



**CENTRO DE ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS, URBANOS Y
AMBIENTALES**

**IMPACTO DEL RUIDO EN EL PRECIO DE LA VIVIENDA
EN LA ZONA PONIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

**Tesis presentada por
Rodolfo de la Torre López**

**Para optar por el grado de
MAESTRO EN ESTUDIOS URBANOS
Promoción 2015-2017**

**Directora de tesis:
Dra. Landy Lizbeth Sánchez Peña**

**Lector:
Dr. Marcos Valdivia López**

Ciudad de México, México, agosto de 2017

AGRADECIMIENTOS

“Todas las cosas están relacionadas entre sí,
pero las cosas más próximas en el espacio
tienen una relación mayor que las distantes”.

[Primera ley de la geografía].

Tobler, 1970.

Esta tesis no hubiera sido posible sin:

El apoyo económico, moral y emocional, brindado por mi familia nuclear y algunos miembros de la extendida.

El apoyo técnico y metodológico, la paciencia, el compromiso, el esclarecimiento de ideas, los diálogos de los martes, y el voto de confianza brindado por la Dra. Landy Sánchez al dirigir mi tesis.

La lectura y observaciones puntuales del Dr. Marcos Valdivia que abonaron a la consolidación de la estructura final de la tesis.

Los amigos y amigas que estuvieron presentes en distintos momentos del proceso.

Los cuestionamientos y las horas de dialogo con Estefanía.

El financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

El equipamiento, las instalaciones y la calidad de la planta docente y administrativa de El Colegio de México.

A todos y todas, gracias.

RESUMEN

El cuerpo de esta investigación consiste en tres capítulos que se articulan para comprobar, en términos generales, que el impacto que tiene el ruido en los precios de la vivienda varía por submercados espaciales y que los submercados de precios altos experimentan impactos negativos ante la exposición a una mala calidad del ambiente sonoro. Para esto fueron seleccionadas las delegaciones de Miguel Hidalgo y Cuajimalpa de Morelos y se trabajó con precios de vivienda del periodo 2006-2008.

En el capítulo 1 se hace una revisión de la determinación de los precios de la vivienda en las ciudades. Se aborda las discusiones teórico-metodológicas sobre la existencia de submercados de vivienda, los modelos de precios hedónicos y las características del medio ambiente sonoro como uno de los atributos que tiene efectos marginales en el precio de la vivienda.

En el capítulo 2 se organizan los elementos conceptuales y metodológicos que respaldan la propuesta de un Índice de Ruido. Se hace una revisión de la literatura sobre contaminación sonora que pasa por: los estudios precursores, las características físicas del sonido, las fuentes emisoras, la propagación, los efectos en el ser humano, el marco institucional de la lucha contra el ruido y las metodologías de estimación de los mapas de ruido. Se estiman dos tipos de ruido basado en el uso del automóvil, uno que expresa los niveles de emisión de energía dada la densidad poblacional y otro que captura la presión sonora según la cercanía de distintos tipos de vialidades. Al final del capítulo se muestran los resultados del Índice de Ruido compuesto que integra a los anteriores.

En el capítulo 3 se desarrolla un Modelo de Precios Hedónicos (MPH) con regímenes espaciales en el que se operacionalizan cinco submercados: Las Lomas, Polanco, Tacubaya-Escandón, Cuajimalpa y Pensil. Los dos primeros de precios altos y los tres siguientes de precios bajos. Se realizan una serie de análisis de estadística espacial para identificar los efectos de heterogeneidad y dependencia espacial. El capítulo cierra con una comparación a nivel internacional de los resultados obtenidos con otros estudios recientes.

