades (Cao & Hough, 2008; Cheshire & Sheppard, 2002; Liao & Wang, 2012; McGrath & McMillen, 2007). Otra forma de considerarlo, que puede ser más precisa, es el tiempo de viaje a dichos lugares, ya que es posible que existan sitios que a pesar de estar

más lejos tengan tiempos de viaje menores (Gadziński & Radzimski, 2016). No obstante, no se contaba con la información necesaria para hacerlo.

La primera área seleccionada corresponde al centro histórico de Santiago, también conocido como triángulo fundacional, ubicado entre el Río Mapocho por el Norte, la Alameda Libertador Bernardo O'Higgins por el sur y la Avenida Manuel Rodríguez por el oeste. La segunda es el sector comercial de Providencia, específicamente los tres lóbulos formados por las avenidas Providencia y Nueva Providencia, entre Miguel Claro y Tobalaba. La tercera es el centro financiero de Santiago, conocido popularmente como *Sanhattan*, ubicada aproximadamente entre la avenida Presidente Riesco por el norte, las calles Callao y Renato Sánchez por el sur, el Río Mapocho y la avenida Nueva Tobalaba por el oeste, y la avenida Américo Vespucio por el este.

Como se puede apreciar en el ANEXO E, las tres zonas se encuentran muy cercanas entre sí y a al área de altos ingresos del sector nororiente de la ciudad.

4.3. Estadísticos descriptivos

En este apartado se muestran los estadísticos descriptivos asociados a las variables, tanto intrínsecas a las propiedades como a sus distancias a la amenidad urbana más cercana. Todos ellos fueron calculados con los datos depurados con Stata SE 12 (StataCorp, 2011). Se separan entre aquellos para el total de la muestra y sólo para los datos correspondientes a los años 2015 y 2016. Estos se analizaron en forma aislada debido a que existen comportamientos y preferencias de las personas que varían en el tiempo y es posible que la elaboración de un modelo único para datos de diez años distintos, aun cuando posea variación sistemática por año y constantes por año, no sea capaz de representar adecuadamente la realidad (Sabatini, 1990).

4.3.1. Total de los datos

En el ANEXO F se pueden apreciar los estadísticos descriptivos de las variables correspondientes a las propiedades en el total de la muestra depurada (20.534 tasaciones). Se puede apreciar el amplio rango de precios de las mismas y su alta desviación estándar. En cuanto al año de construcción, a pesar de que existen propiedades desde el año 1877, la media está muy cercana a la actualidad y la desviación estándar es pequeña. Esto significa que la mayor parte de las tasaciones corresponde a propiedades relativamente nuevas. Un comportamiento análogo se puede apreciar respecto a la edad de las propiedades, la cual se construyó en base al año de construcción y el año de tasación.

La vida útil oscila entre uno y cien años; esto se debe a los parámetros con que se deben realizar las tasaciones, en que cualquier propiedad con menos de 20 años de vida útil estimada se considera de igual manera (su estado es propicio para la demolición), mientras que a aquellas con buena conservación se les asigna siempre cien años de vida útil.

El terreno tiene un mínimo de cero, ya que corresponde a la superficie no construida de una propiedad y la base de datos contiene departamentos. Cabe destacar que la media es pequeña y la desviación estándar también lo es, lo que indica que la mayor parte de las propiedades tasadas son de tamaño reducido. Por otra parte, la construcción tiene una desviación estándar muy pequeña, a pesar de que su rango es amplio, lo que muestra que los datos se concentran mayormente cerca de la media.

El espacio, que es la suma del terreno y la construcción, posee un rango más amplio que las variables de las que proviene, con una desviación estándar muy similar a la media, lo que muestra que los datos se concentran en torno a ésta. En cambio, el ingreso promedio por propiedad tiene una alta variabilidad, lo que muestra la diversidad de la muestra en términos

socioeconómicos y la desigualdad presente en la ciudad de Santiago. Finalmente, se determinó que 8,05% de las propiedades tiene carácter de histórica (mayor a 50 años de antigüedad), 21,92% son casas y 10,43% son nuevas.

En el ANEXO G se pueden apreciar los estadísticos descriptivos asociados a las distancias calculadas a cada amenidad urbana. Es importante notar que los paraderos presentan la menor media y una reducida desviación estándar, lo que muestra su distribución relativamente uniforme dentro de la muestra. Se puede intuir que esto hará que dicha variable sea poco significativa al momento de modelar.

Por otro lado, la variable con mayor media es *Sanhattan*, seguida por Centro y Providencia, lo que habla de cuan extensa es la superficie de la ciudad. En los tres casos las desviaciones estándar son pequeñas, aun cuando los rangos son amplios, lo que indica que la mayor parte de los datos se encuentran en zonas ubicadas a distancias similares de dichos centros.

Otro dato relevante es que la distancia media a parques y plazas es solo 283 metros y tiene una pequeña desviación estándar. Sin embargo, acá no se consideró la calidad de los mismos, y es posible identificar variados ejemplos respecto a cómo este tipo de amenidades difiere al moverse por diferentes comunas de la ciudad.

Los colegios son otra amenidad urbana que se encuentra ubicada cerca de la mayor parte de las tasaciones, pero nuevamente es un dato agregado en que no se segregan los distintos tipos de establecimientos.

Por último, es importante destacar cómo las estaciones de Metro se encuentran en promedio a menos de mil metros de las propiedades, presentando también una baja desviación estándar, lo que indica que dicha amenidad urbana se encuentra cercana a la mayor parte de las tasaciones de la muestra.

En el ANEXO H se puede apreciar cómo se distribuyen los datos en las diferentes comunas. La que concentra menos propiedades es San Ramón, con solo 0,01%, mientras que Santiago es la que tiene más tasaciones, con 30,94% de ellas. Esto es de esperar, dado que se escogió una muestra acotada de la ciudad con la restricción de ubicarse en sectores cercanos a ciclovías, y la comuna de Santiago concentra un gran número de estas amenidades.

En cuanto a correlaciones, estas son en general menores a 0,1, por lo que la mayoría de las variables son ortogonales entre sí. Sin embargo, existen algunas correlaciones fuertes. Por ejemplo, la tasación de la propiedad está fuertemente correlacionada (0,94) con la superficie construida, lo que es de esperar, puesto que esta debiese ser la variable más importante. Esto sugiere utilizar como variable independiente a la tasación por metro cuadrado construido, a fin de independizar los datos del tamaño, y evitar relaciones espurias.

Trazado de autopistas, acceso a autopista y salida de autopista están también muy correlacionadas entre sí (más de 0,9), lo que tiene sentido y lleva a pensar que es probable que al menos una de ellas no sea significativa a la hora de modelar. La distancia a Providencia está correlacionada (0,95) con la distancia a *Sanhattan*, debido a que ambas se encuentran muy cerca entre sí, por lo que es posible que sólo una sea significativa. Por último, la distancia al trazado de tren o Metro está correlacionada con el ingreso medio zonal, lo que puede interpretarse como una muestra de políticas públicas segregadas, en que se destinan más recursos a zonas de ingresos acomodados realizando proyectos subterráneos. Reafirmando dicha interpretación, es posible detectar correlaciones relativamente altas entre el ingreso medio zonal y las siguientes variables: distancia a corredores de buses (0,86), distancia a cuerpos de agua (-0,68) y distancia a *Sanhattan* (-0,74). Aun cuando estos

resultados escapan del alcance del presente estudio, se recomienda analizarlos en detalle en futuras investigaciones.

4.3.2. Datos años 2015 y 2016

En el ANEXO F se presentan los estadísticos descriptivos de las variables de las propiedades correspondientes a los años 2015 y 2016, que consta de 2.267 tasaciones. Salvo algunas excepciones, los estadísticos descriptivos presentan variaciones mínimas para todas las variables respecto a la muestra con el total de las tasaciones. El principal cambio es la reducción del rango de las variables de superficie (terreno, construcción y espacio), cuyos máximos se redujeron casi a la mitad respecto a la muestra total.

Adicionalmente, se determinó que 9,44% de las propiedades tiene carácter de histórica (mayor a 50 años de antigüedad), 15,26% son casas y 1.94% son nuevas. Esto representa un cambio de 1%, -5% y 8%, respectivamente.

En el ANEXO G se muestran los estadísticos descriptivos asociados a las distancias calculadas a cada una de las amenidades urbanas. Al igual que antes, estos no presentan variaciones significativas respecto a la muestra total.

En el ANEXO H se puede apreciar cómo se distribuyen los datos en las diferentes comunas. Un cambio respecto a la muestra total es que hay tres comunas que ya no poseen datos: El Bosque, Peñalolén y San Ramón. De las demás, la que concentra menos propiedades es La Granja, empatada con Lo Prado y Renca, con solo 0,04%; mientras que Santiago es la que tiene más tasaciones, con 34,23%, subiendo 4% respecto a la muestra total.

En cuanto a las correlaciones, estas se comportan de forma análoga que para el total de los datos, no existiendo diferencia significativa

5. MODELACION

En el presente capítulo se describe el proceso de modelación llevado a cabo para construir el modelo de *precios hedónicos*. Primero se explican las hipótesis de la modelación, luego se detallan las diferentes variables construidas con el propósito de representar de mejor forma la realidad, hasta llegar a los modelos más complejos y detallar el mejor de ellos.

5.1. Hipótesis de modelación y formas funcionales

La principal hipótesis de modelación fue que era posible determinar el precio de una propiedad a partir de las variables que la definen, tanto intrínsecas como externas. Si se asume esto, es necesario establecer supuestos respecto a la forma funcional que debiera tener el modelo matemático que represente la relación entre las variables y el precio de una propiedad. Para ello, se comienza por definir qué variables debieran impactar de forma positiva en el precio y que variables lo debieran hacer de forma negativa.

De las intrínsecas, es lógico establecer que influyen positivamente los metros cuadrados de terreno y los construidos, así como la vida útil y el carácter de histórica de una propiedad. Al contrario, la edad de la propiedad debiera influir de forma negativa en el precio.

Respecto a la distancia a amenidades urbanas, se espera que – en general - la cercanía con Supermercados, Centros Comerciales, Hidrografía, Parques y plazas, Grandes parques, Colegios, Universidades, Hospitales y Clínicas, Ciclovías, Paraderos de buses, Estaciones de Metro, y Accesos y Salidas de autopistas tengan un efecto positivo.

Por el contrario, se espera que la cercanía Trazados de tren y Metro, y Trazados de autopistas tengan un efecto negativo sobre el precio de las propiedades. Finalmente, antes de modelar, no es posible definir el impacto que tendrá la cercanía a los Corredores de buses. En cuanto

a las Zonas de atracción de viajes, parece razonable asumir que la cercanía al Centro, Providencia y *Sanhattan* tengan un efecto positivo en el precio.

Respecto a la forma funcional, el primer y principal supuesto es que las variables deben tener un efecto multiplicativo entre sí al momento de definir el precio de una propiedad (Debrezion *et al.*, 2011; DiPasquale & Wheaton, 1996; Harrison & Rubinfeld, 1978; Hurtubia & Bierlaire, 2014; Kim & Lahr, 2014; McMillen, 2008; Mohammad *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2015). Es decir, en vez de sumar o restar un monto fijo al valor de una propiedad, su impacto es un porcentaje determinado del precio de una propiedad.

Este aspecto es muy importante, ya que no es razonable pensar que existan influencias de valores fijos independientes del valor de la propiedad, sino que su impacto debe ser proporcional al precio de la misma. Para modelar de esta forma, se utilizó el logaritmo natural de la tasación de la propiedad al momento de construir la regresión lineal.

Otra hipótesis de modelación que se probó fue que la utilidad marginal decreciente de los atributos debía variar de forma continua (Debrezion *et al.*, 2011; Kim & Lahr, 2014; McMillen, 2008; Sun *et al.*, 2015; Weiberger, 2000; Zhang *et al.*, 2016). Para modelarla, se aplicó logaritmo natural sobre cada variable. Cabe destacar que aun cuando se tiene logaritmo natural en ambos lados de la regresión, esta forma no es equivalente a una simple regresión lineal, ya que el coeficiente que se estima se transforma en la potencia de la variable original. Luego, si dicho coeficiente tiene un valor absoluto menor a uno, se logra una forma funcional con utilidad marginal decreciente para la variable.

La explicación antes descrita puede verse en las siguientes ecuaciones. Sea T_p la tasación de la propiedad p , a_{ip} la variable i asociada a la propiedad p , C_i el coeficiente de la variable i

y C_0 la constante del modelo. Una forma general de la regresión antes descrita se presenta en (5.1), donde la variable n tiene utilidad marginal decreciente:

$$\ln T_p = \left(\sum_{i=1}^{n-1} C_i a_{ip} \right) + C_n \ln a_{np} + C_0 \quad (5.1)$$

Si se calcula el exponencial en ambos lados de la ecuación, se tiene que:

$$T_p = \left(\prod_{i=1}^{n-1} e^{C_i a_{ip}} \right) (a_{np}^{C_n}) (e^{C_0}) \quad (5.2)$$

La forma funcional de la variable n se muestra en la Figura 5-1, para el caso de $|C_n| < 1$.

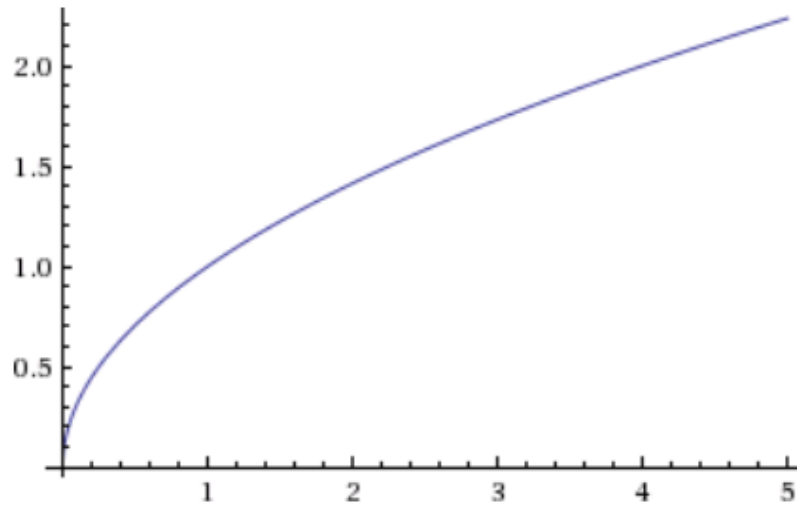


Figura 5-1: Variable con utilidad marginal decreciente.

El eje de las abscisas representa la variable mientras que el de las ordenadas refleja el impacto que tienen sobre la tasa de la propiedad.

Fuente: Elaboración propia

Es importante notar que al estimar el modelo de esta forma, el coeficiente C_n puede tomar cualquier valor, permitiendo que colapse a la linealidad o pase a una forma de mayor grado en caso que los datos lo induzcan. Esta libertad tiene la ventaja de dejar que los datos busquen

su mejor ajuste (en forma consistente con el marco teórico), aunque en base al resultado requerirá un análisis específico, que se hará solo si corresponde.

La última hipótesis a probar es si existen amenidades urbanas que presenten un comportamiento más complejo, por ejemplo, que el máximo efecto no se encuentre adyacente a la amenidad, sino a una cierta distancia de ella y que, a la vez, está presente una utilidad marginal decreciente.

De esta forma, se busca capturar los efectos negativos que puede tener localizarse exactamente al costado de una cierta amenidad, como el mayor tránsito de personas asociado a una ciclovía o un parque, y que se diluyen al alejarse unos pocos metros de ella.

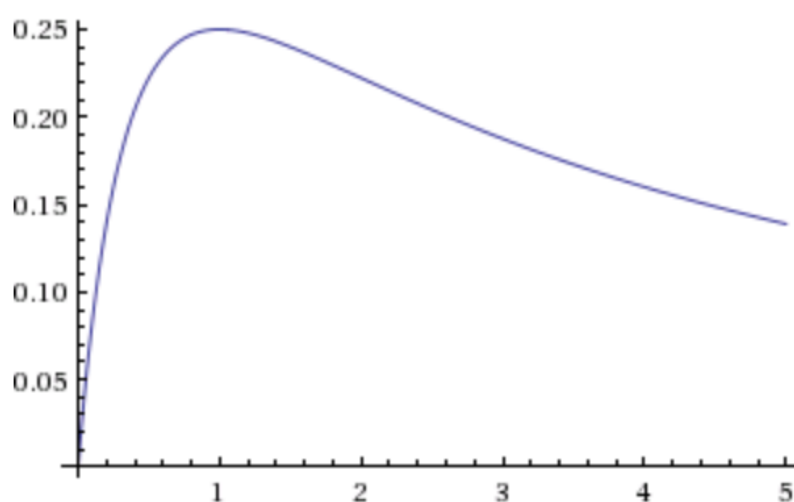


Figura 5-2: Variable con comportamiento complejo

El eje de las abscisas representa la variable mientras que el de las ordenadas refleja el impacto que tienen sobre la tasa de la propiedad.

Fuente: Elaboración propia

Una forma funcional de este tipo se aprecia en la Figura 5-2, correspondiente al gráfico de la ecuación (5.3).

$$\left(\frac{1}{(v_{kp}+1)} - \frac{1}{(v_{kp}+1)^2} \right) \quad (5.3)$$

Una limitación de estas formas funcionales es que la ubicación del punto de máximo beneficio debe definirse *a priori*. Para esto se comenzó probando con que este punto se ubicara a 100 metros de la amenidad, ya que esta distancia representa aproximadamente una cuadra y está relacionada con los hallazgos de Portnov *et al.* (2009). En la búsqueda de mejores resultados se probó con máximos a 50 y 150 metros, los cuales dieron peores ajustes para todas las variables.

Debido a lo anterior, se determinó que por construcción el máximo beneficio se percibiría a 100 metros de la amenidad en todos los casos. Sin embargo, no es posible asegurar que dicho punto sea un máximo local ni global del beneficio percibido, aunque si se considera una buena aproximación.

En consecuencia, la forma más general del modelo es como sigue:

$$T_p = \left(\prod_{i=1}^l a_{ip}^{C_i} \right) \left(\prod_{j=l+1}^m e^{C_j \delta_{jp}} \right) \left(\prod_{k=m+1}^n e^{C_k \left(\frac{1}{(v_{kp}+1)} - \frac{1}{(v_{kp}+1)^2} \right)} \right) (e^{C_0}) \quad (5.4)$$

donde T_p es la razón entre el valor tasado de la propiedad p en UF y los metros cuadrados construidos de la misma; a_{ip} son cada uno de los atributos continuos i que influyen en el precio de la propiedad p , tanto intrínsecos a ella como amenidades urbanas; δ_{jp} son cada una de las variables binarias (dummies) j asociadas a la propiedad p ; v_{kp} son cada una de las distancias a las amenidades urbanas k que tienen un efecto de incremento en el precio en la propiedad p , pero cuyo máximo se encuentra desplazado de la ubicación más próxima a dicha amenidad; y C_i , C_j , C_k y C_0 son parámetros a estimar.

Cabe destacar que T_p podría representar el precio de la tasación de la propiedad en otras unidades, como pesos o dólares, e inclusive su precio por unidad de superficie construida, en unidades de dinero por unidades de superficie.

Resumiendo, lo que el modelo expresa es que el precio por m² construido de una propiedad depende de cuatro grupos de componentes multiplicativos (de izquierda a derecha): (i) variables que tienen utilidades (o desutilidades) marginales decrecientes, (ii) variables binarias, (iii) variables que tienen utilidades marginales decrecientes que alcanzan un máximo a una distancia distinta de cero de la amenidad urbana, y (iv) una constante.

Para estimar los coeficientes asociados al modelo, se aplica logaritmo natural en ambos lados, lo que después de simplificar, se traduce en:

$$\ln T_p = \left(\sum_{i=1}^l C_i \ln a_{ip} \right) + \left(\sum_{j=l+1}^m C_j \delta_{jp} \right) + \left(\sum_{k=m+1}^n C_k \left(\frac{1}{(v_{kp}+1)} - \frac{1}{(v_{kp}+1)^2} \right) \right) + (C_0) \quad (5.5)$$

donde todas las variables han sido previamente definidas.

5.2. Modelos lineales

El proceso de modelación comenzó utilizando formas funcionales lineales para las variables, del tipo que se muestra en la ecuación (5.6).

$$T_p = \left(\prod_{j=1}^n e^{C_j a_{jp}} \right) (e^{C_0}) \quad (5.6)$$

Ninguno de estos modelos condujo a resultados con los signos correctos o con las variables relevantes significativas, por lo que se procedió a construir y agregar nuevas variables.