Los resultados obtenidos apuntan a que hay diferencias en las estructuras de preferencias de los consumidores de vivienda. En los submercados de precios altos el ruido impacta negativamente al precio mientras que en los de precios bajos los efectos son variables, confirmándose la importancia de atributos como la localización y accesibilidad.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: IMPACTO DEL RUIDO EN LOS PRECIOS DE LA VIVIENDA	4
1.1. Determinantes del precio de la vivienda por submercados	5
1.1.1. Submercados	8
1.2. El mercado de vivienda en la Ciudad de México	9
1.3. Determinantes del precio de la vivienda: localización y amenidades urbanas.....	10
1.4. Características ambientales del vecindario.....	16
1.4.1. La contaminación sonora del vecindario.....	20
1.5. Aproximación metodológica	25
CAPÍTULO 2: GEOGRAFÍA DEL AMBIENTE SONORO URBANO	28
2.1. Representaciones del ambiente sonoro.....	29
2.2. Ruido: un sonido indeseado	32
2.2.1. La causa.....	33
2.2.2. La propagación.....	38
2.2.3. El efecto.....	39
2.3. Haciendo ruido por el ruido	42
2.4. Metodologías para la medición del ruido	46
2.5. Propuesta metodológica para la construcción de un Índice de Ruido	50
2.5.1. Área de estudio: Cuajimalpa de Morelos y Miguel Hidalgo	50
2.5.2. Ruido estimado con base en la densidad poblacional	52
2.5.3. Ruido estimado con base en las vialidades	57
2.6. Índice de Ruido (L50_c)	65
2.7. Mapa de exposición al ruido por su nivel socioeconómico.....	68
CAPÍTULO 3: MODELO DE PRECIOS HEDÓNICOS CON REGÍMENES ESPACIALES	74
3.1. Factores que determinan el precio de la vivienda	75
3.2. Impacto del ruido en el precio de la vivienda	77
3.3. Modelo de Precios Hedónicos de la vivienda con regímenes espaciales	80
3.3.1. Indicadores utilizados.....	80
3.3.2. Segmentación espacial del mercado de vivienda en submercados.....	83
3.3.3. Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE)	86
3.3.4. Dependencia espacial	91
3.3.5. Heterogeneidad espacial.....	99

3.4. Segmentación del mercado de vivienda en regímenes espaciales.....	105
3.5. Resultados del Modelo de Precios Hedónicos con regímenes espaciales	111
CONCLUSIONES.....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

ÍNDICE DE ESQUEMAS, CUADROS, ILUSTRACIONES, MAPAS Y GRÁFICAS

Esquema 1. Esquema teórico de la investigación	5
Cuadro 1. Sonidos predominantes en el paisaje sonoro a través de la historia	35
Cuadro 2. Diferencias delegacionales en los niveles de presión sonora en 2005 según su densidad poblacional y las denuncias presentadas ante la PAOT	54
Mapa 1. Ruido con base en la densidad poblacional.....	56
Mapa 2. Tipología de vialidades	60
Ilustración 1. Ruido por vialidades del Tipo 2 al Tipo 5	61
Ilustración 2. Ruido por vialidades del Tipo 1.....	62
Mapa 3. Manzanas por tipo de ruido vehicular que les afecta	64
Mapa 4. Índice de Ruido (L50_c)	67
Mapa 5. Relación entre las características socioeconómicas y la contaminación sonora	72
Cuadro 3. Estudios de precios hedónicos que involucran la pérdida del valor de la propiedad derivado del ruido de tráfico vial.	78
Cuadro 4. Descriptivos de las variables del Modelo de Precios Hedónicos	82
Esquema 2. Identificación de submercados	85
Mapa 7. Niveles de ruido al que están expuestas las viviendas	89
Mapa 8. Análisis de indicadores locales de autocorrelación espacial (LISA) de los precios de la vivienda.....	94
Mapa 9. Análisis de indicadores locales de autocorrelación espacial (LISA) del Índice de Ruido (L50_c).....	96
Mapa 10. Análisis de indicadores locales de autocorrelación espacial (LISA) bivariado de los precios de la vivienda y el Índice de Ruido.....	98
Mapa 11. Comportamiento espacial de los residuos del modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios	101
Mapa 12. Regresión geográficamente ponderada; coeficientes del Índice de Ruido (L50_c)	104
Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de los sub-mercados.....	107
Mapa 13. Regímenes espaciales o submercados de vivienda.....	110
Cuadro 6. Resultados de la regresión.....	111
Gráfica 1. Comparación de valores del NSDI de la Ciudad de México con estudios recientes.....	114

INTRODUCCIÓN

Las ciudades son espacios de concurrencia de externalidades positivas y negativas. Mientras que para algunos estas representan la creación más sofisticada de la sociedad, para otros son las responsables de los problemas sociales y ambientales. Por un lado, las ciudades son consecuencia de las externalidades de aglomeración positivas, mientras que, por otro, son la causa de externalidades ambientales negativas.