5.3. Estratificación por distancia

Se construyó variables binarias para representar la presencia de amenidades urbanas en tramos de 100 metros, partiendo desde cero y hasta los 2000 metros. Este proceso se realizó para cada una de ellas, a excepción de las Zonas de atracción de viajes que tienen magnitudes mucho mayores. Para ellas se estratificó en tramos de 500 metros, partiendo desde cero y hasta los 10 Km.

Incluyendo estas nuevas variables se volvió a modelar, obteniendo resultados con signo correcto y significancia suficiente (ver Anexo I). Sin embargo, la mayor parte de las variables asociadas a las distancias presentó comportamientos oscilantes que no era posible explicar desde el punto de vista teórico, por lo que los modelos se desecharon.

5.4. Inclusión de variación sistemática por tipo de propiedad

Para obtener mejores modelos, se construyeron variables a partir de la interacción entre el tipo de propiedad (casa o departamento) y todas las demás variables. No obstante, al momento de modelar, la única que resultó significativa fue la asociada a los metros cuadrados construidos. Es decir, solo existe una diferencia estadísticamente significativa entre departamentos y casas respecto al valor de los metros cuadrados construidos.

Además, los modelos continuaron sin ser consistentes desde el punto de vista teórico, con comportamientos no monótonos para las distancias y algunos signos erróneos.

5.5. Inclusión de variación sistemática por localización

En la búsqueda de perfeccionar el modelo, se incluyó una nueva variación sistemática, esta vez por localización, usando las variables binarias de cada comuna para construir la

interacción. Dado su alto número, solo se permitió la interacción con las variables intrínsecas a cada propiedad.

El modelo resultante siguió teniendo un comportamiento oscilante para las distancias, pero se volvieron significativas las variaciones sistemáticas por localización para las comunas de Providencia, Las Condes y Vitacura, en que el valor del terreno y la construcción es más alto que en el resto de la ciudad (ver Anexo J).

5.6. Inclusión de zonificación

Para mejorar la representación de la localización en el modelo, se dividió las comunas de Santiago en zonas, siendo consideradas como *referencia* Santiago y Providencia, como *medias* las adyacentes a alguna de estas dos (Recoleta, Independencia, Quinta Normal, Estación Central, Pedro Aguirre Cerda, San Miguel, San Joaquín, Ñuñoa, Las Condes y Vitacura), como *de borde* las adyacentes a las anteriores (Conchalí, Renca, Lo Prado, Pudahuel, Maipú, Cerrillos, Lo Espejo, San Ramón, La Granja, La Florida, Macul y Peñalolén) y como *periféricas* las tres restantes (El Bosque, La Pintana y Puente Alto).

Sin embargo, el modelo siguió presentando comportamientos no monótonos para las distancias (ver Anexo K) y las variables de zonificación resultaron mayormente no significativas.

5.7. Modelos logarítmicos

Después de probar con modelos lineales se pasó a los modelos logarítmicos. Incluyendo todas las variables antes descritas, se obtuvo un modelo con todos los signos esperados y cada una de las variables relevantes significativas. Adicionalmente, se obtuvo valores mucho

más altos del test R^2 que en los casos anteriores, lo que demuestra que esta forma funcional se ajusta de mejor manera al comportamiento observado de los datos (ver Anexo L).

No obstante, las variaciones sistemáticas dejaron de ser significativas en todos los casos, no pudiendo establecerse una diferencia estadísticamente relevante por tipo de propiedad o localización.

5.8. Modelos mixtos

Con el objetivo de mejorar los resultados obtenidos con los modelos logarítmicos, se probó cambiar la forma funcional de las amenidades urbanas con efecto positivo en el precio por la forma funcional de comportamiento complejo descrita en la ecuación (5.3). Como base de comparación para determinar si se ajustaban mejor a los datos, el modelo se comparó con un modelo utilizando las mismas variables, pero con forma funcional logarítmica.

Para decidir qué forma funcional mantener en cada caso, se contrastaron los signos, la significancia y la distribución de los residuos de cada variable, así como la capacidad explicativa del modelo. La forma funcional de comportamiento complejo solo se conservó cuando fue superior a su equivalente logarítmico en todos los aspectos (ver Anexo M).

5.9. Modelo de dos ciudades

Adicionalmente, los modelos mixtos también se trabajaron separando Santiago en “dos ciudades”. Por una parte la zona de altos ingresos, correspondiente mayormente a las comunas de Santiago, Providencia, Ñuñoa, Vitacura y Las Condes; y por otra el resto de la ciudad. Esta forma específica de generar variaciones sistemáticas por localización produjo modelos estadísticamente significativos, pero la mayor parte de ellos resultó inapropiado desde el punto de vista del comportamiento teórico (ver Anexo N).

A pesar que se apreció diferencias significativas entre ambas zonas, lo que induce a pensar en que la separación es razonable, esta representa una definición arbitraria hecha *a priori*.

5.10. Modelo con tasación por superficie construida

Debido a que se encontró que la superficie construida explica la mayor parte de la variación de los datos, se elaboró un modelo en que la variable explicativa es la razón entre la tasa de la propiedad y su superficie construida. De esta forma, es posible atribuir el ajuste del modelo y su poder predictivo al resto de las variables y su específica forma funcional, y no a que una variable explica todo el comportamiento. Esta modificación no produjo grandes cambios en los modelos antes construidos, a excepción de reducir su coeficiente de determinación, como era de esperarse.

Cabe destacar que para conservar las proporciones de las variables, la superficie de terreno total también fue dividida por la superficie construida. El resto de las variables conservó su forma funcional sin cambio alguno, ya que la constante es capaz de absorber el cambio en la variable explicativa.

5.11. Mejor modelo

Como resultado del proceso de modelación, se determinó que el mejor modelo tenía carácter mixto con tasación por superficie construida, con 17 variables: una binaria, 12 con forma funcional logarítmica y cuatro con forma funcional compleja. Tiene un valor de R^2 (coeficiente de determinación) de 0,7652, mientras que el del $\bar{R}^2$ (coeficiente de determinación ajustado) es de 0,7634, lo que implica que es capaz de explicar una alta proporción de la variabilidad de los datos.

Cabe destacar que un signo positivo en el coeficiente de una variable logarítmica significa que a medida que su valor aumenta también lo hace el de la propiedad, mientras que en el caso de las variables complejas, ocurre al contrario. En consecuencia, las amenidades urbanas con forma funcional logarítmicas que tienen coeficiente positivo, representan un efecto negativo para el valor de las propiedades. Al contrario, aquellas amenidades urbanas con forma funcional compleja que tienen signo negativo representan un efecto positivo para el valor de las propiedades.

Tabla 5-1: Mejor modelo

Variable	Unidad	Coeficiente	Test-t	Forma Funcional
Ingreso Medio Zonal por Hogar	UF	0,39	24,00	Logarítmica
Casa	—	-0,65	-16,64	Binaria
Coeficiente de Terreno	—	0,66	18,79	Logarítmica
Antigüedad	Años	-0,12	-19,16	Logarítmica
Vida útil	Años	0,13	7,95	Logarítmica
Distancia Ciclovía	km	0,28	3,64	Compleja
Distancia Corredor de Buses	km	0,02	2,90	Logarítmica
Distancia Trazado Tren o Metro	km	0,04	5,32	Logarítmica
Distancia Estación de Metro	km	-0,04	-6,15	Logarítmica
Distancia Trazado Autopista	km	0,03	5,23	Logarítmica
Distancia Parque o Plaza	km	0,35	3,31	Compleja
Distancia Gran Parque	km	-0,01	(*) -1,03	Logarítmica
Distancia Hospital o Clínica	km	0,25	2,31	Compleja
Distancia Colegio	km	0,14	(**) 1,31	Compleja
Distancia Centro	km	-0,03	-3,71	Logarítmica
Distancia Providencia	km	-0,07	-6,96	Logarítmica
Distancia Sanhattan	km	-0,03	-2,39	Logarítmica
Constante	-	1,89	17,11	-

Fuente: Elaboración propia

(*) Gran parque no es significativo al 95%, pero si al 85%.

(**) Colegio no es significativo al 95%, pero si al 90%.

En la Tabla 5-1 se muestran los coeficientes asociados a cada una de las variables junto a su test-t. Todas las variables tienen significancias bastante altas, a excepción de la distancia a Grandes parques, con -1,03, y a Colegios, con 1,31, las cuales igualmente son significativas al 85% y 90% de confianza, respectivamente, y retirarlas del modelo no altera fuertemente el resto de los coeficientes. Además, se considera que son variables importantes de incluir en el modelo, principalmente debido a que el objetivo último del mismo es ser una herramienta útil para valorar diversas amenidades urbanas.

Es importante notar que la variable binaria Casa tiene un coeficiente negativo, lo que se debe a que representa la variación relativa entre el valor de la Superficie Construida de los departamentos y los de las casas, implicando que estas últimas tienen una menor tasa.

En la siguiente ecuación se aprecia la forma del modelo para cada propiedad, con sus coeficientes evaluados.

$$\begin{aligned}
TSC &= IMZ^{0,392} \cdot CT^{-0,659} \cdot e^{-0,647 \cdot CA} \cdot ANT^{-0,118} \cdot VU^{0,130} \cdot \\
&e^{0,277 \cdot \left(\frac{0,1}{(DCV+0,1)} - \frac{0,01}{(DCV+0,1)^2} \right)} \cdot DCB^{0,016} \cdot DTM^{0,036} \cdot DEM^{-0,042} \cdot \\
&DTA^{0,030} \cdot e^{0,348 \cdot \left(\frac{0,1}{(DPP+0,1)} - \frac{0,01}{(DPP+0,1)^2} \right)} \cdot DGP^{-0,006} \cdot \\
&e^{0,141 \cdot \left(\frac{0,1}{(DCO+0,1)} - \frac{0,01}{(DCO+0,1)^2} \right)} \cdot e^{0,246 \cdot \left(\frac{0,1}{(DHC+0,1)} - \frac{0,01}{(DHC+0,1)^2} \right)} \cdot DC^{-0,028} \cdot \\
&DP^{-0,075} \cdot DS^{-0,031} \cdot 6,606
\end{aligned} \tag{5.7}$$

Donde:

TSC es el valor de la propiedad, en UF por metro cuadrado construido.

IMZ es el ingreso medio zonal por hogar, en UF.

CT es el coeficiente de terreno (razón entre superficie total y construida), adimensional.

CA es una variable binaria que vale uno para casas, cero en otro caso.

ANT es la antigüedad de la propiedad, en años.

VU es la vida útil de la propiedad, en años.

DCV es la distancia a la ciclovía más cercana, en kilómetros.

DCB es la distancia al corredor de buses más cercano, en kilómetros.

DTM es la distancia al trazado de tren o metro más cercano, en kilómetros.

DEM es la distancia a la estación de metro más cercana, en kilómetros.

DTA es la distancia al trazado de autopista más cercano, en kilómetros.

DPP es la distancia al parque o plaza más cercana, en kilómetros.

DGP es la distancia al gran parque más cercano, en kilómetros.

DCO es la distancia al colegio más cercano, en kilómetros.

DHC es la distancia al hospital o clínica más cercana, en kilómetros.

DC es la distancia al Centro, en kilómetros.

DP es la distancia a Providencia, en kilómetros.

DS es la distancia a *Sanhattan*, en kilómetros.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

En el presente capítulo se analizan los resultados del mejor modelo, así como sus posibles aplicaciones prácticas. Cabe destacar que una dimensión del modelo es su capacidad de predecir el precio de una propiedad a partir de las variables relacionadas a la misma, pero este uso no será discutido en detalle.

6.1. Análisis del modelo

Debido a la compleja forma del modelo, es difícil interpretar la magnitud del impacto de cada una de las variables sólo mirando el valor de su coeficiente. Para facilitar dicho análisis, es preferible graficar el comportamiento de cada una.

A continuación se muestran y analizan dichos gráficos, categorizados por ingreso, superficie, tiempo, amenidades y localización. Es importante tener presente que dichas variaciones son proporcionales al valor de referencia de cada propiedad.

6.1.1. Efectos por ingreso medio zonal por hogar

En la Figura 6-1 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a cual sea el ingreso medio zonal por hogar de su entorno (en azul). Como referencia, se considera que el ingreso medio zonal basal de la propiedad es 105 UF.

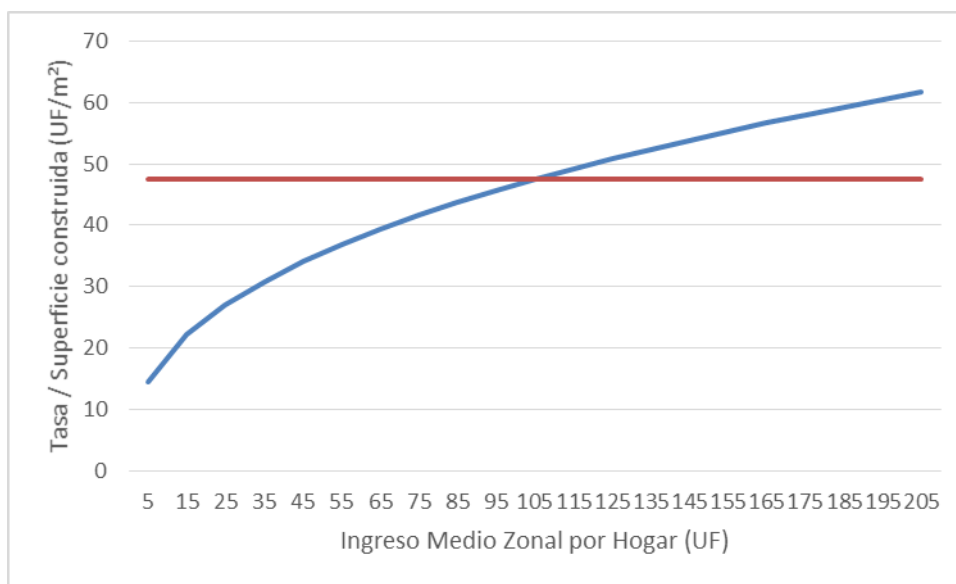


Figura 6-1: Efecto por ingreso medio zonal por hogar

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Efectos por superficie

En la Figura 6-2 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la razón entre su superficie total y su superficie construida (en azul). Como referencia, se considera que la superficie total es el doble de la superficie construida.

Es posible notar que a pesar de que la forma funcional es logarítmica, al graficar parece comportarse de forma lineal. Esto se debe al alto valor del coeficiente, que mientras más cercano sea a uno, más lineal se comportará. En consecuencia, los cambios en esta variable impactan en mayor magnitud el valor de la tasa de la propiedad.

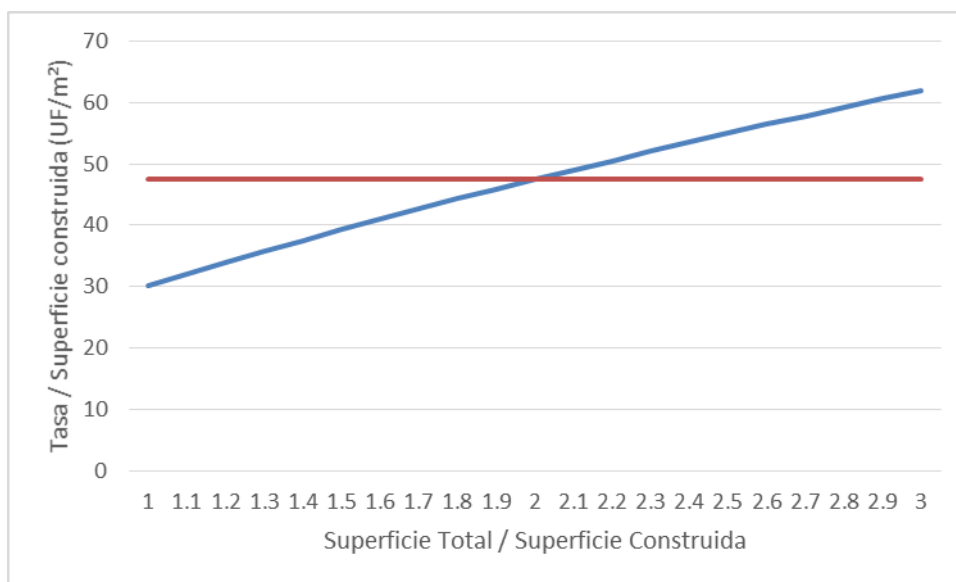


Figura 6-2: Efecto por coeficiente de superficie

Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Efectos por tiempo

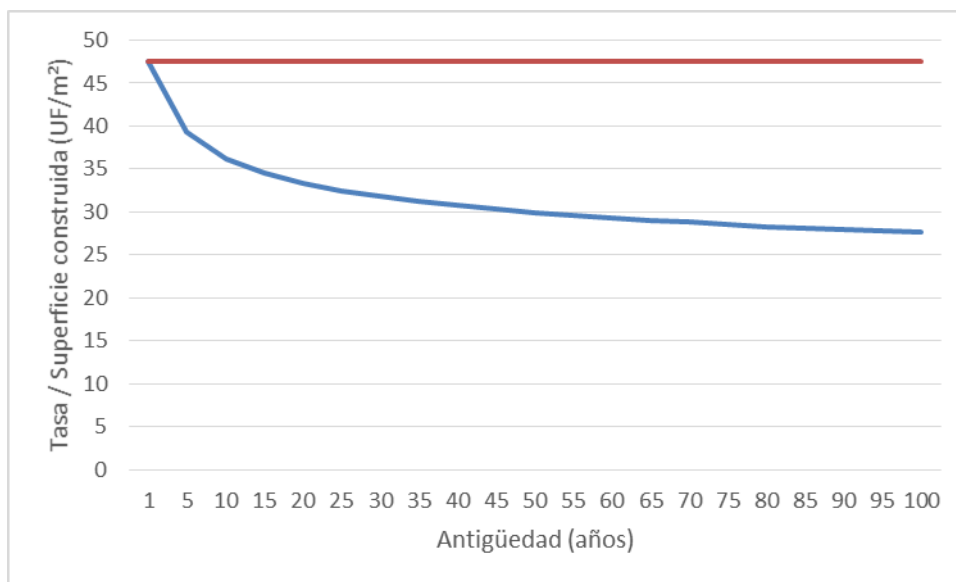


Figura 6-3: Efecto por antigüedad de la propiedad

Fuente: Elaboración propia

Existen dos variables asociadas al tiempo que influyen en el valor de las propiedades: antigüedad y vida útil. Aun cuando pudiera parecer que ambas se encuentran correlacionadas, eso no es del todo correcto, ya que la vida útil depende del estado de conservación y la materialidad de la propiedad, además de su antigüedad.

En la Figura 6-3 se puede apreciar como varía el precio de las propiedades en base a su antigüedad (en azul), mientras que en la Figura 6-4 se observa como varía en función de su vida útil (en azul); en ambos casos se grafica el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo).

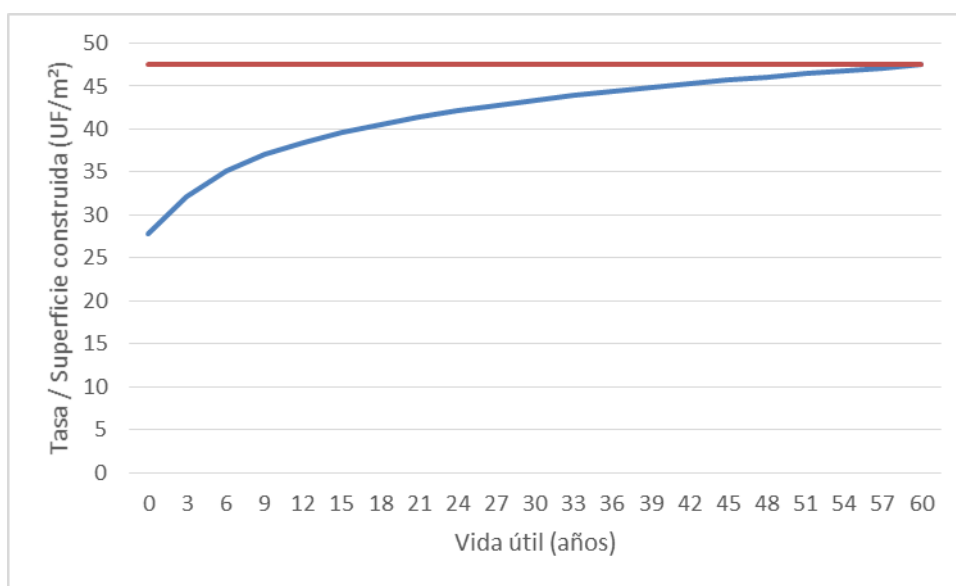


Figura 6-4: Efecto por vida útil de la propiedad

Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Efectos por amenidades

A continuación se muestran los efectos asociados a las diferentes amenidades urbanas. En la Figura 6-5 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia a la ciclovía más cercana (en azul).