En este sentido, las ciudades pueden ser entendidas como resultado de las economías de aglomeración o conjuntos de externalidades positivas derivadas de la proximidad de actividades económicas en un territorio determinado, en las que tanto la diversidad como la especialización de la actividad urbana las convierte en espacios ideales para la actividad económica.

La alta densidad de contactos entre trabajadores y productores, su diversidad y especialización y la concentración del capital fijo socializado y de bienes públicos que sucede en las ciudades, tiene como consecuencia la reducción de los costos de transacción en las actividades económicas, tanto de producción como de consumo. Además de ser el espacio en el que las empresas tienen acceso a las mejores condiciones para organizar la producción, en éstas se encuentran los bienes y servicios a través de cuyo consumo se expresan los valores más acabados de la sociedad moderna.

Entre los perjuicios que tienen los beneficios de las ciudades se encuentran aquellos de carácter ambiental. La intensidad de las actividades de producción, transporte y consumo demandan una gran cantidad de bienes y servicios ambientales para sostener su funcionamiento impactando en la calidad de vida de sus urbanitas y en la de los habitantes de regiones proveedoras.

Además de los impactos negativos más conocidos como la degradación y el agotamiento que tiene esta demanda en recursos como el agua, el suelo, la calidad del aire y los espacios para el almacenamiento de residuos, existen efectos no deseados sobre otras dimensiones como la del ambiente sonoro.

La contaminación del ambiente sonoro está altamente correlacionada con la presencia del ser humano toda vez que casi cualquier actividad es generadora de energía sonora, por lo que a mayor densidad poblacional se esperarían mayores niveles de presión sonora. Entre estas actividades, históricamente, las de transporte han sido las fuentes emisoras más importantes en las ciudades. Sus impactos en el equilibrio ecológico y el ser humano trascienden el ámbito de la

salud, son multidimensionales y afectan la calidad de vida en otras dimensiones, como la económica. En este sentido resulta pertinente preguntarnos sobre el efecto que tiene en los precios de la vivienda de la Ciudad de México (CDMX), en tanto que ésta constituye el bien de inversión más importante de la mayoría de los hogares y está vinculada no sólo a la estabilidad financiera de estos, sino también incide sobre su bienestar social y subjetivo.

La CDMX parte de una área económica funcional¹ conocida como la Zona Metropolitana de la Ciudad de México² que se extiende a lo largo de 59 municipios del Estado de México y uno de Hidalgo. Para analizar la relación entre ruido y precios de vivienda se seleccionó una zona conformada por dos delegaciones: Cuajimalpa de Morelos y Miguel Hidalgo. Se eligieron ambas delegaciones por tres razones: porque en esa zona existe variabilidad en los precios de la vivienda y porque también existe variabilidad en los niveles de contaminación sonora, además de que las dos delegaciones son contiguas espacialmente, lo que permite aplicar métodos espaciales en el análisis de los mercados de vivienda.

Se recurre al enfoque de la economía neoclásica y en particular a los modelos teóricos de la Nueva Economía Urbana sobre la estructura urbana que contemplan la calidad ambiental y las amenidades urbanas como determinantes de las decisiones de localización de los hogares para probar las siguientes hipótesis:

- 1) Existe heterogeneidad espacial en los determinantes del precio de la vivienda. Los efectos marginales de los atributos de la vivienda varían en sentido y magnitud a entre submercados a lo largo del espacio.
- 2) La mala calidad del medio ambiente sonoro tiene un impacto negativo en el precio de la vivienda de submercados de precios altos.

El objetivo principal que se persigue con la investigación es el de cuantificar la internalización de la contaminación sonora en los precios de la vivienda de forma diferenciada por submercados geográficos. Éste se complementa por otros objetivos particulares como: la identificación de la

¹ Definida (Berry, Goheen, & Goldstein, 1968) como “todos aquellos distritos dentro de un mercado de trabajo, para el cual la proporción de trabajadores residentes se desplazan diariamente a un distrito central excede la proporción de desplazamientos diarios a distritos centrales alternativos”.

² Rojas, Cuadrado-Roura y Fernández (2005) entienden a un área metropolitana como aquel territorio interdependiente funcionalmente con un ecosistema compartido y en el que se concentran y derraman externalidades. Para Mattos (2010) las regiones metropolitanas son las concentraciones de externalidades desplegadas a lo largo de un territorio conformado por ciudades o municipios ligados por una interdependencia funcional técnico-económica.

distribución espacial del ruido en la zona poniente de la CDMX y la segmentación del mercado de vivienda en submercados geográficos.

La tesis está conformada por esta introducción, un cuerpo de tres capítulos y una sección final de conclusiones. En el primer capítulo se hace una revisión de las teorías sobre la determinación de los precios de la vivienda y su variación a través de submercados, poniendo énfasis en las características del vecindario entre las que se encuentra la calidad del ambiente sonoro. El segundo capítulo consiste en una revisión general de las características de la contaminación sonora, de su contexto institucional y de las metodologías utilizadas para la estimación del ruido, a partir de lo cual se hace la propuesta de estimación de un Índice de Ruido con información de acceso público. Finalmente, el tercer capítulo consiste en la identificación de los submercados geográficos de vivienda que se forman en la región de estudio y la determinación de las distintas funciones hedónicas que explican el precio de la vivienda mediante la implementación de un Modelo de Precios Hedónicos (MPH) en regímenes espaciales, definidos con técnicas de estadística espacial.

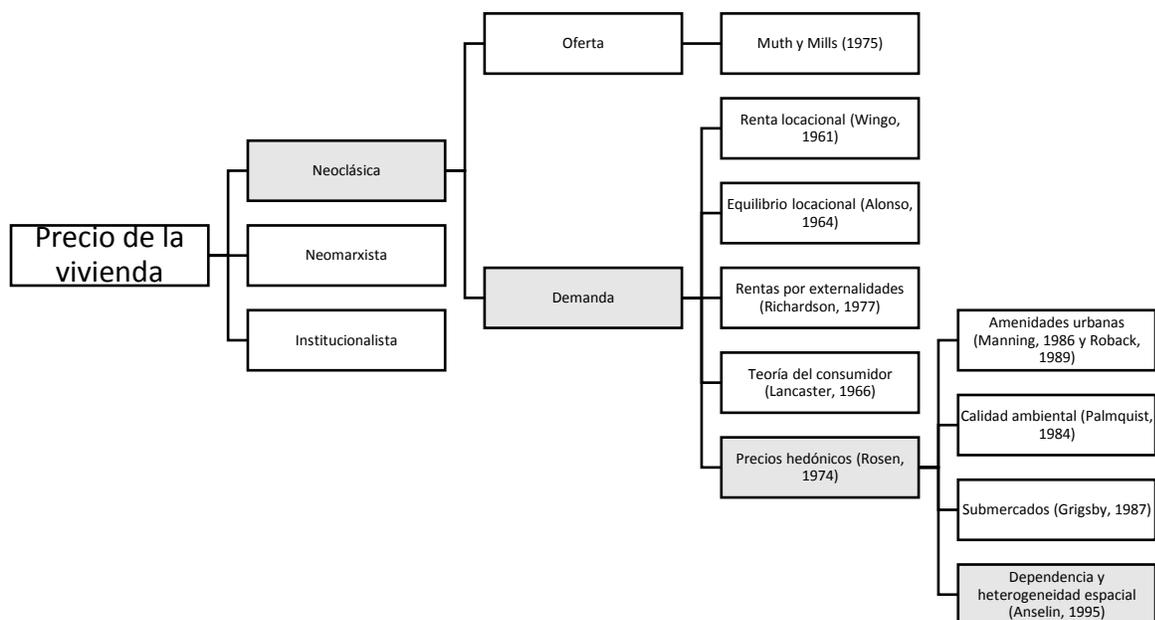
Los resultados del modelo son discutidos con la investigación en su conjunto en la sección de conclusiones. Como se esperaba, los impactos del ruido en los precios de la vivienda son distintos a lo largo del espacio en sentido y magnitud. En los submercados de precios altos la mala calidad del ambiente sonoro tiene un impacto negativo mientras que en los submercados de precios bajos el sentido del impacto es variable, llegando a ser positivo en algunos casos.