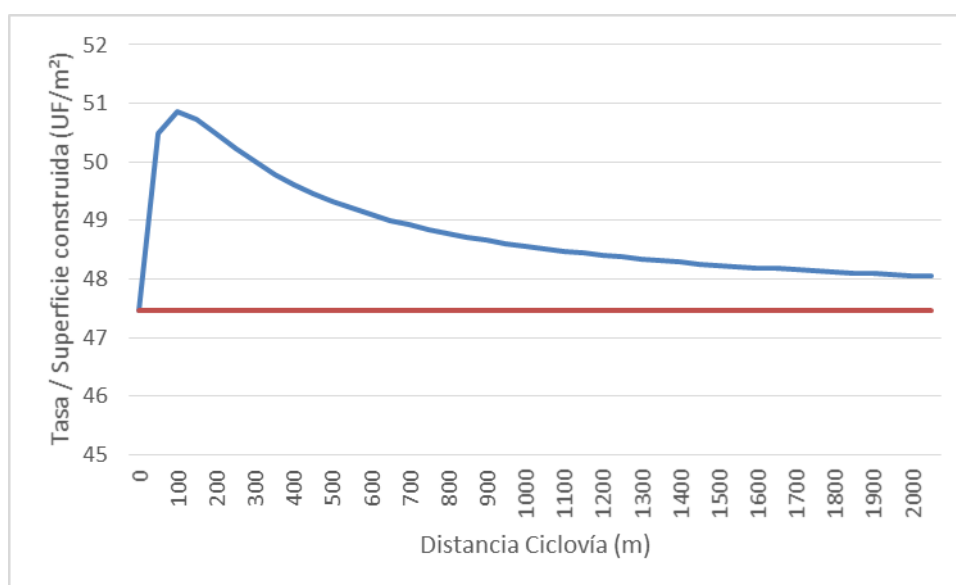


Figura 6-5: Efecto por ciclovía en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

En el punto máximo (100 metros), la ciclovía representa un 7,2% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un efecto de 5,5% del valor de una propiedad. Este valor se condice con el hallazgo del Delaware Center for Transportation & The State of Delaware Department of Transportation (2006), donde las propiedades tuvieron incrementos de precio de al menos 4,5% por la construcción de ciclovías.

En la Figura 6-6 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia al corredor de buses más cercano (en azul). En el punto máximo (10 metros³), el corredor de buses reduce en un 7,1% el valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un impacto de -2,6% del valor de una propiedad.

³ El máximo tiende a infinito a los cero metros, pero se considera razonable establecerlo en 10 metros, puesto que es el margen de error de la georreferenciación de las propiedades y las amenidades.

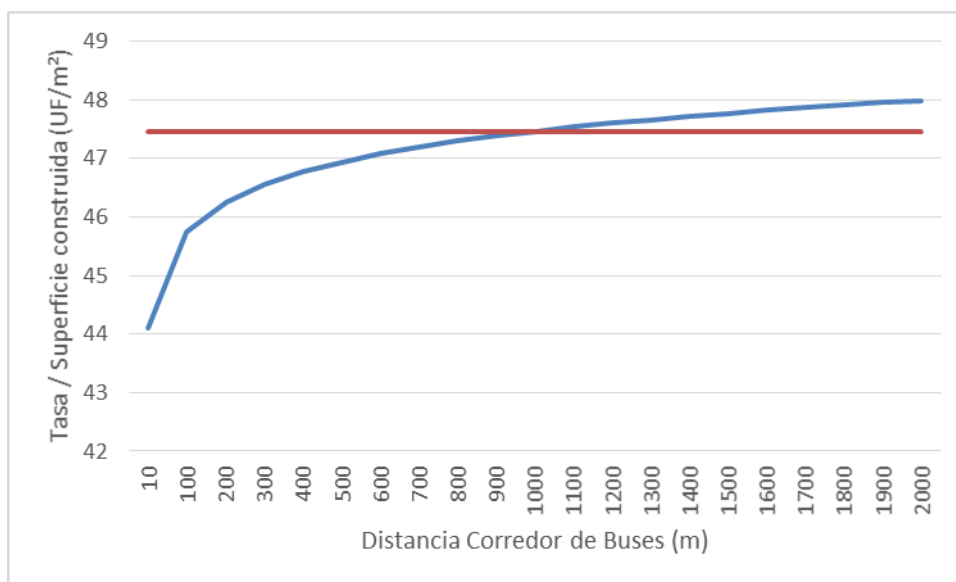


Figura 6-6: Efecto por corredor de buses en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

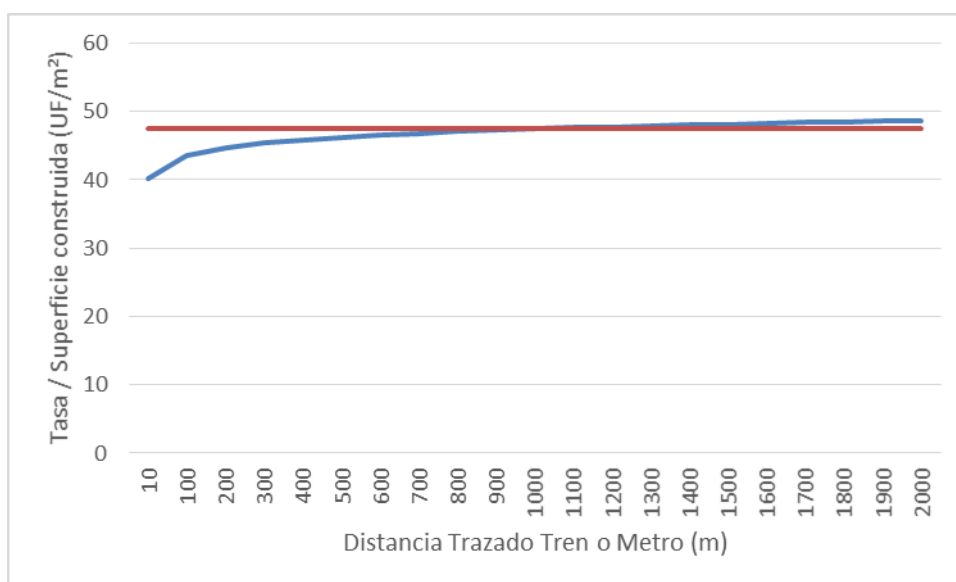


Figura 6-7: Efecto por trazado de tren o metro en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-7 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia al trazado de tren o metro en superficie, trinchera descubierta o elevado más cercano (en azul). En el punto máximo (10 metros), el trazado de tren o metro reduce en un 15,4% el valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un impacto de -5,9% del valor de una propiedad.

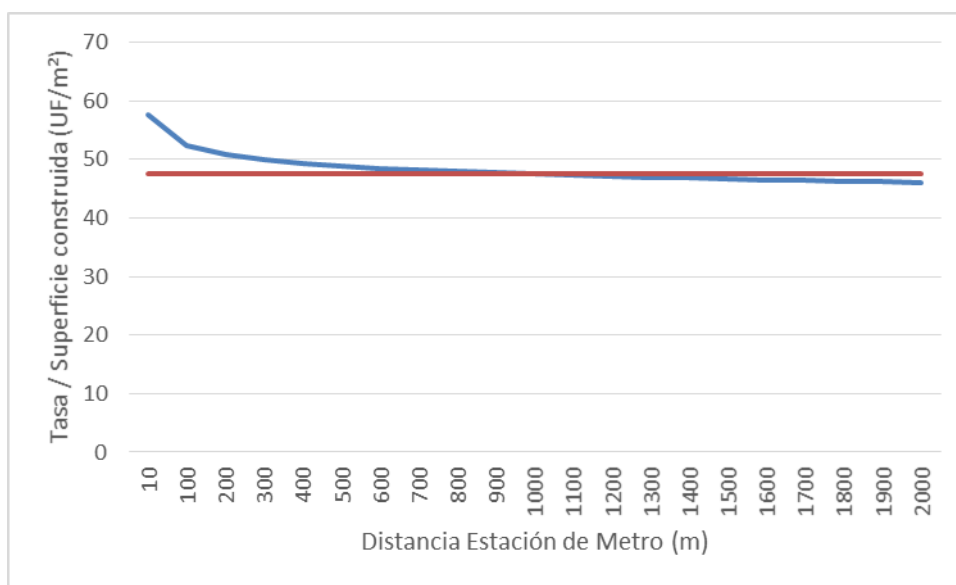


Figura 6-8: Efecto por estación de metro en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-8 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la estación de metro más cercana (en azul). En el punto máximo (10 metros), la estación de metro representa un 21,2% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un efecto de 7,4% del valor de una propiedad. Este valor es mayor al promedio encontrado por Debrezion et al. (2007), que es de 4,2%, pero se considera igualmente correcto, ya que dicho promedio se basa en estudios de ciudades con redes más densas de metro, como Nueva York, en las que

es de esperarse que esta amenidad tenga un menor efecto relativo en las propiedades al encontrarse cercana a una mayor proporción de ellas.

En la Figura 6-9 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia al trazado de autopista en superficie, trinchera descubierta o elevada más cercana (en azul). En el punto máximo (10 metros), el trazado de la autopista reduce un 12,7% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un impacto de -4,8% del valor de una propiedad.

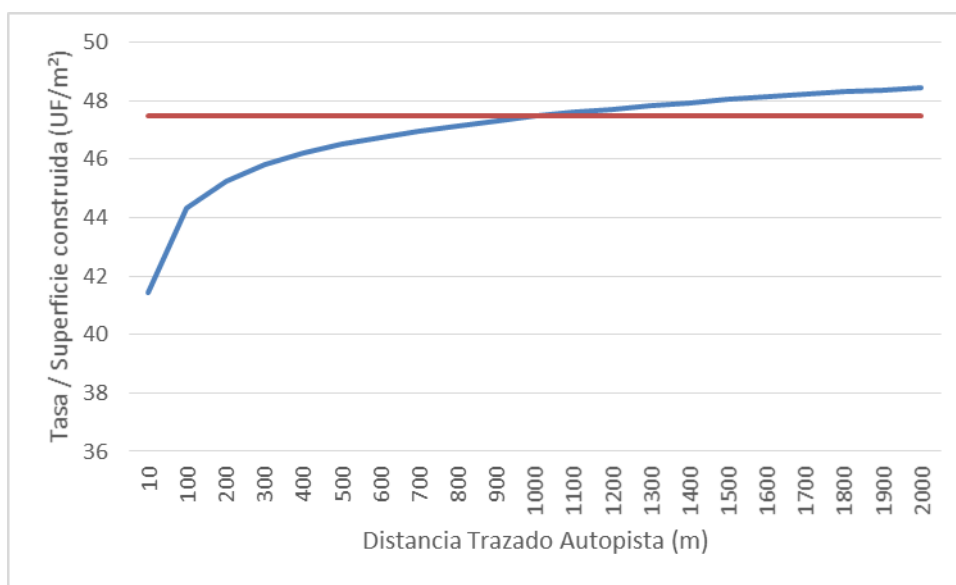


Figura 6-9: Efecto por trazado de autopista en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-10 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia al parque o plaza más cercana (en azul). En el punto máximo (100 metros), el parque o plaza representa un 9,1% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un efecto de 6,9% del valor de una propiedad.

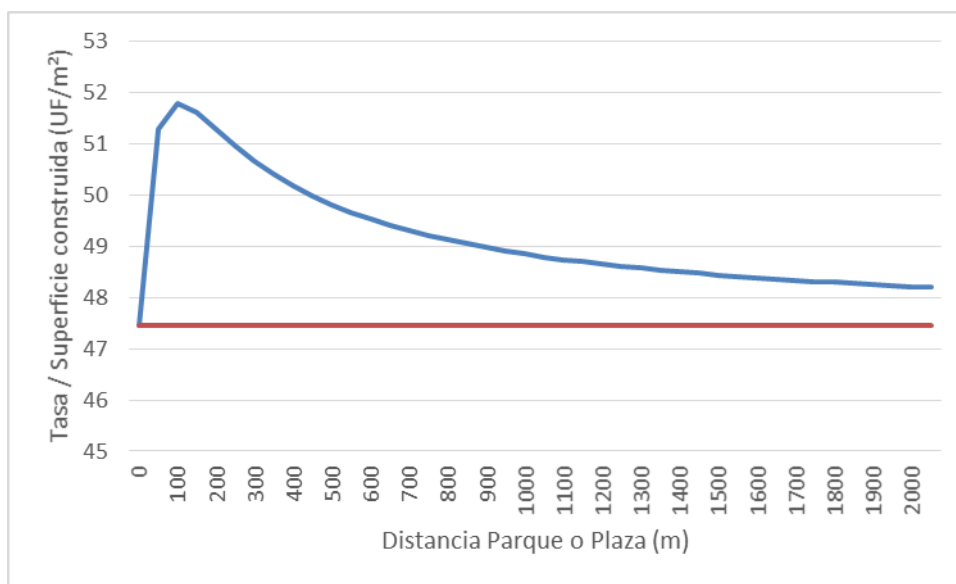


Figura 6-10: Efecto por parque o plaza en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

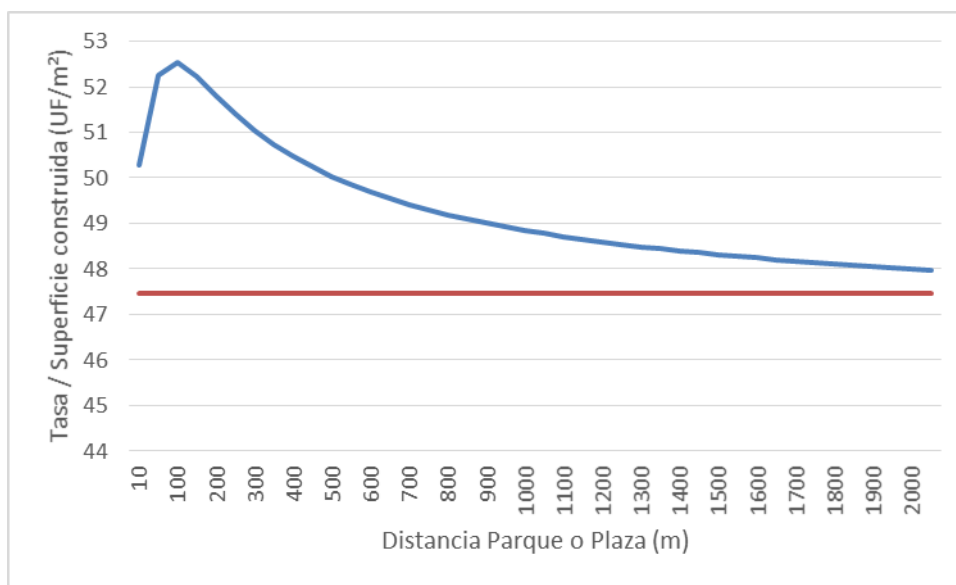


Figura 6-11: Efecto por gran parque en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-11 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia al gran parque más cercano (en azul). En el punto máximo (100 metros), el gran parque o plaza representa un 10,7% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un efecto de 8,1% del valor de una propiedad.

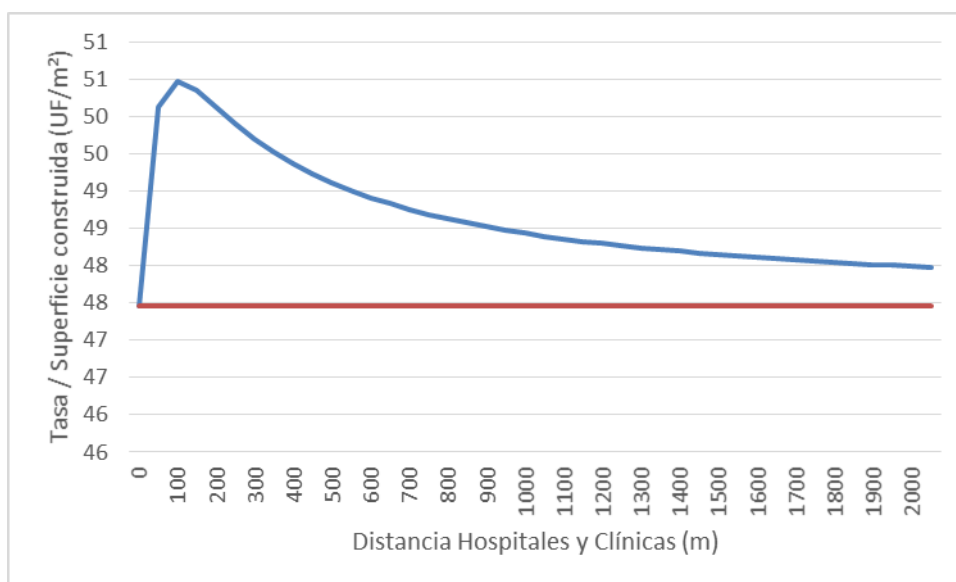


Figura 6-12: Efecto por hospital o clínica en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-12 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia al hospital o clínica más cercana (en azul). En el punto máximo (100 metros), el hospital o clínica representa un 6,4% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un efecto de 4,8% del valor de una propiedad.

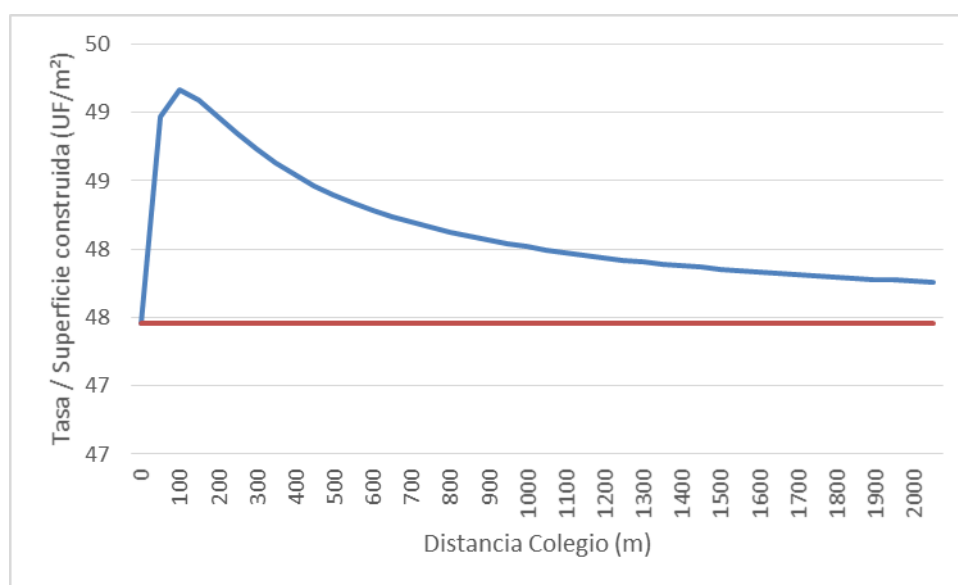


Figura 6-13: Efecto por colegio en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-13 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia al colegio más cercano (en azul). En el punto máximo (100 metros), el colegio representa un 3,6% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un efecto de 2,7% del valor de una propiedad.

6.1.5. Efectos por localización

Los efectos por localización resultaron ser estadísticamente significativos, tanto al centro histórico, como a Providencia y el centro financiero de Santiago, conocido como *Sanhattan*. En la Figura 6-14 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia al Centro (en azul).

En el punto máximo (10 metros), el Centro representa un 13,9% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un efecto de 4,9% del valor de una propiedad.

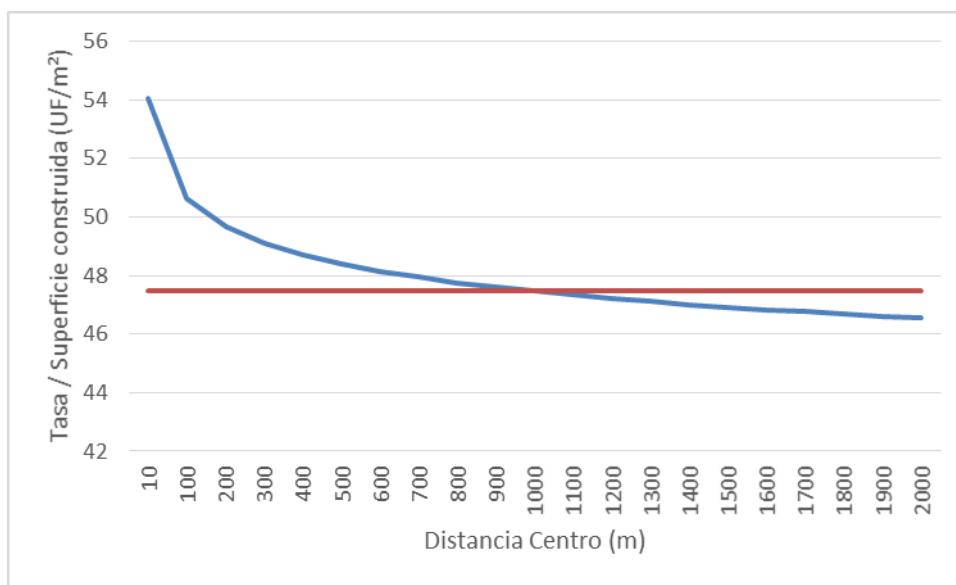


Figura 6-14: Efecto por distancia al Centro (localización) en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-15 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia a Providencia (en azul). En el punto máximo (10 metros), Providencia representa un 41,2% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un efecto de 13,8% del valor de una propiedad.

En la Figura 6-16 se puede apreciar el valor medio de las propiedades usadas para modelar (en rojo) y como varía su precio en base a la distancia a *Sanhattan* (en azul). En el punto máximo (10 metros), *Sanhattan* representa un 15,1% del valor de una propiedad, mientras que en una vecindad de 500 metros, promedia un efecto de 5,3% del valor de una propiedad.

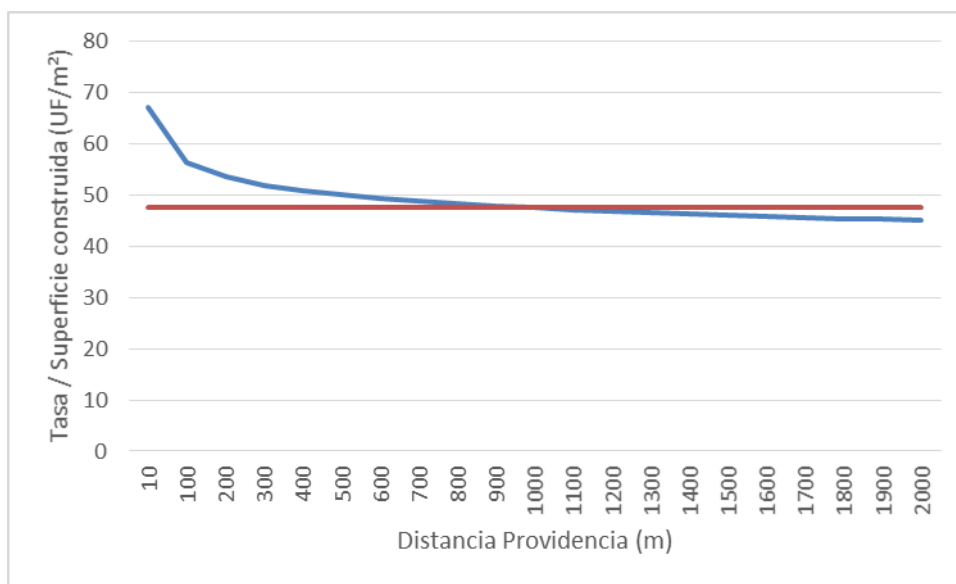


Figura 6-15: Efecto por distancia a Providencia (localización) en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

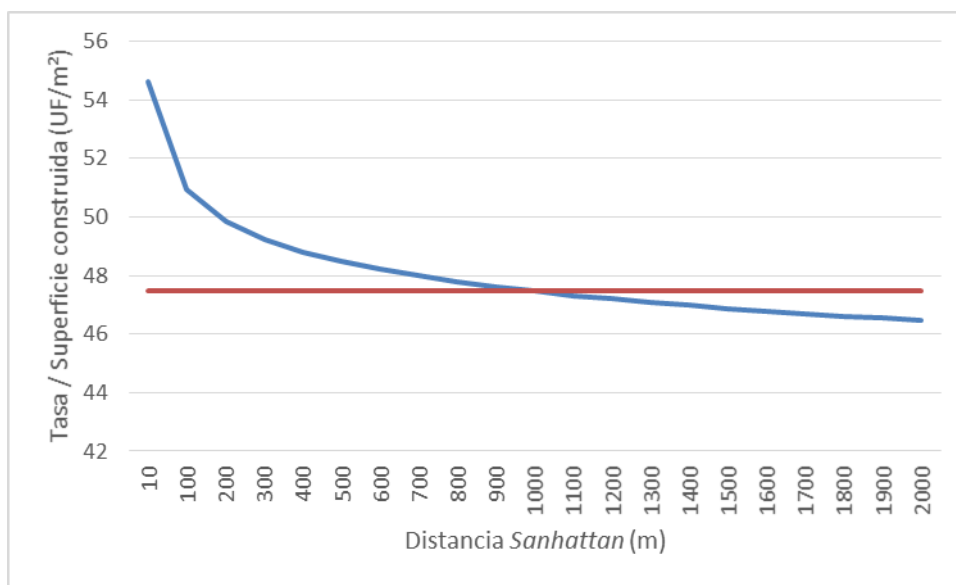


Figura 6-16: Efecto por distancia a Sanhattan (localización) en la propiedad

Fuente: Elaboración propia

6.1.6. Comparación de efectos

En la Tabla 6-1 se comparan los efectos relativos producidos por cada una de las amenidades urbanas, ordenadas de mayor a menor, y separados por variación máxima y variación media (en una vecindad de 700 metros). Es importante notar que el orden no es el mismo para el máximo y la media en las amenidades con efectos positivos, ya que aquellas que tienen una forma funcional compleja alcanzan un máximo relativamente más alto que las de forma logarítmica.

Se considera una mejor medida para comparar la variación media, ya que la máxima es una situación puntual. En ella, se aprecia que la amenidad urbana de menor impacto son los colegios. Por otro lado, la amenidad con mayor impacto positivo son las estaciones de Metro, mientras que la con mayor impacto negativo son los trazados de tren o metro. La escala de prioridades que exhiben estos resultados se considera teóricamente razonable.

Tabla 6-1: Comparación de efectos

Amenidad Urbana	Variación Máxima	Variación Media (*)
Estación de Metro	19,4%	4,3%
Gran Parque	6,3%	2,9%
Parque o Plaza	5,0%	2,2%
Ciclo-vía	4,0%	1,8%
Hospital o Clínica	3,5%	1,6%
Colegio	2,0%	0,9%
Corredor de Buses	-6,5%	-1,6%
Trazado Autopista	-11,8%	-2,9%
Trazado Tren o Metro	-14,3%	-3,5%

Fuente: Elaboración propia

(*) En una vecindad de 700 metros.

Otra forma de comparar las amenidades urbanas es hacerlo a través de la elasticidad del precio de las propiedades frente a cada una de ellas. La complejidad del modelo produce que las elasticidades varíen en conjunto con la distancia a las amenidades urbanas, por lo que se decidió utilizar el promedio de ellas en una vecindad de 700 metros, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6-2: Elasticidades del precio

Amenidad Urbana	Elasticidad Media (*)
Estación de Metro	-0,042
Gran Parque	-0,028
Parque o Plaza	-0,022
Ciclo-facilidad	-0,017
Hospital o Clínica	-0,015
Colegio	-0,009
Corredor de Buses	0,016
Trazado Autopista	0,029
Trazado Tren o Metro	0,036

Fuente: Elaboración propia

(*) En una vecindad de 700 metros.

Las elasticidades negativas implican que al incrementar la distancia a la amenidad urbana el precio de la propiedad se reduce, mientras que las positivas significan lo contrario. Es posible apreciar como al ordenarlas por magnitud, constituyen la misma escala de prioridades relativas que las variaciones máximas.

6.2. Validación del modelo

Para validar el modelo, se obtuvo una base de datos adicional con información correspondiente a propiedades tasadas entre el 15 de marzo y el 30 de abril de 2016, que

estuvieran ubicadas en las mismas zonas que las propiedades con las que se trabajó inicialmente. A ellas se les aplicó el mismo proceso de depuración, con lo que la muestra se redujo a 146 datos, a los que se les calculó las distancias a las mismas amenidades. Posteriormente, se aplicó el modelo a estos datos y se estimó el valor de las tasaciones, a fin de determinar su poder predictivo.

Como resultado, se obtuvo un error absoluto medio de 4,47%, con un máximo de 31,70% y un mínimo de 0,03%. Además, se aplicó la prueba chi cuadrado y la prueba G, con las que se obtuvo resultados de 1,92 y 8,66, ambos muy inferiores al valor teórico de 113,66, por lo que se considera que el modelo es capaz de replicar la distribución de los datos.

6.3. Ejemplos de aplicación

El modelo desarrollado puede usarse para estimar los impactos en el valor de las propiedades que pueden tener la construcción de diferentes amenidades urbanas, para lo cual se tienen dos alternativas. La primera es que es posible elaborar una base de datos con todas las variables requeridas para determinar el precio de cada propiedad con el modelo, y aplicarlo tanto de la situación base como de la situación con proyecto.

La segunda opción es obtener de una fuente externa el valor de las propiedades en la situación base (con tasaciones), y determinar su variación en base al modelo. Para hacerlo se requiere dividir el precio base por el estimador de la amenidad a estudiar evaluado en la situación base, y luego multiplicar el resultado por el estimador de la amenidad evaluado en la situación con proyecto.

Matemáticamente esto se traduce en la siguiente expresión:

$$T_p^2 = T_p^1 \left(\frac{f(v_2)}{f(v_1)} \right) \quad (6.1)$$

Donde T_p^2 es el valor de la propiedad p en la situación con proyecto, T_p^1 es el valor de la propiedad p en la situación base, $f(*)$ es el estimador de la amenidad a estudiar, v_1 es el valor de la distancia a dicha amenidad desde la propiedad p en la situación base y v_2 es el valor de la distancia a dicha amenidad desde la propiedad p en la situación con proyecto.

A continuación se detallan ejemplos de aplicaciones para las amenidades urbanas relacionadas al transporte, así como para grandes parques y parques y plazas.

6.3.1. Ciclovías

En la siguiente ecuación se puede apreciar el estimador de esta amenidad urbana:

$$f(DFC) = e^{0,277 \cdot \left(\frac{0.1}{(DCF+0.1)} - \frac{0.01}{(DCF+0.1)^2} \right)} \quad (6.2)$$

Donde todas las variables han sido previamente definidas.

La razón entre dos estimadores se puede expresar como:

$$\frac{f(DFC_2)}{f(DFC_1)} = e^{0,277 \cdot \left(\left(\frac{0.1}{(DCF_2+0.1)} - \frac{0.1}{(DCF_1+0.1)} \right) - \left(\frac{0.01}{(DCF_2+0.1)^2} - \frac{0.01}{(DCF_1+0.1)^2} \right) \right)} \quad (6.3)$$

Donde todas las variables han sido previamente definidas.

Por lo tanto, el precio de una propiedad en la situación con proyecto depende exclusivamente de la distancia a la amenidad y la tasación de la propiedad antes del proyecto, y la distancia a la amenidad en la situación con proyecto, como se muestra a continuación.

$$T_p^2 = T_p^1 \cdot e^{0,277 \cdot \left(\left(\frac{0.1}{(DCF_2+0.1)} - \frac{0.1}{(DCF_1+0.1)} \right) - \left(\frac{0.01}{(DCF_2+0.1)^2} - \frac{0.01}{(DCF_1+0.1)^2} \right) \right)} \quad (6.4)$$

Dado que lo que se busca establecer con estos cálculos es la plusvalía que produce una ciclovía a nivel global, puede que no sea necesario conocer cuánto impactó en cada

propiedad. En dicho caso, es posible definir un área de influencia y determinar el efecto promedio sobre las propiedades.

Por ejemplo, en la Tabla 6-1 es posible notar que las ciclovías incrementan el precio de las propiedades en un 1,8% en promedio, para una vecindad de 700 metros. Por lo tanto, se puede estimar que el beneficio producto de la ciclovía es un 1,8% del valor total de todas las propiedades ubicadas a 700 metros o menos del proyecto y que no estén en el área de influencia de otra ciclovía.

6.3.2. Corredores de buses

En la siguiente ecuación se puede apreciar el estimador de esta amenidad urbana:

$$f(DCB) = DCB^{0,016} \quad (6.5)$$

Donde todas las variables han sido previamente definidas.

La razón entre dos estimadores se puede expresar como:

$$\frac{f(DCB_2)}{f(DCB_1)} = \left(\frac{DCB_2}{DCB_1} \right)^{0,016} \quad (6.6)$$

Donde todas las variables han sido previamente definidas.

Por lo tanto, el precio de una propiedad en la situación con proyecto depende exclusivamente de la distancia a la amenidad y la tasación de la propiedad antes del proyecto, y la distancia a la amenidad en la situación con proyecto, como se muestra a continuación.

$$T_p^2 = T_p^1 \cdot \left(\frac{DCB_2}{DCB_1} \right)^{0,016} \quad (6.7)$$

Al igual que con la ciclovía, dado que lo que se busca establecer con estos cálculos es el efecto a nivel global, puede que no sea necesario conocer cuánto impactó en cada propiedad.

En dicho caso, es posible establecer un área de influencia y determinar el efecto promedio sobre las propiedades.

Por ejemplo, en la Tabla 6-1 es posible notar que los corredores de buses reducen el precio de las propiedades en un 1,6% en promedio, para una vecindad de 700 metros. Por lo tanto, se puede estimar que el costo ocasionado por el corredor de buses es un 1,6% del valor total de todas las propiedades ubicadas a 700 metros o menos del proyecto y que no estén en el área de influencia de otro corredor de buses.

6.3.3. Trazados de tren y Metro

En la siguiente ecuación se puede apreciar el estimador de esta amenidad urbana:

$$T_p^2 = T_p^1 \cdot \left(\frac{DTM_2}{DTM_1} \right)^{0,036} \quad (6.8)$$

Al igual que con los corredores de buses, dado que lo que se busca establecer con estos cálculos es el efecto a nivel global, puede que no sea necesario conocer cuánto impactó en cada propiedad. En dicho caso, es posible establecer un área de influencia y determinar el efecto promedio sobre las propiedades.

Por ejemplo, en la Tabla 6-1 es posible notar que los trazados de tren y metro reducen el precio de las propiedades en un 3,5% en promedio, para una vecindad de 700 metros. Por lo tanto, se puede estimar que el costo ocasionado por el trazado de tren o metro es un 3,5% del valor total de todas las propiedades ubicadas a 700 metros o menos del proyecto y que no estén en el área de influencia de otro trazado de tren o metro.

Este resultado induce a pensar que es posible justificar la inversión en la construcción de trazados subterráneos de tren y metro, al evidenciarse la menor rentabilidad de proyectos en superficie, trinchera descubierta o elevados.

6.3.4. Estaciones de Metro

En la siguiente ecuación se puede apreciar el estimador de esta amenidad urbana:

$$T_p^2 = T_p^1 \cdot \left(\frac{DEM_2}{DEM_1} \right)^{-0,042} \quad (6.9)$$

A diferencia de lo sucedido con las amenidades antes analizadas, se recomienda fuertemente no agrupar las propiedades en áreas de influencia para este caso. Esto se debe a que en futuros estudios podría utilizarse esta información para capturar al menos una parte de la plusvalía que produce la construcción de estaciones de Metro para financiar la construcción de esos mismos proyectos.

6.3.5. Trazados de autopistas

En la siguiente ecuación se puede apreciar el estimador de esta amenidad urbana:

$$T_p^2 = T_p^1 \cdot \left(\frac{DTA_2}{DTA_1} \right)^{0,030} \quad (6.10)$$

Al igual que con los trazados de tren y metro, dado que lo que se busca establecer con estos cálculos es el efecto a nivel global, puede que no sea necesario conocer cuánto impactó en cada propiedad. En dicho caso, es posible establecer un área de influencia y determinar el efecto promedio sobre las propiedades.

Por ejemplo, en la Tabla 6-1 es posible notar que los trazados de autopistas reducen el precio de las propiedades en un 2,9% en promedio, para una vecindad de 700 metros. Por lo tanto, se puede estimar que el costo ocasionado por el trazado de autopistas es un 2,9% del valor total de todas las propiedades ubicadas a 700 metros o menos del proyecto y que no estén en el área de influencia de otro trazado de autopista.

Este resultado induce a pensar que es posible justificar la inversión en la construcción de trazados subterráneos de autopistas, al evidenciarse la menor rentabilidad de proyectos en superficie, trinchera descubierta o elevados.

6.3.6. Parques y plazas

En la siguiente ecuación se puede apreciar el estimador de esta amenidad urbana:

$$T_p^2 = T_p^1 \cdot e^{0,348 \cdot \left(\left(\frac{0.1}{(DPP_2+0.1)} - \frac{0.1}{(DPP_1+0.1)} \right) - \left(\frac{0.01}{(DPP_2+0.1)^2} - \frac{0.01}{(DPP_1+0.1)^2} \right) \right)} \quad (6.11)$$

Al igual que con las ciclovías, dado que lo que se busca establecer con estos cálculos es el efecto a nivel global, puede que no sea necesario conocer cuánto impactó en cada propiedad. En dicho caso, es posible establecer un área de influencia y determinar el efecto promedio sobre las propiedades.

Por ejemplo, en la Tabla 6-1 es posible notar que los parques y plazas incrementan el precio de las propiedades en un 2,2% en promedio, para una vecindad de 700 metros. Por lo tanto, se puede estimar que el beneficio producto de un parque o plaza es un 2,2% del valor total de todas las propiedades ubicadas a 700 metros o menos del proyecto y que no estén en el área de influencia de otro parque o plaza.

6.3.7. Grandes parques

En la siguiente ecuación se puede apreciar el estimador de esta amenidad urbana:

$$T_p^2 = T_p^1 \cdot \left(\frac{DGP_2}{DGP_1} \right)^{-0,006} \cdot e^{0,348 \cdot \left(\left(\frac{0.1}{(DGP_2+0.1)} - \frac{0.1}{(DGP_1+0.1)} \right) - \left(\frac{0.01}{(DGP_2+0.1)^2} - \frac{0.01}{(DGP_1+0.1)^2} \right) \right)} \quad (6.12)$$

Al igual que las estaciones de Metro, se recomienda fuertemente no agrupar las propiedades en áreas de influencia para este caso. Esto se debe a que en futuros estudios podría utilizarse esta información para capturar al menos una parte de la plusvalía que produce la construcción de estaciones de Metro para financiar la construcción de esos mismos proyectos.

6.4. Discusión

Producto de los cambios en las preferencias individuales, es previsible que la precisión del modelo se reduzca a medida pase el tiempo, por lo que se estima que en un horizonte de tres años es necesario actualizarlo. Esto podría no sólo afectar los impactos relativos de cada variable, sino que también qué variables resultan ser significativas y qué forma funcional adquieren.

Idealmente, dicho proceso debería realizarse con información de ventas reales inscritas en el conservador de bienes raíces, pertenecientes a cualquier lugar de la ciudad, eliminando los sesgos y errores que pueden tener asociadas las tasaciones. En relación a este aspecto, el haber modelado con solo algunos lugares de la ciudad puede haber producido algún grado de sesgo, aunque se considera que este es mínimo, ya que se escogieron diversas localizaciones con todo tipo de características urbanas y socioeconómicas.

Además de los datos de ventas reales, sería necesario contar con mapas al día de las diversas amenidades urbanas de Santiago, los cuales requieren un gran esfuerzo inicial, pero su actualización es muy sencilla y puede servir a otros fines, tanto para investigación como para políticas públicas. Esta práctica puede replicarse en otras ciudades, determinando modelos específicos que reflejen las variables relevantes propias de cada una y permitan tomar decisiones con la misma calidad de la información que en Santiago.

Referente a los resultados particulares sobre las ciclovías, debe notarse que el efecto capturado no se considera espurio por dos motivos. Por una parte, la muestra de ciclovías es muy diversa y estas se encuentran localizadas en calles muy distintas entre sí, desde caminos menores a grandes avenidas, por lo que no es posible que estén representando un efecto asociado a las características específicas de dichas vías. Por otro lado, se seleccionaron ejes de control que fueran similares a cada una de las calles con ciclovías, de modo tal que si la ciclovías no fuera la responsable del cambio de precio su coeficiente no sería significativo.

7. CONCLUSIONES

Esta investigación es pionera en el uso de modelos de *precios hedónicos* con formas funcionales complejas para representar la relación entre las amenidades urbanas y el valor de las propiedades. Con ella, fue posible lograr un ajuste a los datos de un nivel remarcable, alcanzado un coeficiente de determinación de 0,7652 y un coeficiente de determinación ajustado de 0,7634, usando 17 variables, una binaria, 12 con forma funcional logarítmica y 4 con forma funcional compleja.

Dicha capacidad de replicar la distribución de los datos fue corroborada al momento de probar su poder predictivo, con el que se obtuvo un error absoluto medio de solo 4,47%, un valor de 1,92 en la prueba chi cuadrado y de 8,66 en la prueba G, ambos muy inferiores al valor máximo de 113,66 para los 146 grados de libertad de la muestra.