CAPÍTULO 1: IMPACTO DEL RUIDO EN LOS PRECIOS DE LA VIVIENDA

En años recientes ha crecido el interés por comprender los impactos que las amenidades ambientales tienen sobre los precios de la vivienda. Estos trabajos han buscado estimar cómo las personas valoran una diversidad de amenidades como serían las áreas verdes, el aire limpio o los recursos hídricos (Cruz, 2016; Netusil, 2005; Brasington & Hite, 2005; Epp & Alani, 1979). Estos estudios con un enfoque más integrado de los aspectos ambientales son todavía escasos, de manera que aún es frecuente encontrar estimaciones del precio de vivienda donde los bienes ambientales son olvidados. Cabe destacar que, entre las desamenidades ambientales, una de las que requiere incorporarse con mayor consistencia es la contaminación sonora; en particular, porque actualmente tanto las fuentes que la generan como los niveles que alcanza están incrementándose considerablemente dentro del entorno urbano y, por ende, también los efectos nocivos a la salud y al bienestar asociado a ésta. El ruido tiene algunas particularidades que dificultan su estudio y mitigación: es un contaminante de bajo costo de generación y altamente individualizado, no existe su acumulación espacio-temporal y suele ser una externalidad de carácter dual, ante el mismo evento sonoro, negativa para algunos y positiva para otros. Pese a estos obstáculos, la valorización de esta desamenidad es clave para entender su efecto sobre la economía y el desarrollo social, así como para incentivar medidas encaminadas a su control y disminución.

En el esquema 1 se sintetiza el marco teórico de la presente investigación dentro de un contexto más amplio, los nodos en color oscuro y las ramificaciones indican la secuencia lógica que se ha seguido. En este trabajo se busca modelar el comportamiento del precio de la vivienda en función de variables independientes que recogen las propuestas teóricas de Wingo (1961) y Alonso (1964) sobre la renta y el equilibrio locacional; de Richardson (1977) sobre las rentas por externalidades; de Lancaster (1966) sobre la nueva teoría del consumidor y; de Rosen (1974) sobre los modelos de Precios Hedónicos (PH). Sin embargo, el marco teórico particular del trabajo recae sobre las variaciones en la relación de dependencia entre la calidad ambiental sonora y el precio de la vivienda a lo largo del espacio.

Esquema 1. Esquema teórico de la investigación



Fuente: Elaboración propia

1.1. Determinantes del precio de la vivienda por submercados

Los estudios sobre el mercado de vivienda para la Ciudad de México (CDMX) desde la economía urbana³ son escasos. En sentido estricto, tal enfoque moviliza el marco teórico-conceptual de la economía neoclásica y concibe a la ciudad como un sistema de cuatro mercados interrelacionados: el de suelo-vivienda, de trabajo, de transporte y de servicios públicos. De estos, el mercado de trabajo tiene una importancia central ya que la inserción a un empleo y la calidad de éste determina el ingreso disponible para el consumo de bienes y, por lo tanto, su relación con los otros mercados que componen la ciudad (Hirsch, 1973). La relevancia del mercado de transporte radica en que les permite a las familias resolver los desajustes espaciales entre los distintos mercados, al dotarlas de

³ Al analizar a la ciudad desde esta óptica se asumen tres principios metodológicos que caracterizan la escuela teórica mencionada: el individualismo, el instrumentalismo y el equilibrio. Por lo que debe entenderse que podemos explicar el fenómeno económico urbano centrándonos en los individuos, cuyo comportamiento se basa en una función de utilidad que, en tanto *homoeconomicus*, buscan maximizar ante determinadas restricciones y preferencias de consumo. Lo anterior, es válido incluso a niveles agregados permitiendo mantenerse alrededor de un equilibrio de mercado.

las tecnologías mediante las cuales pueden elegir qué tan próximos ubicarse a su trabajo, servicios públicos y amenidades urbanas. La importancia de los servicios públicos radica en que estos son provistos por el Estado; aunque existe la oferta y la demanda de los mismos, no se comercian directamente en el mercado mediante un precio de equilibrio, como: servicios de seguridad pública, actividades y bienes culturales, protección civil, espacios recreativos, calidad ambiental, etc.

A lo largo del capítulo profundizamos en el mercado de vivienda; en su estructura y la determinación del precio de este bien según la estructura de preferencias de los consumidores en los distintos submercados.

O`Sullivan (1996) se pregunta por qué la vivienda es un bien de consumo distinto de otros bienes, sugiriendo que las características que la diferencian de los demás es que su oferta es heterogénea, es un bien durable, inmóvil, caro y con altos costos de elección de un sustituto. Propone entonces que las características de ésta pueden dividirse en dos tipos: las relativas a la estructura material y a aquellas relacionadas con las características del vecindario. En las primeras encontramos el tamaño, número de habitaciones, cantidad de baños, calidad de las mismas, entre otras. Puesto que la vivienda es un bien inmóvil y su consumo se realiza *in situ*, al consumirse se toma de forma simultáneamente una decisión de localización. Lo anterior, implica la necesidad de evaluar características del vecindario como la apariencia, la accesibilidad, la calidad medioambiental y los servicios públicos (O`Sullivan, 1996: 366).