Se mostró que existe un efecto estadísticamente significativo de las ciclovías en el valor de las propiedades, producto de lo cual se encuentra en la vanguardia en cuanto a la monetización de los efectos producidos por esta infraestructura. Más aún, ofrece una metodología que permite el cálculo de los beneficios a través de una sencilla ecuación, que solo requiere el valor inicial de las propiedades y la distancia a la ciclovía más cercana antes y después del desarrollo de dicha infraestructura.

Dada la riqueza de los datos y la complejidad del modelo, también fue posible extender la metodología a las otras amenidades urbanas, pudiendo calcular de forma igualmente simple los beneficios (o costos) asociados a corredores de buses, trazados de tren o metro, estaciones de metro, trazados de autopistas, parques y plazas, y grandes parques.

Debido a lo anterior, se recomienda fuertemente la incorporación a la brevedad de los beneficios de este tipo de amenidades en evaluación social de proyectos, ya que sus impactos no son en absoluto despreciables.

Otro aspecto destacable es que la información que proporciona puede usarse también como herramienta de diseño, particularmente al monetizar los impactos negativos que tiene la construcción de trazados de tren, metro y autopistas en superficie, trinchera descubierta o elevados. Así, puede ser posible fundamentar cuantitativamente los beneficios de proyectos soterrados y justificar su mayor costo.

Una aplicación adicional a los resultados de la investigación es usarlos como base para tomar medidas que permitan capturar al menos una parte de la plusvalía de las propiedades generadas por proyectos de infraestructura, como son la construcción de líneas de metro o grandes parques, de forma de utilizarlos para el financiamiento de los mismos proyectos. No obstante, el cómo recuperar esos beneficios es una materia que se escapa del alcance de la presente tesis.

Por último, existe una dimensión privada para el uso del modelo, ya que este es capaz de estimar el precio de una propiedad a partir de sus atributos, el cual no fue analizado en profundidad por encontrarse fuera del objetivo de la investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Agostini, C. & Palmucci, G. (2008a). Capitalización anticipada del Metro de Santiago en el precio de las viviendas. *Trimestre Económico*, 562, 1-29.
- Agostini, C. & Palmucci, G. (2008b). Capitalización heterogénea de un bien semipúblico: el Metro de Santiago. *Cuadernos de Economía*, 45, 105-128.
- Alonso, W. (1960). A theory of the urban land market. *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, 6, 149-157.
- Alonso, W. (1964). Location and Land Use. *Toward a General Theory of Land Rent*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bell, M. & Bowman, J. (2008). *Consistency of Land Values: Comparison of three general approaches to valuing land where there are few vacant land sales*. Lincoln Institute of Land Policy.
- Biligiri, K. P. (2013). Effect of pavement materials' damping properties on tyre/road noise characteristics. *Construction and Building Materials*, 49, 223-232.
- Black, P. E. (2006). Manhattan distance. *Dictionary of Algorithms and Data Structures*, 18, 2012.
- Cao, X. & Hough, J. (2008). Hedonic Value of transit accessibility: an empirical analysis in a small urban area. *Journal of the Transportation Research Forum*, 47 (3), 171-183.
- Cheshire, P. & Sheppard, S. (2002). *Capitalising the value of free schools: the impact of land supply constraints*. Williams College, Department of Economics.
- CEDEUS (2016). *Base de datos del Observatorio CEDEUS*. Disponible en línea en <http://observatorio.cedeus.cl/> (consultada el 27 de Enero de 2016).

Debrezion, G., Pels, E., & Rietveld, P. (2007). The impact of railway stations on residential and commercial property value: a meta-analysis. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 35(2), 161-180.

Debrezion, G., Pels, E. & Rietveld, P. (2011). The impact of rail transport on real estate prices: an empirical analysis of the Dutch housing market. *Urban Studies*, 48, 997-1015.

Delaware Center for Transportation & The State of Delaware Department of Transportation (2006). *Property Value/Desirability Effects of Bike Paths Adjacent to Residential Areas*. Center for Applied Demography & Survey Research, College of Human Services, Education and Public Policy, University of Delaware, Newark.

DiPasquale, D. & Wheaton, W. (1996). *Urban economics and Real-Estate Markets*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Gadziński, J. & Radzinski, A. (2016). The first rapid tram line in Poland: how has it affected travel behaviours, housing choices and satisfaction, and apartment prices? *Journal of Transport Geography*, 54, 451-463.

Gobierno de Chile (2016). *Portal de Datos Abiertos*. Disponible en línea en <http://datos.gob.cl/> (consultado el 3 de Febrero de 2016).

Google Maps (2016). *Google Maps*. Disponible en línea en <https://www.google.cl/maps/> (consultada el 29 de Febrero de 2016).

Google Street View (2016). *Google Earth*. Consultada el 17 de Febrero de 2016.

Harrison, D. & Rubinfeld, D. (1978). Hedonic housing prices and the demand for clean air. *Journal of environmental economics and management*, 5, 81-102.

- Hurtubia, R. & Bierlaire, M. (2014). Estimation of bid functions for location choice and price modeling with a latent variable approach. *Networks and Spatial Economics*, 14(1), 47-65.
- Jensen, S. (2007). Pedestrian and bicyclist level of service on roadway segments. *Transportation Research Record*, 2031, 43-51.
- Kim, K. & Lahr, M. L. (2014). The impact of Hudson-Bergen light rail on residential property appreciation. *Papers in Regional Science*, 93, S79-S97.
- Liao, W.-C. & Wang, X., 2012. Hedonic house prices and spatial quantile regression. *Journal of Housing Economics*, 21, 16-27.
- Louviere, J. J., Train, K., Ben-Akiva, M., Bhat, C., Brownstone, D., Cameron, T. A., Carson, R. T., Deshazo, J. R., Fiebig, D., Greene, W., Hensher, D. & Waldman, D. (2005). Recent progress on endogeneity in choice modelling. *Marketing Letters*, 16, 255-265.
- Mann, H. B. & Wald, A. (1943). On the statistical treatment of linear stochastic difference equations. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 11, 173-220.
- Martínez, F. J. (1995). Access: the transport-land use economic link. *Transportation Research*, 29B, 457-470.
- McGrath, D. T. & McMillen, D. P. (2007). *Urban Nature Centers and House Prices in Chicago*.
- McMillen, D. (2008). Teardowns and hedonic land value function estimation using non-sample information. *Unpublished manuscript*. University of Illinois.
- MINVU (2015). *Manual de Vialidad Ciclo Inclusiva – Recomendaciones de diseño*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile.

- Mohammad, S., Graham, D. & Melo, P. (2015). The effect of the Dubai Metro on the value of residential and commercial properties. *The Journal of Transport and Land Use*, 2, 1-25.
- Moreno, L. & Gálvez, T. (2015). Evaluación social de soluciones de conectividad interterrazas en Puerto Montt por el método de Valor de Opción. *XVII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, Concepción, 2015.
- Pearson, K. (1900). On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 50(302), 157-175.
- Portnov, B., Genkin, B. & Barzilay, B. (2010). Investigating the effect of train proximity on apartment prices: Haifa, Israel as a case study. *Journal of Real State Research*, 31, 371-395.
- QGIS Development Team (2016). *QGIS Geographic Information System 2.12.3*. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://www.qgis.org>.
- Rodríguez, D. A. & Mojica, C. H. (2009). Capitalization of BRT network expansions effects into prices of non-expansion areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43, 560-571.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of political economy*, 82(1), 34-55.
- Sabatini, F. (1990). Precios del suelo y edificación de viviendas. *Revista EURE*, 49, 63-72.
- SECTRA & MIDEPLAN (2009). *Construcción de red de ciclovías, Copiapó*. Secretaría de Planificación de Transporte, Gobierno de Chile; Ministerio de Planificación y Cooperación, Gobierno de Chile.

SECTRA & MDS (2013). *Metodología para la formulación y evaluación de planes maestros de ciclo-rutas*. Secretaría de Planificación de Transporte, Gobierno de Chile; Ministerio de Desarrollo Social (División de Evaluación Social de Inversiones), Gobierno de Chile.

SECTRA (2015). *Encuesta Origen Destino de Viajes Santiago 2012*. Reporte del Observatorio Social, Universidad Alberto Hurtado, Santiago. Secretaría de Planificación de Transporte, Gobierno de Chile.

Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. (1981). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. Segunda Edición, San Francisco: Freeman.

StataCorp (2011). *Stata Statistical Software: Release 12*. College Station, TX: StataCorp LP.

Student. (1908). The probable error of a mean. *Biometrika*, 1-25.

Sun, W., Zheng, S. & Wang, R. (2015). The capitalization of subway acces in home value: a repeat-rentals model with supply constraints in Beijing. *Transportation Research Part A*, 80, 104-115.

Theil, H. (1961). *Economic Forecast and Policy*. North Holland, Amsterdam.

Train, K. (2009). *Discrete Choice Methods with Simulation*. Segunda Edición, Cambridge: Cambridge University Press.

Transsa (2016). *Tasaciones de propiedades en la ciudad de Santiago entre 2007 y 2016*. Santiago, Chile. <http://www.transsa.com/>.

Weinberger, R. (2001). Light rail proximity: Benefit or detriment in the case of Santa Clara County, California?. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1747), 104-113.

White, J. S. (1958). The limiting distribution of the serial correlation coefficient in the explosive case. *The Annals of Mathematical Statistics*, 29(4), 1188-1197.

Zhang, X., Liu, X., Hang, J., Yao, D. & Shi, G. (2016). Do urban rail transit facilities affect housing prices? Evidence from China. *Sustainability*, 8(4), 380-393.

ANEXOS

ANEXO A: DESCRIPCION DE CICLOVIAS

Tabla A-1: Descripción Ciclovías

Ciclovía	Inicio	Fin	Comuna	Inauguración
Miguel Claro	Providencia	Rengo	Providencia	mar-15
Ricardo Lyon	D. de Velásquez	Dr. Pedro Lautaro Ferrer	Providencia	dic-15
Teatinos	Balmaceda	Alameda	Santiago	may-15
Matucana - Rosas	M. de Rosas	21 de Mayo	Santiago	abr-14
Portugal	Alameda	Manuel Antonio Matta	Santiago	jul-15
Roma - Dorsal	B. de Jiménez	Cardenal José María Caro	Conchalí - Recoleta	mar-10
Costanera Sur	Alberto Loseco	Balmaceda	Quinta Normal	ene-15
Departamental	Florida Center	Américo Vespucio	La Florida	nov-13
Carmen	Curicó	Prensa	Santiago - S. Joaquín	feb-09
Vicuña Mackenna	Vicente Valdés	Ernesto Alvear	La Florida - P. Alto	mar-09
Presidente Riesco	A. Vespucio	Alonso de Córdova	Las Condes	nov-06
Renato Sanchez	Alcántara	Américo Vespucio	Las Condes	feb-14
L. Nevería - L. Malvas	A. Vespucio	Manquehue Sur	Las Condes	feb-14
Callao	El Bosque Sur	Alcántara	Las Condes	mar-14
Noruega	Apoquindo	Santa Brígida	Las Condes	mar-14
Latadía	A. Vespucio	Tomás Moro	Las Condes	mar-14
PAC - C. a Melipilla	Avenida Cuatro	Américo Vespucio	Cerillos	sep-08
Pajaritos	Rey G. Adolfo	Américo Vespucio	E. Central - Maipú	nov-08
Santa Rosa	Santo Tomás	Gabriela	La Pintana	abr-15
Pío Nono	Santa Filomena	Bellavista	Recoleta	jun-08
Marín	Portugal	General Bustamante	Santiago	ago-15

Fuente: Elaboración propia

Tabla A-2: Descripción Ciclovías (parte 2)

Ciclovía	Tipo	Dirección	Posición	Ubicación	Material	
Miguel Claro	Ciclobanda	Bidireccional	Izquierda	Calzada	Cemento Asfalto	-
Ricardo Lyon	Ciclobanda	Bidireccional	Izquierda	Calzada	Asfalto	
Teatinos	Ciclobanda	Bidireccional	Derecha - Izquierda	Calzada	Adoquines Asfalto	-
Matucana - Rosas	Ciclobanda	Bidireccional	Derecha - Izquierda	Calzada	Asfalto	
Portugal	Ciclobanda	Bidireccional	Ambas	Calzada	Asfalto	
Roma - Dorsal	Ciclovía	Bidireccional	Derecha - Izquierda	Acera	Asfalto	
Costanera Sur	Ciclovía	Bidireccional	Izquierda	Bandejón	Asfalto	
Departamental	Ciclovía	Bidireccional	Derecha	Acera	Asfalto	
Carmen	Ciclovía	Bidireccional	Derecha - Izquierda	Acera	Asfalto	
Vicuña Mackenna	Ciclovía	Bidireccional	Derecha	Acera	Asfalto	
Presidente Riesco	Ciclovía	Bidireccional	Derecha	Acera	Asfalto	
Renato Sanchez	Ciclobanda	Bidireccional	Izquierda	Calzada	Asfalto	
L. Nevería - L. Malvas	Ciclobanda	Bidireccional	Izquierda	Calzada	Asfalto	
Callao	Ciclobanda	Bidireccional	Izquierda	Calzada	Asfalto	
Noruega	Ciclobanda	Bidireccional	Derecha	Calzada	Asfalto	
Latadía	Ciclobanda	Bidireccional	Izquierda	Calzada	Asfalto	
PAC - C. a Melipilla	Ciclobanda - Ciclovía	Bidireccional	Derecha	Acera	Asfalto	
Pajaritos	Ciclovía	Bidireccional	Izquierda	Bandejón	Asfalto	
Santa Rosa	Ciclovía	Bidireccional	Derecha	Acera	Asfalto	
Pío Nono	Ciclobanda	Bidireccional	Izquierda	Acera - Calzada	Asfalto	
Marín	Ciclobanda	Unidireccional	Derecha	Calzada	Asfalto	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO B: DESCRIPCION DE EJES DE CONTROL

Tabla B-1: Ejes de control

Eje de Control	Inicio	Fin	Comuna
Seminario	Providencia	Malaquías Concha	Providencia
Luis Thayer Ojeda	Providencia	El Aguilucho	Providencia
Miraflores	Esmeralda	Alameda	Santiago
Moneda	Matucana	Manuel Rodríguez	Santiago
Salvador	Providencia	Caupolicán	Providencia
Einstein	Independencia	Recoleta	Indepe. - Recoleta
Jorge Hirmas	Apostol Santiago	P. Eduardo Frei M.	Renca
Departamental	Santa Rosa	Heydn	San Joaquín
Nataniel Cox	P. Felipe Gómez de V.	Placer	Santiago
La Florida	Real Pontevera	San Carlos	La Florida - P. Alto
Las Hualtatas	Américo Vespucio	Luis Carrera	Vitacura
Martín de Zamora	M. Sánchez Fontecilla	Américo Vespucio	Las Condes
Martín de Zamora	Américo Vespucio	Sebastián Elcano	Las Condes
Presidente Riesco	Vitacura	El Golf	Las Condes
Leonardo Da Vinci	Fray Angelico	Apoquindo	Las Condes
Alonso de Camargo	Sebastián Elcano	Tomás Moro	Las Condes
Cerrillos	Departamental	Américo Vespucio	PAC - Lo Espejo
5 de Abril - Lo Errázuriz	Las Rejas	Isabel Riquelme	E. Central - Maipú
San Francisco	Venancia Leiva	Lo Blanco	La Pintana
Loreto	Domínica	Bellavista	Recoleta
María Luisa Santander	General Bustamante	Salvador	Providencia

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C: VARIABLES DE LAS PROPIEDADES

Tabla C-1: Variables de las propiedades

Variable	Descripción	Uso
Registro	Fecha y hora de la tasación.	No se usará directamente.
Comuna	Comuna donde se ubica la propiedad.	No se usará directamente.
Tipo	Tipo de propiedad: Departamento, Casa, Industrial, Galpón, Comercial, Oficina, Bodega, Agrícola, Parcela, Estacionamiento, Terreno, Vehículo, Maquinaria, Obra en construcción, Piloto u Otros.	No se usará directamente para modelar, pero si para separar la muestra por tipo.
Uso	Nivel de uso de la propiedad: No aplica (para terrenos sin construcción), En construcción, Nueva o Usada.	No se usará directamente.
Año Construcción	Año en que se construyó la propiedad.	No se usará directamente.
Vida Útil	Vida útil remanente de la propiedad, en años.	Relevante, signo positivo.
Terreno	Metros cuadrados de terreno no construido de la propiedad, no aplica para departamentos.	Relevante, signo positivo.
Construcción	Metros cuadrados construidos de la propiedad.	Relevante, signo positivo.
Tasa (Uf)	Valor de la tasación de la propiedad en UF.	Variable explicativa.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO D: VARIABLES CONSTRUIDAS

Tabla D-1: Variables construidas

Variable	Descripción	Signo	Importancia
Fecha	Año de la tasación, se usará para agrupar los datos.	-	-
Año 20xx	Binaria, vale 1 para propiedades tasadas en el año 20XX, 0 en otro caso.	Indeterminada	Indeterminada
Casa	Binaria, solo aplicable a propiedades habitacionales, vale 1 para casas, 0 en otro caso.	Positivo	Indeterminada
Nueva	Binaria, vale 1 para construcciones nuevas, 0 en otro caso.	Positivo	Indeterminada
Edad	Años de antigüedad de la propiedad al momento de realizar la tasación.	Negativo	Relevante
Espacio	Metros cuadrados totales de terreno de la propiedad, incluyendo los metros cuadrados construidos. Se construye debido a la dificultad de trabajar la variable original Terreno.	Positivo	Relevante
Histórica	Binaria, vale 1 si la propiedad tiene 50 o más años de antigüedad, 0 en otro caso.	Positivo	Indeterminada
Ingreso	Ingreso medio zonal en UFs de los hogares en la comuna (Observatorio Urbano, MINVU, 2009).	Positivo	Relevante

Fuente: Elaboración propia

ANEXO E: MAPAS DE AMENIDADES URBANAS

Figura E-1: Supermercados

Fuente: Elaboración propia



Figura E-2: Centros Comerciales

Fuente: Elaboración propia

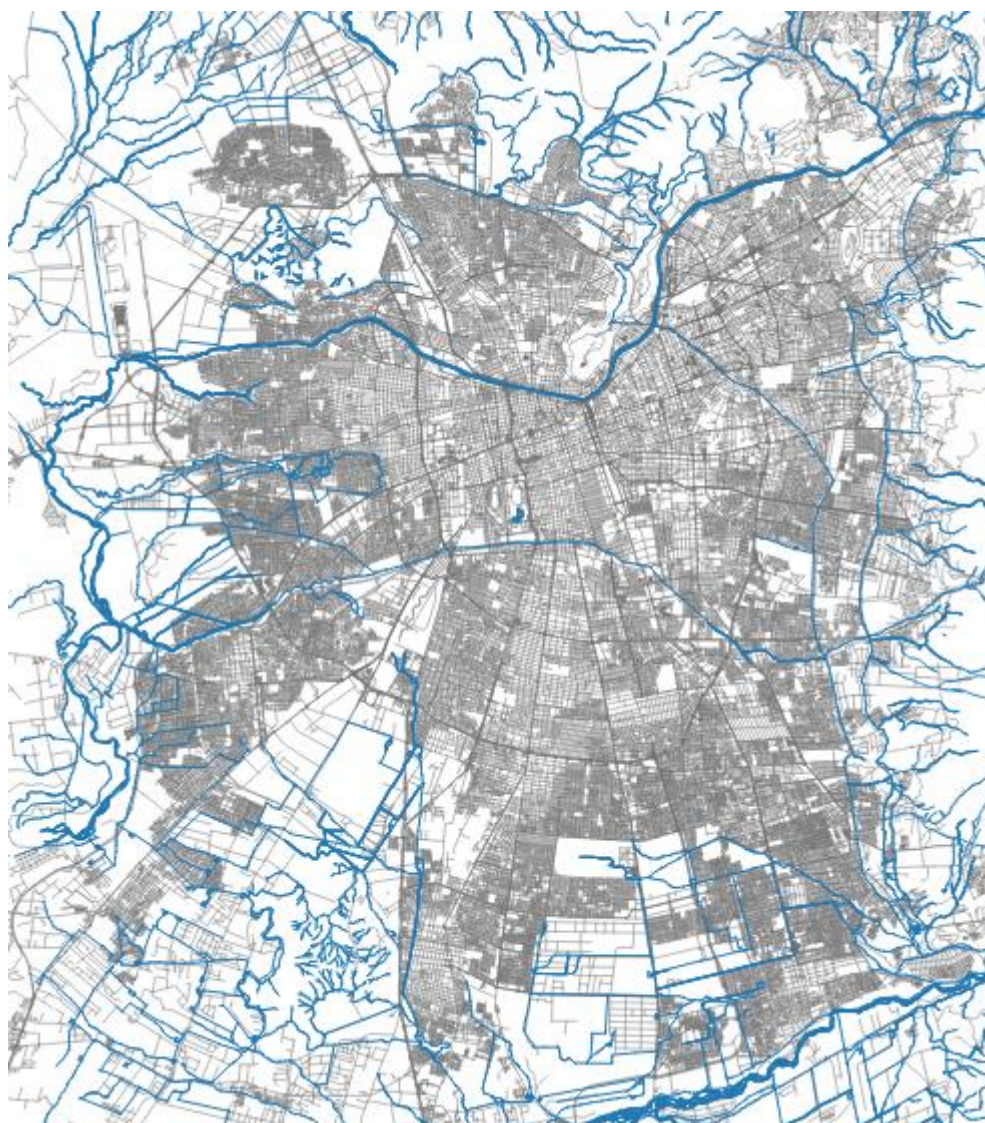


Figura E-3: Hidrografía

Fuente: CEDEUS (2016)