El mercado urbano de la vivienda ha sido estudiado principalmente desde dos enfoques: el de la localización residencial y el de equilibrio entre oferta y demanda. Con respecto al primero, de acuerdo con Sobrino (2014) los determinantes de la localización residencial son el ingreso familiar, la elasticidad ingreso de la demanda, el lugar de trabajo, la estructura familiar, las características de la vivienda y las externalidades del vecindario. En el enfoque de las funciones de oferta y demanda, se asume que la intersección de estas dos es la que determina el precio de la vivienda, mientras que los factores determinantes quedarían constituidos por los agentes que intervienen en la producción de vivienda, los costos y los precios de la misma, así como por los mecanismos de financiamiento, la solvencia de las familias y el corto o el largo plazo. Según Hirsch (1977:76):

“A corto plazo, tanto el stock como la oferta de servicios de vivienda son relativamente fijos. Requiere un tremendo esfuerzo y altos costes para aumentar significativamente la oferta en cualquier periodo corto de tiempo. Así pues, a corto plazo, los servicios de viviendas están controlados por el lado de la demanda del mercado, siendo la demanda a corto plazo principalmente un reflejo de las rentas y las expectativas de renta

y de los costes y la disponibilidad de financiamiento. A largo plazo, la demanda agregada de viviendas urbanas depende del tamaño de la población y su distribución por edades y de los precios relativos de los servicios de viviendas. La oferta agregada de viviendas está relacionada con los precios y las cantidades del suelo y otros *inputs* para su producción”

Además del precio, el ingreso, las expectativas futuras y el crecimiento de la población “existen factores adicionales que influyen en la oferta y la demanda de viviendas en una ciudad como la localización del empleo, la disponibilidad de servicios públicos, la calidad del entorno tanto social como físico y finalmente la accesibilidad a otros bienes de consumo” (Hirsch, 1977: 78).

En esta investigación se aborda el mercado de vivienda desde el enfoque de la localización, que básicamente consiste en un análisis de la demanda. Se puede hablar de la existencia de tres grandes grupos de variables que explican la elección residencial: las características físicas de la vivienda tanto en cantidad como en calidad, las características del vecindario entre las que se encuentran las externalidades y los servicios públicos, y la accesibilidad a los nodos de concentración de empleo y a otras amenidades urbanas y equipamiento (Sobrino, 2014). Según Palm (1978) la accesibilidad que proporciona la localización, la calidad de la vivienda y de los servicios públicos son factores que impactan el precio de la vivienda, mientras que para otros (Kiel y Zabel, 2008) no existe factor más importante que el de la localización, ya que esta elección determina la accesibilidad a servicios públicos, amenidades y oportunidades laborales, es decir, a partir del consumo de vivienda se consume la localización y se determina la forma de vivir la ciudad y de relacionarse con el resto de los mercados que la componen.

De acuerdo con el enfoque de localización residencial, el precio de la vivienda se determina como una suma de propensiones a pagar por cada uno de los elementos que la constituyen (Rosen, 1974 y O’Sullivan, 1996). No son únicamente las características físicas de la misma lo que importa sino también las externalidades positivas y negativas de la localización.

Las características de la localización implican dos cosas distintas: la posición relativa en la ciudad y las características del vecindario dada esa localización. La primera implicación permite niveles de accesibilidad diferenciados a las centralidades urbanas (sean de empleo o de consumo), mientras que la segunda permite la disponibilidad de espacios de consumo, calidad ambiental y servicios *ad hoc* a una determinada estructura de preferencias de los consumidores y características del grupo demandante.

Para algunos autores la calidad ambiental del vecindario es una variable clave en la función de utilidad a maximizar (Yamada, 1972; Papageorgiou, 1976); sin embargo, según el enfoque de

la localización residencial, los consumidores de vivienda pueden realizar compensaciones de algunas cualidades por otras (*trade-off*) entre las distintas características de la vivienda, ya sean estructurales, de localización o del vecindario.