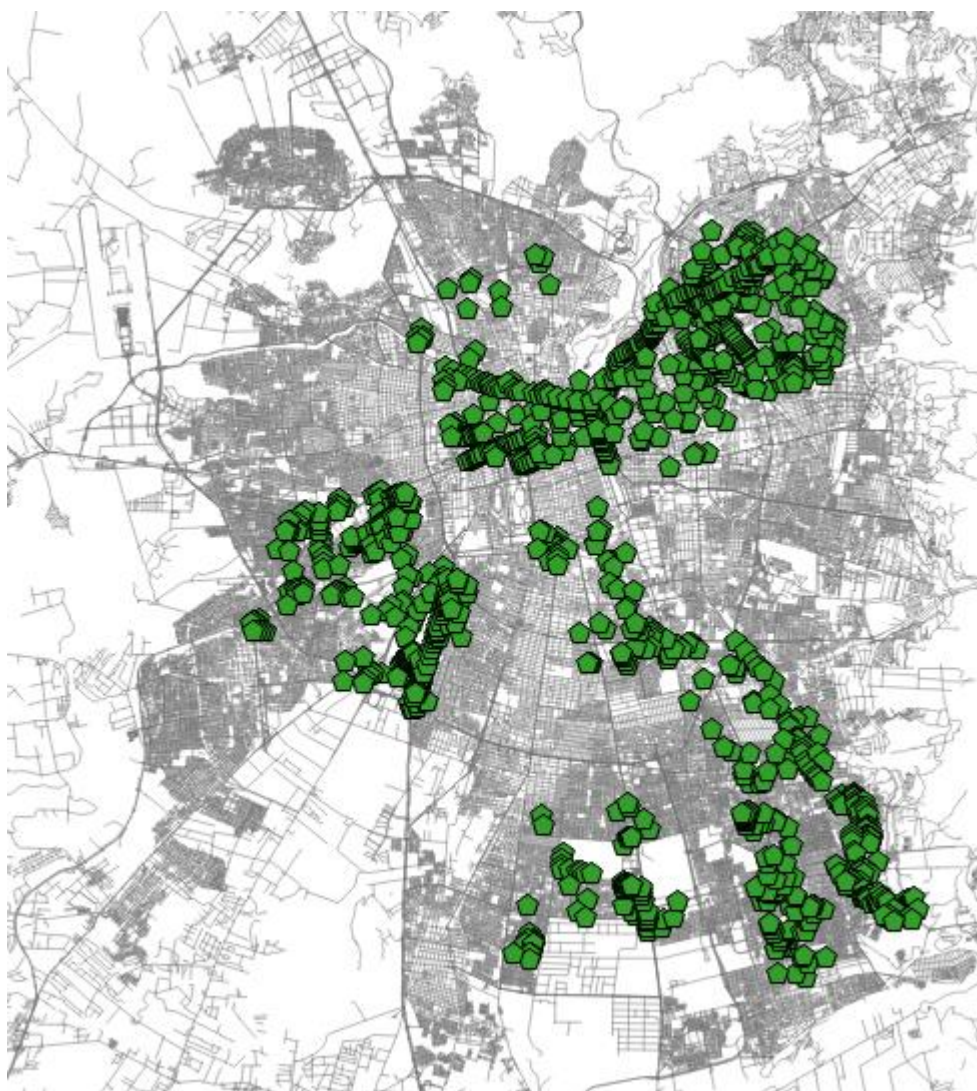


Figura E-4: Parques y plazas

Fuente: Elaboración propia

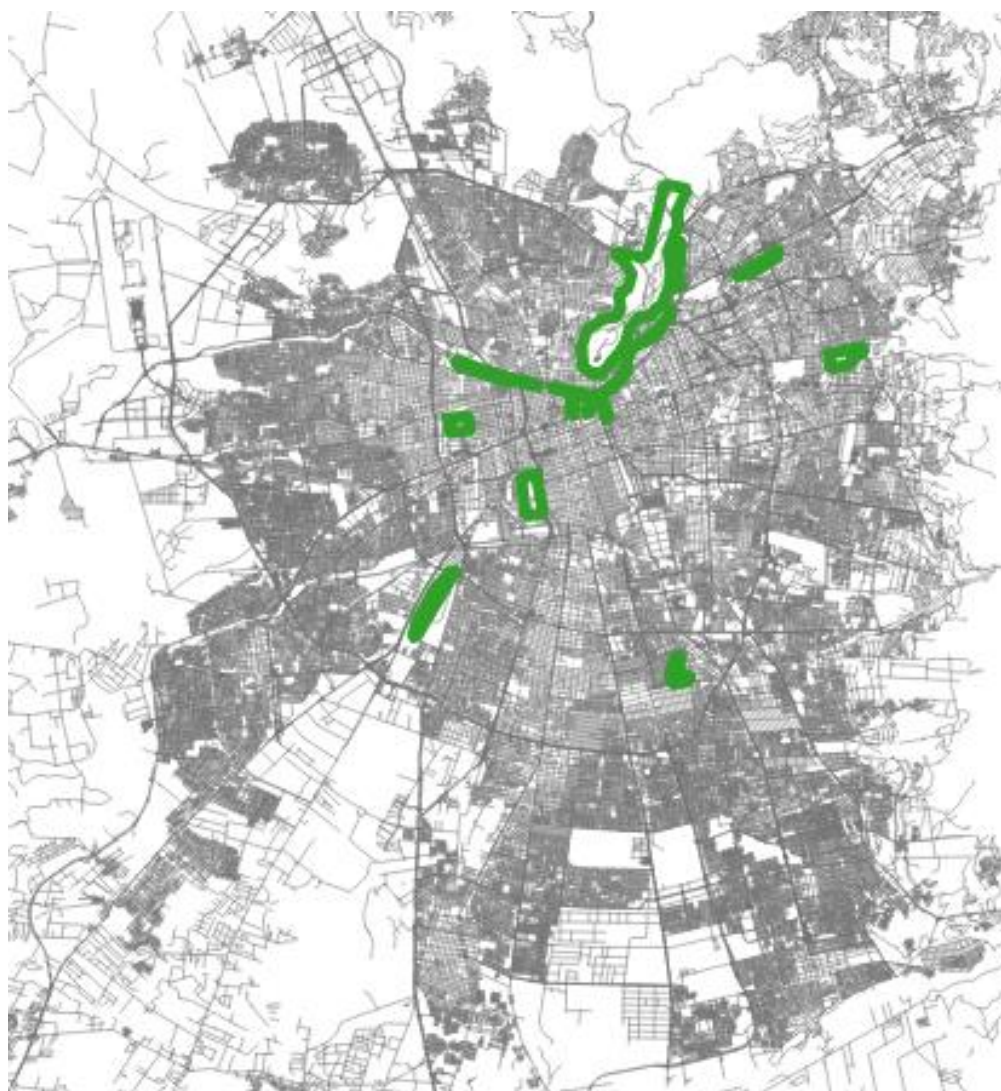


Figura E-5: Grandes parques

Fuente: Elaboración propia

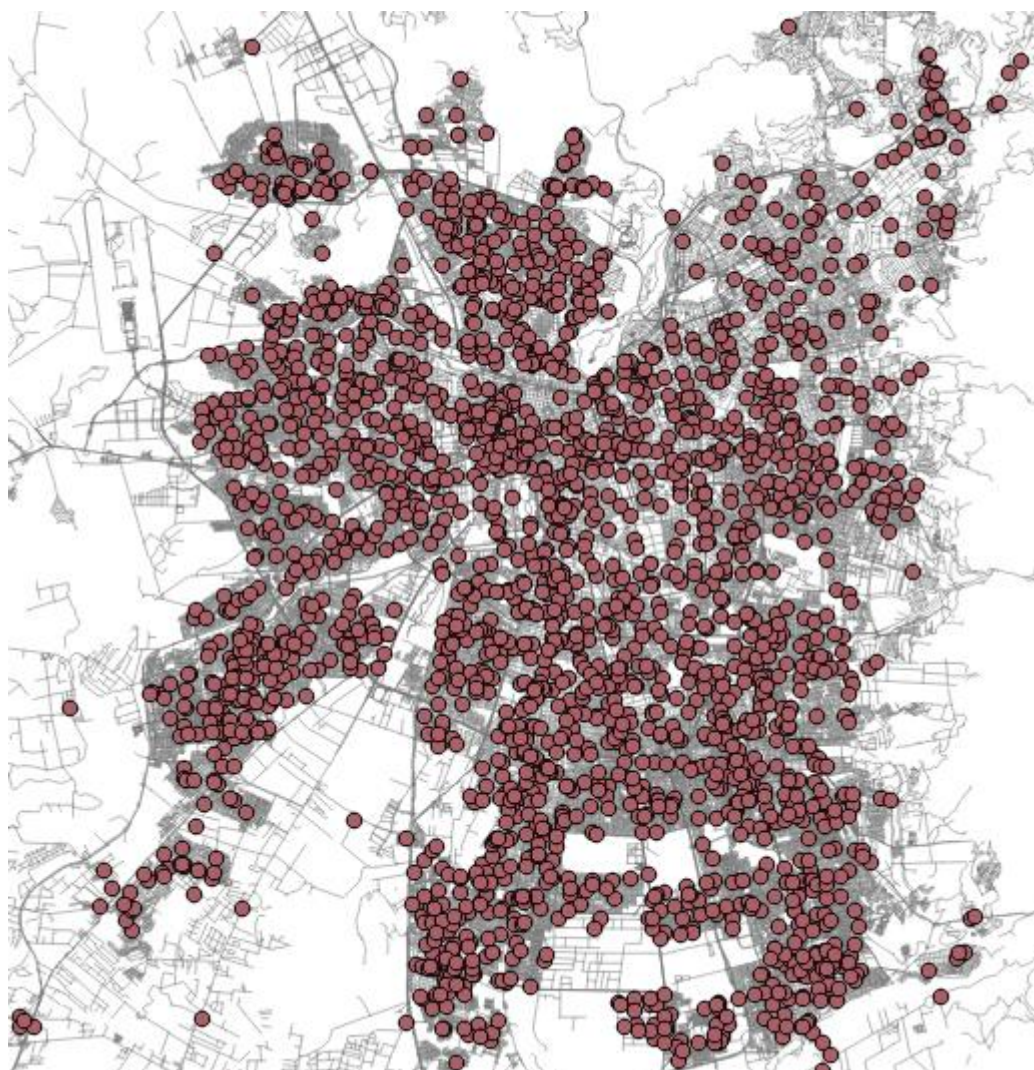


Figura E-6: Colegios

Fuente: Portal de Datos Abiertos (Gobierno de Chile, 2016)

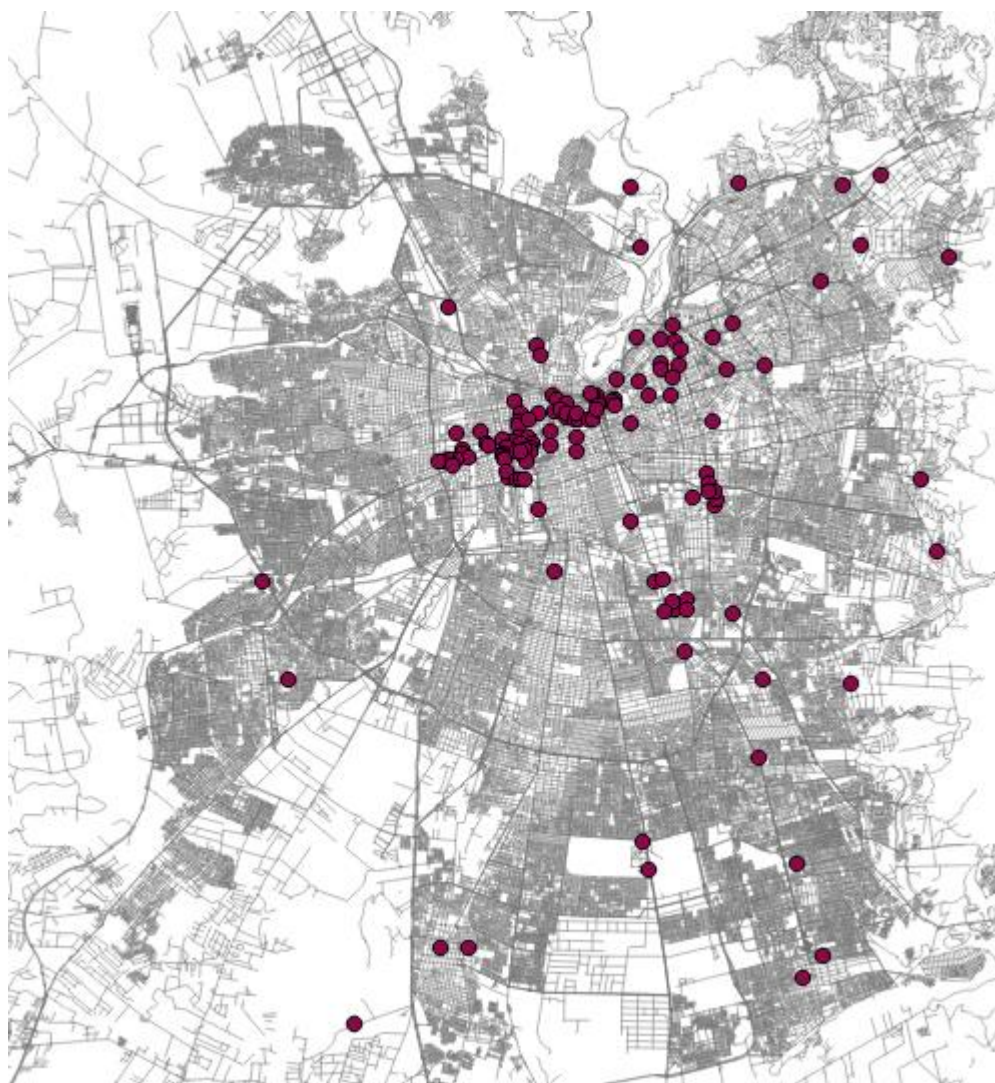


Figura E-7: Universidades

Fuente: Elaboración propia



Figura E-8: Hospitales y Clínicas

Fuente: Elaboración propia

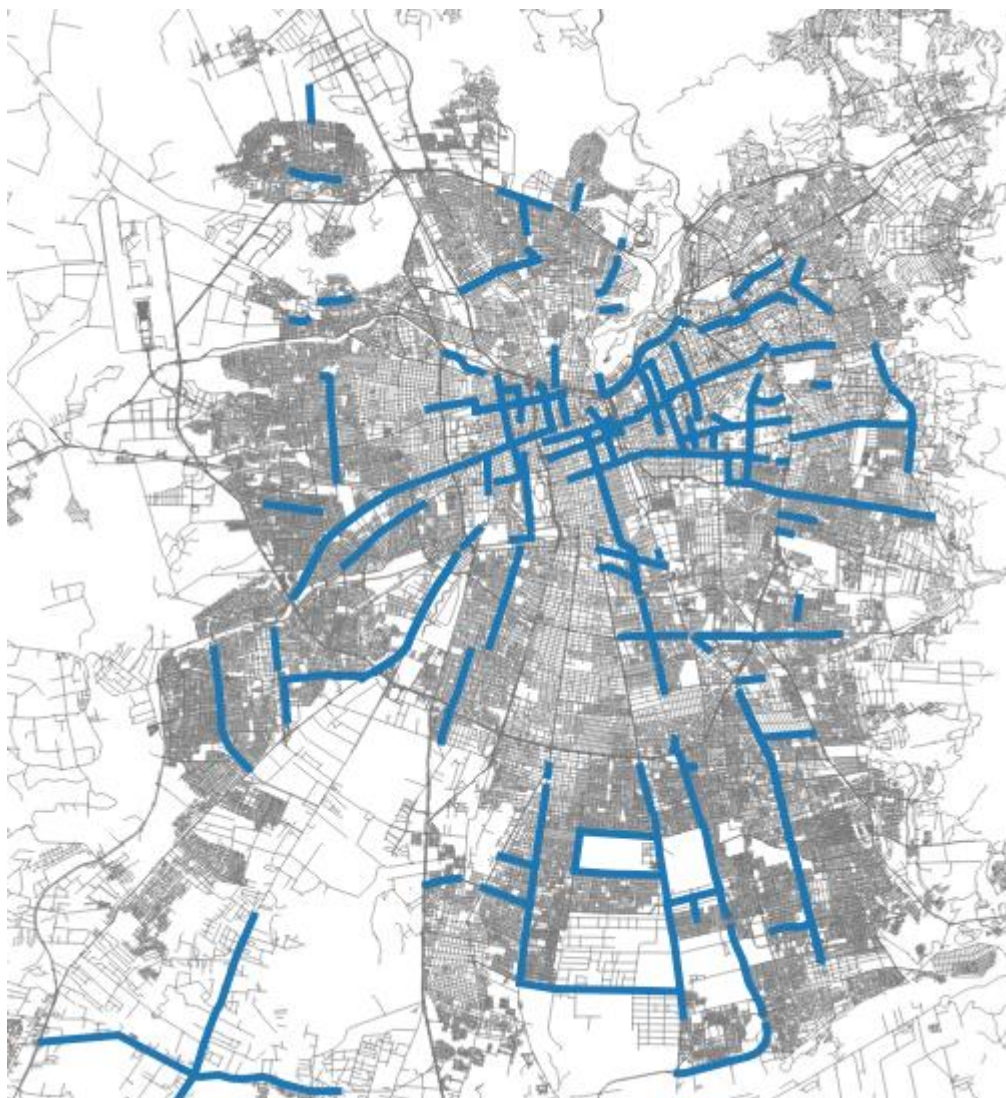


Figura E-9: Ciclovías

Fuente: Elaboración propia

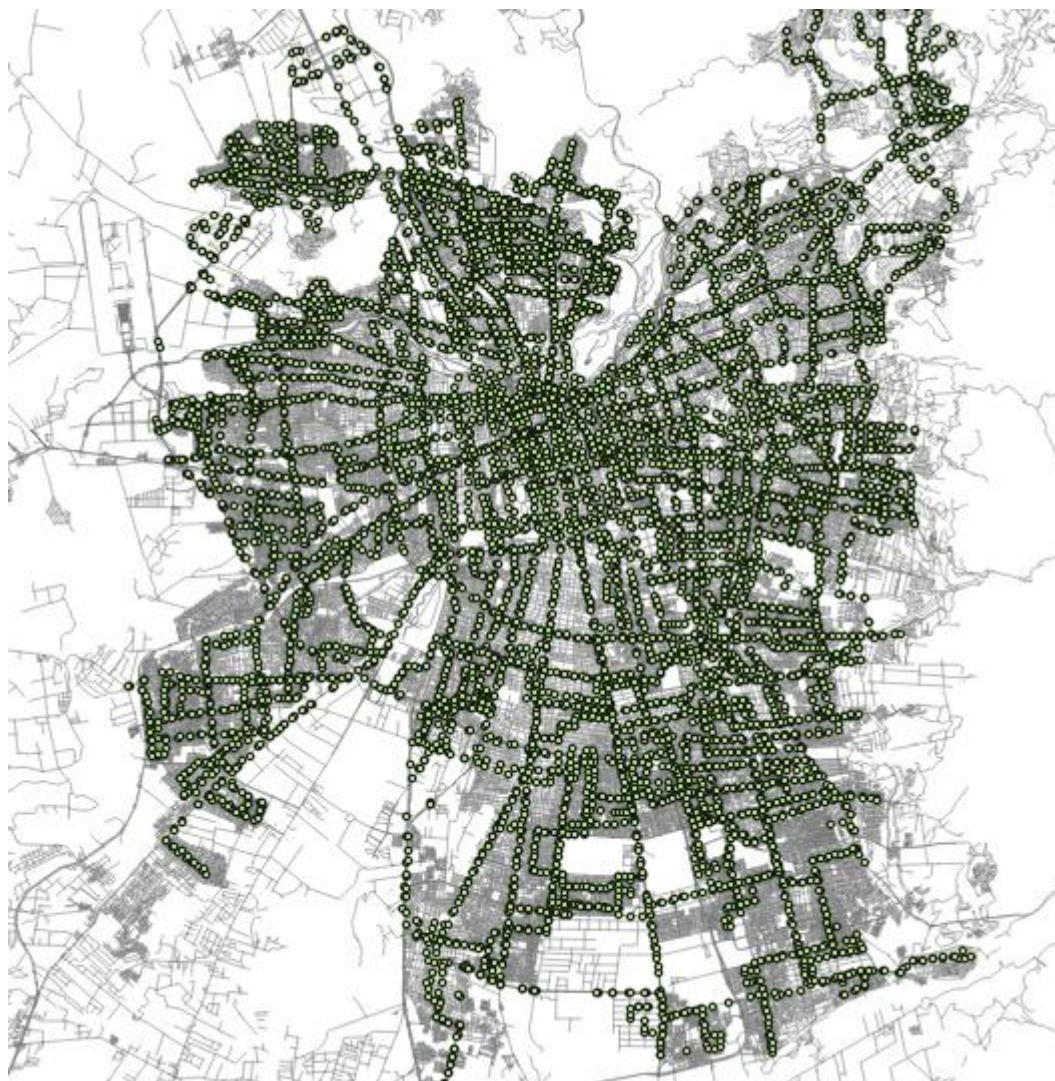


Figura E-10: Paraderos

Fuente: Portal de Datos Abiertos (Gobierno de Chile, 2016)