Si bien la economía ambiental plantea que la contaminación es un mal y su consumo deriva en una desutilidad, la heterogeneidad de los consumidores resulta en diferencias en la valoración económica que realizan y en el impacto sobre el precio de la calidad ambiental del vecindario sobre el precio de la vivienda, según las características y preferencias del grupo demandante. Así como existen conjuntos de consumidores para los que la calidad ambiental es prioritaria, para otros lo son la localización, las amenidades urbanas o las características estructurales.

1.1.1. Submercados

El impacto de la contaminación sonora en el precio de la vivienda no es igual para todas las viviendas que existen en el mercado, como tampoco lo es para el resto de los atributos. Las elasticidades que tienen cada uno de los componentes varían a lo largo del espacio de forma homogénea por submercados, pero heterogénea entre estos. Cada submercado valora en diferente sentido y magnitud las características de la vivienda, por lo que existirán submercados en los que la localización tenga un impacto importante y otros en los que ésta no sea tan importante como la disponibilidad de amenidades urbanas o la calidad ambiental del vecindario.

Según O'Sullivan (1996: 380) la heterogeneidad de la oferta implica que el mercado de vivienda se constituya en submercados relacionados entre sí y que pueden ser delimitados de acuerdo al tamaño, localización y calidad de las construcciones. En otras palabras, la heterogeneidad en el stock existente, las diferencias en lo atractivo del vecindario y la existencia de discriminación conllevan a que el mercado urbano de la vivienda se constituya en un conjunto de submercados distintivos y compartimentados, delineados por el tipo de vivienda y la localización (Schnare y Struyk, 1976).

Existe una amplia discusión en torno a la definición y a la identificación de los submercados. Las definiciones más tempranas descansan sobre el concepto económico de sustituibilidad, de tal manera que sus funciones de Precios Hedónicos (PH) reflejarían que la estructura de las preferencias de los consumidores será similar al interior de cada submercado pero diferente entre submercados. En este sentido las viviendas al interior de cada submercado serían sustitutos cercanos para los consumidores, no así las de otros submercados. Existen cuatro criterios

principales para clasificar las preferencias y, por lo tanto, definir a los submercados: las características estructurales, la geografía o las características espaciales, la identificación de distintos grupos de demandantes y los enfoques mixtos (Watkins, 2001).

Algunos autores han sugerido que los submercados comprenden a todas las viviendas con características físicas similares sin importar su localización (Dale-Johnson, 1982; Grigsby, 1963); para otros, los submercados se componen estrictamente por aquellas que comparten una localización o división político-administrativa (Palm, 1978; Straszheim, 1975; Ball y Kirwan, 1977; Hancock, 1991); y, hay para quienes los submercados dependen de las características de los consumidores como, por ejemplo, la composición racial (Michaels y Smith, 1990; Straszheim, 1975) o el nivel de ingresos (Schnare y Struyk, 1976; Munro, 1986). Un enfoque alternativo a los anteriores es el de la segmentación basada en criterios mixtos, ésta le da importancia a la homogeneidad de las características anteriores sin dejar de lado las características geográficas de la localización (Adair, et al., 1996; Maclennan y Tu, 1996; Bourassa et al., 1999).

1.2. El mercado de vivienda en la Ciudad de México

La CDMX suele estudiarse en una escala más amplia de la que forma parte conocida como la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Los recientes estudios sobre vivienda en la ZMCM pueden clasificarse en 4 grandes rubros: aquellos que abordan la división social del espacio, los que tratan del uso de suelo urbano, estudios sobre los procesos de producción de vivienda y lo referentes a la política de vivienda (Rubalcava y Schteingart, 2012). Sin embargo, son escasos los trabajos de investigación que abordan los determinantes de los precios con un enfoque en el análisis de la demanda.

Los principales hallazgos en torno a la literatura sobre el mercado de vivienda en la ZMCM apuntan hacia una consolidación de los patrones urbanos entre 1950 y 1980, periodo que está vinculado a la etapa de industrialización de la planta productiva mexicana y el modelo de sustitución de importaciones, así como un mejoramiento de la calidad de la vivienda con recursos propios de los hogares y una segregación de aquellos con ingresos altos (Sobrino, 2014). En la segunda mitad de este periodo, característico por el modelo referido, se dio un primer paso para institucionalizar la política urbana con la Ley de Asentamientos Humanos promovida por el presidente Echeverría en 1976, que sería más un instrumento demagógico sin la capacidad de establecer los mecanismos de incentivos para que los grupos financieros e inmobiliarios se

involucraran en una política de ordenamiento territorial urbano. Algunos años más tarde, en 1980, fue aprobado un instrumento central de planeación para regular el crecimiento de la ciudad conocido como el Plan General Director de la Ciudad de México que, entre otras cosas, propondría la división de su territorio en tres zonas: el área consolidada, área de amortiguamiento y área de conservación. Sin embargo, el plan no sería suficiente para evitar la expansión física hacia el sur, cuyo uso de suelo propuesto por el plan era del segundo y tercer tipo (Aguilar, 1987).