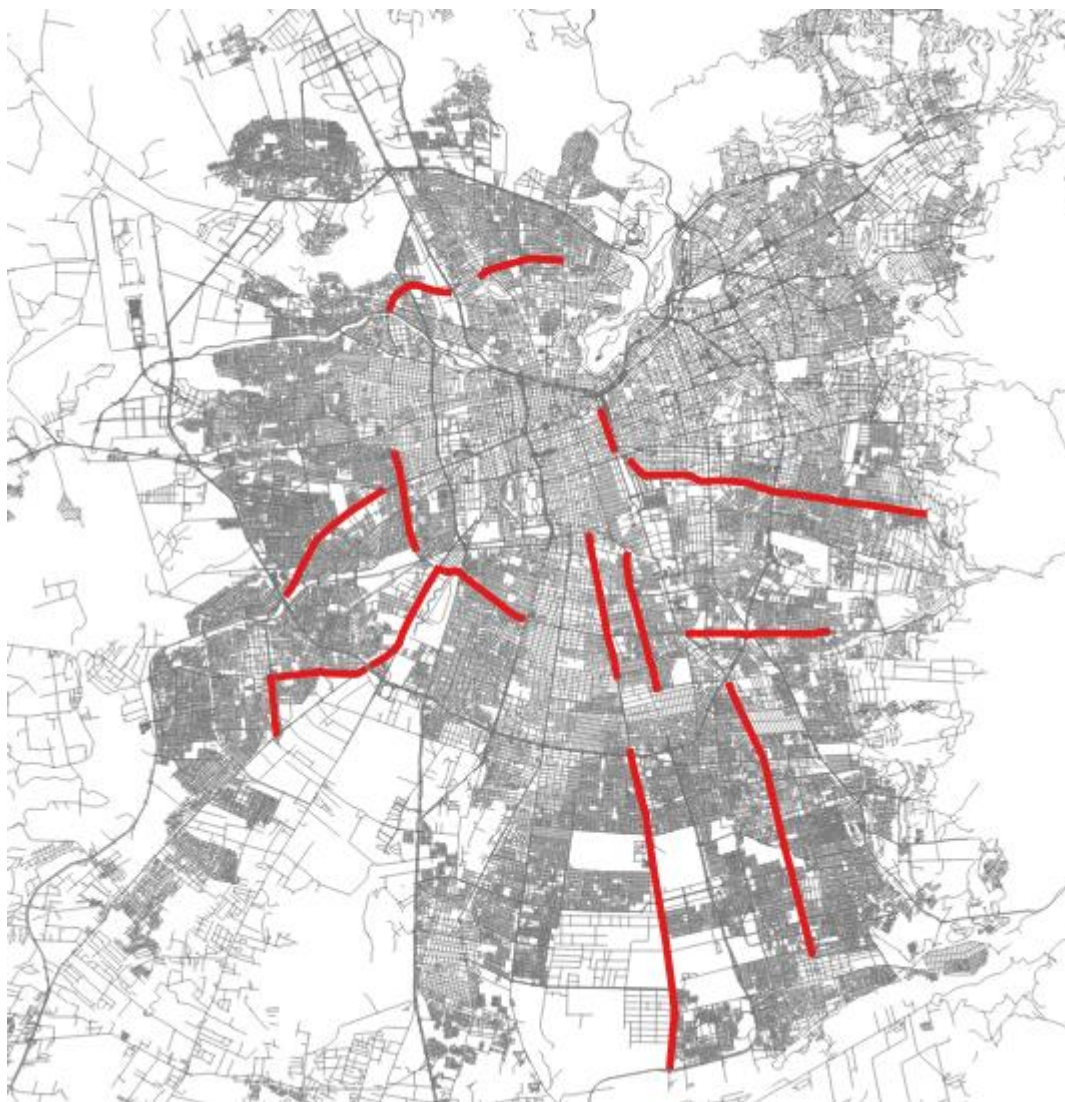


Figura E-11: Corredores de buses

Fuente: Elaboración propia

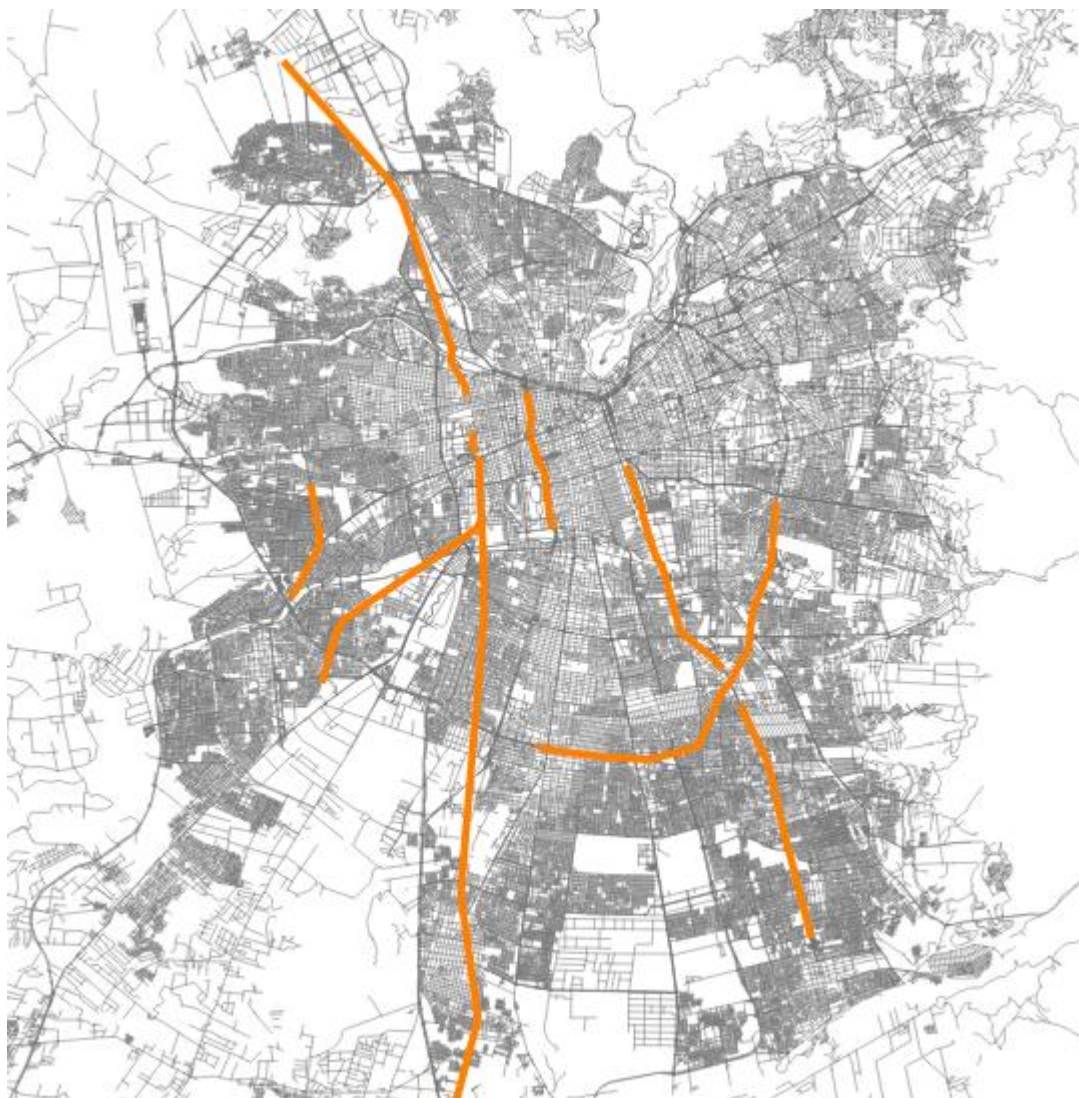


Figura E-12: Trazados de tren y Metro

Fuente: Elaboración propia

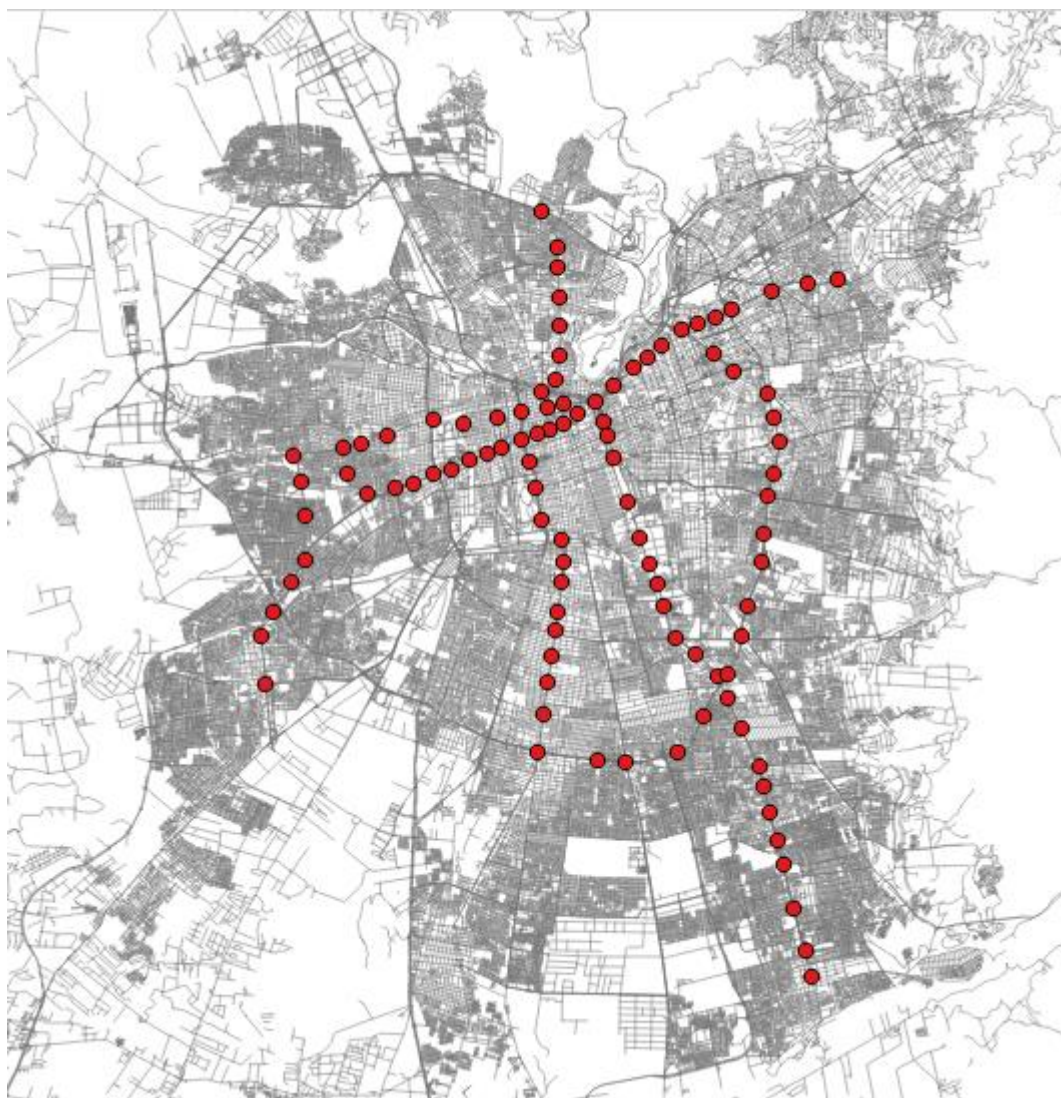


Figura E-13: Estaciones de Metro

Fuente: Portal de Datos Abiertos (Gobierno de Chile, 2016)

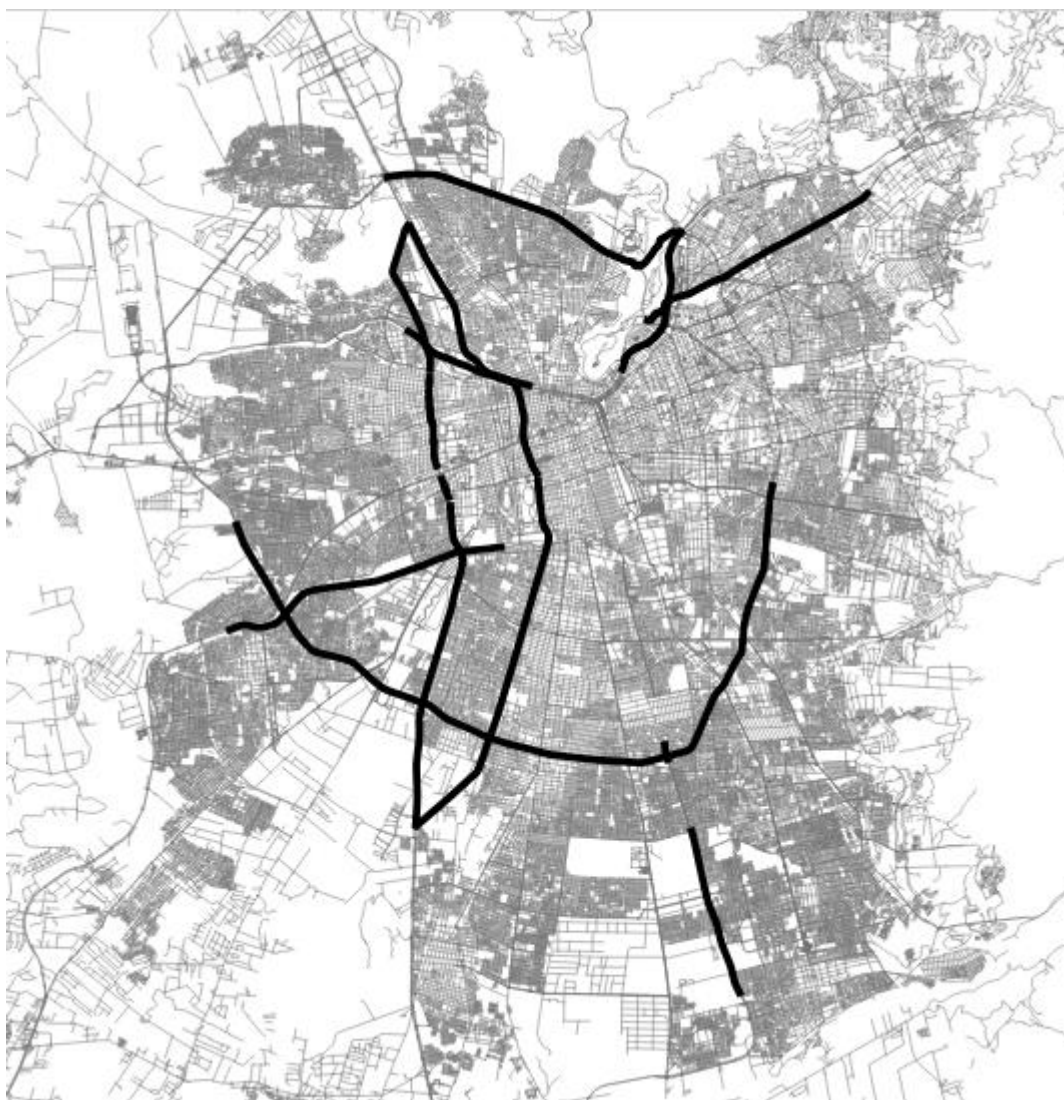


Figura E-14: Trazados de autopistas

Fuente: Elaboración propia

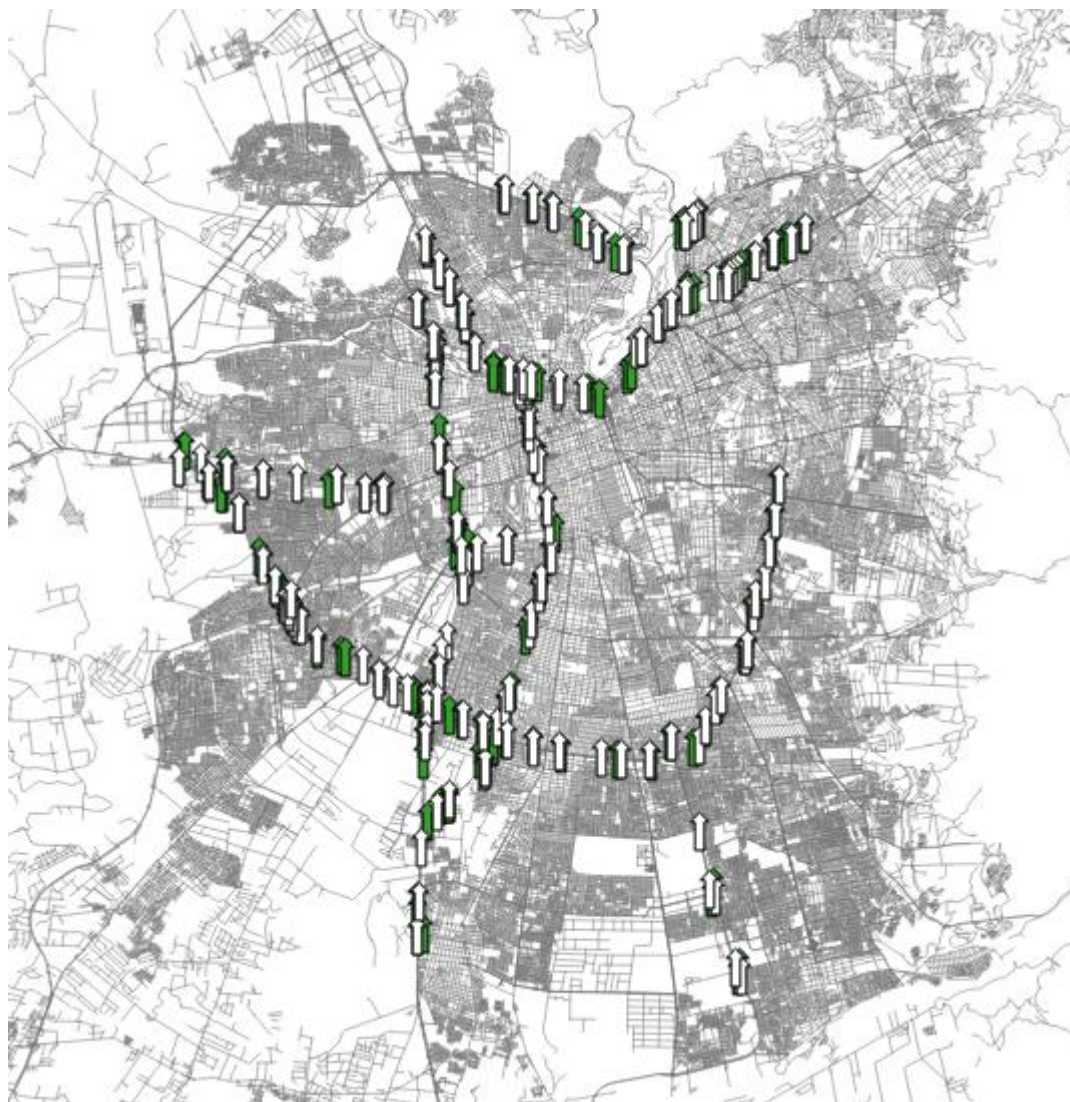


Figura E-15: Accesos y salidas de autopistas

Fuente: Elaboración propia

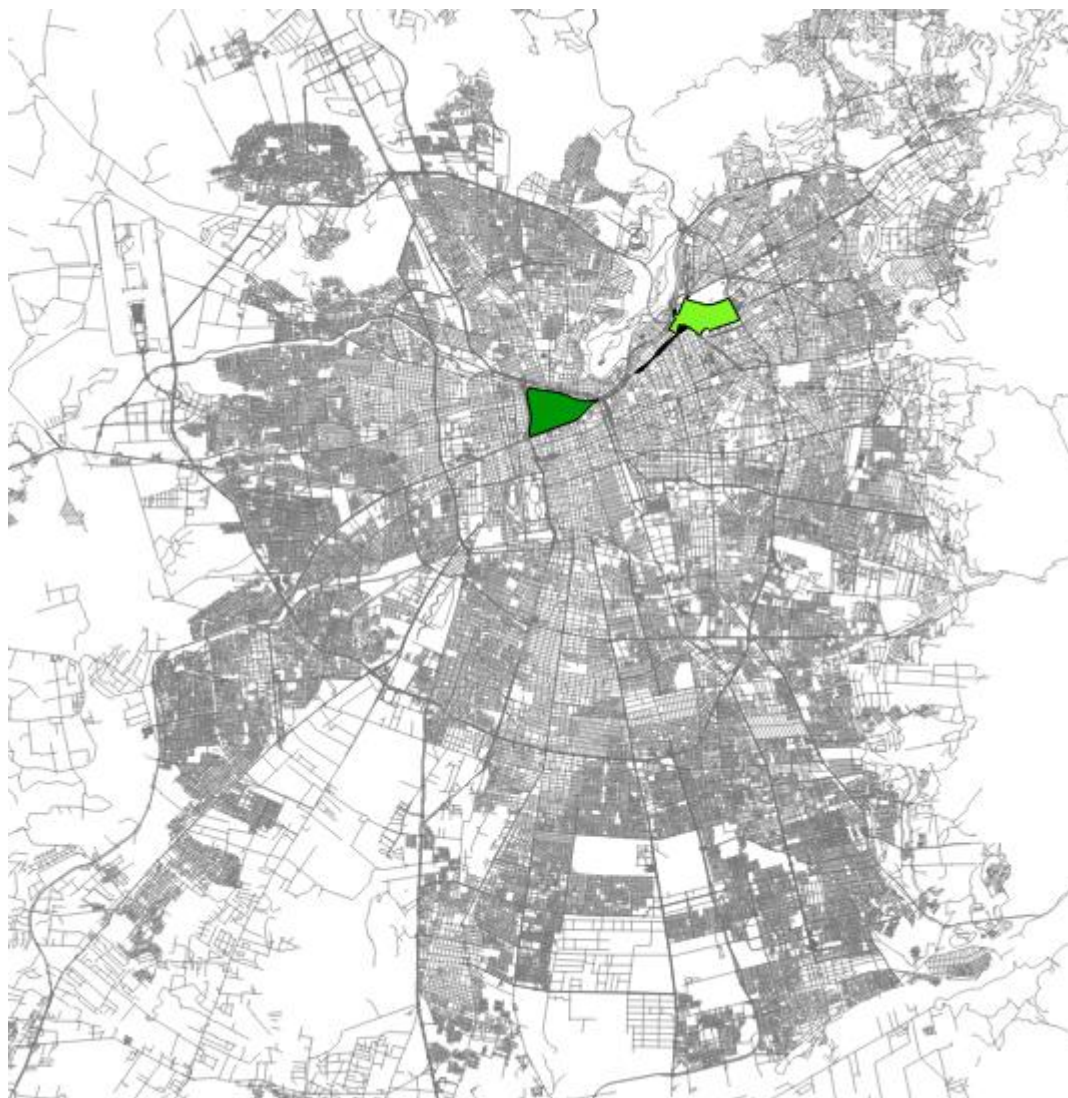


Figura E-16: Zonas de atracción de viajes

Fuente: Elaboración propia

ANEXO F: ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS PROPIEDADES

Tabla F-1: Estadísticos descriptivos de las propiedades

Variable	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Tasa (UF)	2907,2	1919,1	115,0	9992,0
Año Construcción	1994,9	18,7	1877,0	2016,0
Edad (Años)	16,1	18,7	0,0	136,0
Vida Útil (Años)	55,9	16,1	1,0	100,0
Terreno (m2)	48,2	113,2	0,0	2053,8
Construcción (m2)	83,5	48,4	16,8	910,2
Superficie Total (m2)	131,7	142,4	16,8	2622,0
Ingreso Medio Zonal (\$)	1962037,0	1119328,0	489010,0	3733792,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla F-2: Estadísticos descriptivos de las propiedades (2015-2016)

Variable	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Tasa (UF)	3963,0	2298,6	698,0	9991,0
Año Construcción	1996,5	18,2	1900,0	2016,0
Edad (Años)	18,6	18,2	0,0	115,0
Vida Útil (Años)	58,4	16,8	4,0	100,0
Terreno (m2)	30,6	87,1	0,0	1330,0
Construcción (m2)	77,4	41,1	16,8	484,5
Superficie total (m2)	108,1	110,2	16,8	1425,4
Ingreso Medio Zonal (\$)	2037787,0	1139691,0	489010,0	3733792,0

Fuente: Elaboración propia

ANEXO G: ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS DISTANCIAS

Tabla G-1: Estadísticos descriptivos de las distancias (km)

Amenidad Urbana	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Acceso Autopista	1,603	1,140	0,018	7,793
Autopista	1,700	1,156	0,021	7,816
Centro	6,125	4,509	0,136	21,518
Ciclovías	0,377	0,492	0,000	4,860
Colegios	0,282	0,193	0,011	2,153
Corredores	2,765	2,088	0,012	8,161
Hidrografía	0,661	0,470	0,009	2,424
Hospitales	1,335	0,871	0,044	6,551
Centros Comerciales	1,665	0,951	0,066	7,885
Metro	0,953	0,824	0,019	5,293
Paraderos	0,152	0,146	0,011	2,065
Parques y plazas	0,283	0,184	0,011	1,281
Providencia	5,918	4,320	0,057	21,121
Salidas Autopistas	1,666	1,151	0,013	7,788
Sanhattan	6,578	4,698	0,061	21,733
Supermercados	0,481	0,297	0,012	2,661
Tren	2,926	2,381	0,015	8,945
Universidades	0,984	0,862	0,013	5,908

Fuente: Elaboración propia

Tabla G-2: Estadísticos descriptivos de las distancias (km, 2015-2016)

Amenidad Urbana	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Acceso Autopista	1,458	1,051	0,026	7,579
Autopista	1,564	1,098	0,021	7,600
Centro	5,775	4,402	0,221	21,336
Ciclovías	0,348	0,449	0,001	4,647
Colegios	0,290	0,199	0,014	2,144
Corredores	2,866	2,155	0,024	8,150
Hidrografía	0,622	0,440	0,042	2,402
Hospitales	1,287	0,861	0,045	6,551
Centros Comerciales	1,538	0,916	0,120	7,536
Metro	0,854	0,786	0,025	5,293
Paraderos	0,145	0,145	0,011	1,941
Parques y plazas	0,275	0,179	0,015	1,202
Grandes parques	1,488	1,673	0,015	11,264
Providencia	5,539	4,118	0,096	21,009
Salidas Autopistas	1,519	1,073	0,013	7,573
Sanhattan	6,179	4,541	0,117	21,586
Supermercados	0,468	0,286	0,012	2,460
Tren	3,031	2,475	0,017	8,625
Universidades	0,928	0,831	0,013	5,754

Fuente: Elaboración propia

ANEXO H: LOCALIZACION POR COMUNA

Tabla H-1: Localización por comuna

Comuna	Datos	Comuna	Datos	Comuna	Datos
Ñuñoa	4,67%	Las Condes	21,98%	P. Alto	3,69%
Cerrillos	1,01%	Lo Espejo	0,15%	Q. Normal	1,56%
Conchalí	1,08%	Lo Prado	0,14%	Recoleta	2,27%
El Bosque	0,21%	Macul	0,60%	Renca	0,15%
E. Central	1,48%	Maipú	1,66%	S. Joaquín	1,03%
Independencia	1,23%	Peñalolén	0,05%	S. Miguel	0,55%
La Florida	6,36%	P. A. C.	0,22%	S. Ramón	0,01%
La Granja	0,03%	Providencia	16,43%	Santiago	30,94%
La Pintana	0,27%	Pudahuel	0,32%	Vitacura	1,90%

Fuente: Elaboración propia

Tabla H-2: Localización por comuna (2015-2016)

Comuna	Datos	Comuna	Datos	Comuna	Datos
Ñuñoa	4,01%	Las Condes	24,92%	P. Alto	3,00%
Cerrillos	1,41%	Lo Espejo	0,13%	Q. Normal	1,37%
Conchalí	0,75%	Lo Prado	0,04%	Recoleta	2,56%
El Bosque	0,00%	Macul	0,53%	Renca	0,04%
E. Central	1,10%	Maipú	1,54%	S. Joaquín	0,66%
Independencia	1,01%	Peñalolén	0,00%	S. Miguel	0,18%
La Florida	4,54%	P. A. C.	0,31%	S. Ramón	0,00%
La Granja	0,04%	Providencia	14,87%	Santiago	34,23%
La Pintana	0,26%	Pudahuel	0,31%	Vitacura	2,16%

Fuente: Elaboración propia

ANEXO I: MODELO CON ESTRATIFICACIÓN POR DISTANCIA

Tabla I-1: Modelo con estratificación por distancia

Variable	Coef.	Test-t	Variable	Coef.	Test-t
Vida útil	7,61	3,39	E. de Metro 600m	286,12	4,10
Superficie construida	37,66	28,51	E. de Metro 1000m	441,93	3,16
Casa	1634,14	8,99	E. de Metro 1100m	-387,58	-2,74
Antigüedad	-30,52	-9,15	E. de Metro 1900m	-506,13	-2,76
Ingreso Medio Zonal	-15,17	-9,40	E. de Metro 2100m	559,02	2,68
Superficie de terreno	3,05	5,74	Paradero 500m	-1182,22	-4,41
Sup. Const. (Casas)	-28,49	-20,10	Paradero 600m	1030,35	2,31
A. Autopista 400m	293,23	2,54	Paradero 1000m	4884,58	5,55
A. Autopista 1600m	-359,74	-3,15	Parque 600m	-324,70	-2,16
Autopista 400m	-608,45	-5,12	Parque 800m	530,07	2,32
Autopista 1100m	-604,05	-4,14	Providencia 500m	693,53	5,51
Autopista 1200m	377,23	2,63	Providencia 1600m	870,73	3,64
Ciclovía 100m	-202,93	-3,35	Providencia 2500m	-928,57	-3,91
Ciclovía 500m	399,79	4,73	S. Autopista 900m	422,19	4,99
Ciclovía 700m	-490,81	-2,93	S. Autopista 1900m	698,10	6,08
Ciclovía 800m	-656,03	-2,94	S. Autopista 2800m	309,01	2,57
Ciclovía 900m	1113,04	5,53	Sanhattan 200m	-737,87	-4,49
Colegio 1000m	-1966,99	-4,65	Sanhattan 300m	-279,33	-2,08
Colegio 1500m	-3409,27	-3,84	Sanhattan 900m	317,66	2,14
C. de Buses 600m	-308,30	-2,65	Supermercado 700m	367,13	5,10
C. de Buses 1200m	262,19	2,63	Supermercado 1200m	-1435,88	-5,64
C. de Buses 2500m	-325,68	-3,62	Supermercado 1500m	1694,38	3,03
Hidrografía 1100m	-1130,14	-4,77	T. Tren o Metro 700m	-266,27	-2,46
Hospital 1200m	-144,79	-2,18	Universidad 500m	-185,19	-2,19
Hospital 2000m	425,83	2,72	Universidad 1100m	-600,79	-3,60
Hospital 2100m	-638,19	-3,13	Universidad 1200m	374,60	2,29
Hospital 2200m	547,77	2,81	Universidad 2000m	-507,02	-2,98
Hospital 2300m	-411,30	-2,41	Universidad 2400m	-998,57	-2,98
Hospital 2800m	-583,14	-2,20	Universidad 2600m	917,47	2,68
Hospital 2900m	918,68	3,23	Constante	3422,26	3,80
C. Comercial 2400m	-244,14	-2,36			

Fuente: Elaboración propia

ANEXO J: MODELO CON VAR. SISTEMÁTICA POR LOCALIZACIÓN

Tabla J-1: Modelo con variación sistemática por localización

Variable	Coef.	Test-t	Variable	Coef.	Test-t
Vida Útil	8,60	3,75	S. Autopista 900m	403,45	4,82
Superficie construida	42,42	35,92	S. Autopista 1900m	636,12	5,85
Casa	1755,20	9,68	Sanhattan 200m	-984,62	-7,63
Antigüedad	-33,23	-9,92	Supermercado 700m	315,52	4,38
Superficie de terreno	2,59	4,96	Supermercado 1200m	-929,37	-3,86
Sup. Const. (Casas)	-30,15	-21,31	Universidad 2000m	-353,40	-2,57
A. Autopista 1600m	-212,88	-1,96	Vitacura	3087,39	9,65
Autopista 400m	-285,03	-3,15	C. Ñuñoa	16,09	9,48
Autopista 1100m	-320,38	-3,90	C. La Pintana	-19,24	-2,70
Ciclovía 500m	203,81	2,93	C. Las Condes	28,35	24,10
Colegio 1000m	-2235,24	-5,17	C. Providencia	13,76	10,14
Colegio 1500m	-1933,64	-2,42	C. Recoleta	20,43	8,45
C. comercial 2400m	-216,11	-2,47	C. Vitacura	5,45	2,60
E. de Metro 600m	244,15	3,88	T. Las Condes	7,32	12,74
Paradero 500m	-1226,96	-4,45	T. Providencia	12,47	13,32
Paradero 600m	1342,72	2,94	T. Vitacura	16,52	15,32
Paradero 1000m	4651,29	5,15	Constante	814,41	1,32
Providencia 2500m	-644,81	-3,42			

Fuente: Elaboración propia

ANEXO K: MODELO CON ZONIFICACIÓN

Tabla K-1: Modelo con zonificación

Variable	Coef.	Test-t	Variable	Coef.	Test-t
Vida útil	7,64	4,82	Hospital 1200m	-117,19	-2,60
Superficie construida	43,69	68,22	Hospital 2000m	184,89	3,19
Casa	2905,24	22,02	E. de Metro 1000m	185,92	3,48
Antigüedad	-15,29	-9,66	E. de Metro 1900m	165,68	1,29
Superficie de terreno	4,57	12,20	E. de Metro 2100m	388,15	2,76
Sup. Cons. (casa)	-39,85	-30,86	Providencia 500m	-253,83	-4,16
Autopista 400m	-276,87	-4,33	Providencia 1600m	1144,29	10,48
Autopista 1100m	-263,01	-4,71	S. Autopista 900m	331,14	6,10
Ciclovía 500m	165,24	2,99	S. Autopista 1900m	137,10	2,36
Ciclovía 700m	-316,71	-2,65	S. Autopista 2800m	-350,18	-4,77
Ciclovía 800m	-414,67	-2,48	Sanhattan 900m	1720,56	26,14
Ciclovía 900m	648,99	4,30	T. tren o Metro 700m	-472,83	-7,34
C. de buses 600m	-117,17	-1,63	Universidad 2000m	-252,95	-2,59
C. de buses 1200m	178,39	2,79	Universidad 2600m	386,86	3,11
C. de buses 2500m	-655,01	-12,72	Periferia	-1009,87	-8,04
Hidrografía 1100m	-462,13	-3,99	Constante	-1063,86	-5,85

Fuente: Elaboración propia

ANEXO L: MODELO LOGARÍTMICO

Tabla L-1: Modelo logarítmico

Variable	Coef.	Test-t	Variable	Coef.	Test-t
Vida útil	0,10	7,81	C. La Pintana	-0,13	-8,11
Superficie construida	0,81	62,11	Las Condes	0,68	7,24
Antigüedad	-0,08	-15,93	C. Las Condes	-0,41	-10,34
Superficie de terreno	0,44	11,49	T. Las Condes	0,36	12,13
Sup. Const. (casas)	-0,51	-12,10	T. Lo Prado	-0,07	-2,45
Antigüedad (casas)	-0,10	-5,46	Macul	1,31	2,66
D. Ciclovía	-0,01	-4,07	C. Macul	-0,28	-2,41
D. Autopista	0,06	7,37	T. Maipú	0,02	2,34
D. A. Autopista	-0,06	-6,58	T. P.A.C.	-0,05	-4,37
D. T. Tren o Metro	0,02	2,67	Providencia	0,62	6,14
D. E. de Metro	-0,02	-2,56	C. Providencia	-0,38	-6,00
D. C. de buses	0,01	2,25	T. Providencia	0,33	6,25
D. Parque	-0,02	-3,44	Pudahuel	6,43	3,72
D. Hidrografía	-0,06	-3,92	C. Pudahuel	-1,13	-3,06
D. Hospital	0,01	1,96	T. Pudahuel	-0,35	-3,09
D. Universidad	-0,02	-3,07	C. Puente Alto	-0,22	-3,75
D. C. Comercial	-0,03	-4,00	T. Puente Alto	0,19	3,88
D. Centro	-0,04	-3,69	C. Q. Normal	-0,64	-7,72
D. Sanhattan	-0,07	-8,21	T. Q. Normal	0,52	6,54
T. Ñuñoa	0,09	18,73	Recoleta	-0,77	-4,07
Cerrillos	-1,63	-4,33	C. Recoleta	0,34	3,77
C. Cerrillos	0,37	4,21	T. Recoleta	-0,18	-2,89
Conchalí	-2,58	-3,58	C. San Joaquín	-0,35	-2,91
C. Conchalí	0,54	3,11	T. San Joaquín	0,29	2,85
T. Independencia	-0,09	-10,66	C. Vitacura	-0,28	-3,10
C. La Florida	-0,17	-4,09	T. Vitacura	0,38	4,37
T. La Florida	0,17	4,82	Constante	4,34	52,78
C. La Granja	-0,14	-3,68			

Fuente: Elaboración propia

ANEXO M: MODELO MIXTO

Tabla M-1: Modelo mixto

Variable	Coef.	Test-t	Forma Funcional
Vida útil	0,12	7,79	Logarítmica
Superficie construida	0,84	79,05	Logarítmica
Ingreso Medio Zonal	0,41	28,33	Logarítmica
Antigüedad	-0,09	-14,84	Logarítmica
Superficie de terreno	0,58	18,71	Logarítmica
Sup. Cons. (casas)	-0,70	-18,49	Logarítmica
D. Ciclovía	0,27	3,78	Compleja
D. Autopista	0,04	4,15	Logarítmica
D. A. Autopista	-0,02	-2,12	Logarítmica
D. T. Tren o Metro	0,04	6,93	Logarítmica
D. E. de Metro	-0,01	-2,24	Logarítmica
D. C. de buses	0,02	3,35	Logarítmica
D. Parque	0,19	1,94	Compleja
D. Hospital	-0,03	-4,36	Logarítmica
D. Colegio	0,28	2,84	Compleja
D. Universidad	0,48	6,11	Compleja
D. Sanhattan	-0,09	-9,77	Logarítmica
Constante	2,40	22,17	-

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N: MODELO DE DOS CIUDADES

Tabla N-1: Mejor de dos ciudades

Variable	Coef.	Test-t	Forma Funcional	Ciudad
Vida útil	0,10	6,92	Logarítmica	Ambas
Superficie construida	0,84	79,44	Logarítmica	Ambas
Ingreso Medio Zonal	0,28	13,08	Logarítmica	Ambas
Antigüedad	-0,09	-15,47	Logarítmica	Ambas
Superficie de terreno	0,61	19,97	Logarítmica	Ambas
Sup. Cons. (casas)	-0,73	-19,62	Logarítmica	Ambas
D. Ciclovía	0,16	2,28	Compleja	Ambas
D. Autopista	0,07	7,59	Logarítmica	Altos ingresos
D. A. Autopista	0,54	3,96	Compleja	Altos ingresos
D. T. Tren o Metro	0,02	3,47	Logarítmica	Ambas
D. E. de Metro	-0,02	-2,53	Logarítmica	Ambas
D. C. de buses	0,03	4,84	Logarítmica	Altos ingresos
D. Parque	-0,01	-2,16	Logarítmica	Ambas
D. Hidrografía	-0,12	-6,40	Logarítmica	Altos ingresos
D. Supermercado	0,26	2,78	Compleja	Ambas
D. Universidad	0,28	3,21	Compleja	Ambas
D. Providencia	-0,10	-9,24	Logarítmica	Ambas
D. Sanhattan	-0,04	-3,90	Logarítmica	Ambas
Constante	3,07	23,86	-	Ambas

Fuente: Elaboración propia