La urbanización de la ZMCM en general y particularmente el comportamiento del mercado de vivienda de la Ciudad de México, están marcados en la historia reciente por dos acontecimientos políticos importantes. El primero de ellos es la reforma constitucional al artículo 27 de 1992, durante el periodo presidencial de Salinas de Gortari, que permitió a los ejidos el fraccionamiento de las tierras y la emisión de títulos a pequeños propietarios, incrementándose así la oferta de suelo disponible para su comercialización en el mercado. El segundo es la política implementada en el año 2000 durante el gobierno de López Obrador conocida como Bando 2 que buscó incentivar el repoblamiento de las cuatro delegaciones centrales (Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza) y disuadir la expansión periférica.

Aunado a lo anterior, es relevante que el financiamiento de vivienda en las últimas décadas del siglo XX estuvo influenciado por la etapa del aumento de la oferta y accesibilidad al crédito, los altos niveles de subsidio por los organismos públicos promotores como el Infonavit (y su respectiva descapitalización) y la de la desregulación acompañada de una contracción en los subsidios y la participación protagónica del sector constructor privado y la banca (Graizbord & Schteingart, 1998).

1.3. Determinantes del precio de la vivienda: localización y amenidades urbanas

La economía urbana retoma la discusión sobre la localización de las familias, la cual ha estado presente en los estudios urbanos desde los primeros trabajos realizados por la sociología urbana. La estructura urbana es el resultado de las decisiones interdependientes de localización de distintos actores económicos, ya sea fortaleciendo o debilitando las centralidades urbanas, razón por la que se trae a colación una breve revisión de las teorías que buscan explicar la morfología de las ciudades.

En este sentido, la localización es un determinante del precio de la vivienda porque a través del consumo de ésta se accede en diferentes grados a externalidades, como serían los servicios

públicos, las amenidades urbanas y la calidad medio ambiental, que no son directamente comercializados ni valorados en el mercado. De acuerdo con el enfoque de la economía urbana, el precio es un mecanismo de asignación que distribuye el bien vivienda de manera óptima, por lo que la estructura urbana y las posibles localizaciones de las familias es una expresión del equilibrio de las preferencias de consumidores y productores.

Las preguntas teóricas en torno a la estructura urbana se han planteado desde tres enfoques: el geográfico, el sociológico y el económico (Ejea, 2014). El primero fue desarrollado bajo un grupo de teorías agrupadas por la Escuela Clásica Alemana; el segundo, por los trabajos de la Escuela Sociológica de Chicago; y el tercero, por la Nueva Economía Urbana.

El punto de partida teórico de la estructura urbana es el planteamiento, con un sesgo geográfico, de la escuela clásica alemana realizado por Von Thünen⁴ (1826) y considerado la base de la teoría económica espacial. Esto se sustenta en el hecho de que sus principales aportaciones son recurrentes en modelos explicativos posteriores: las teorías de la localización y del lugar central (Ejea, 2014).

Basados en lo anterior están los planteamientos de la Escuela Ecologista de Chicago, en particular los de Burgess (1925) y Hoyt (1939). Por un lado, en su teoría sobre las zonas concéntricas⁵ Burgess (1925) analiza la ciudad como un ecosistema, en el que la distribución de los usos de suelo urbanos era producto de un conjunto de fuerzas que operaban en la dimensión ecológica y donde estos eran ocupados por diferentes actividades económicas, clases socio-económicas y grupos étnicos. En el centro se encontraba el Distrito Central de Negocios (DCN) y

⁴ De acuerdo con esta formulación la localización de los agricultores responde a una lógica optimizadora y de competencia que deriva en una estructura urbana monocéntrica en la que los usos de suelo más rentables se encuentran en el centro y los menos en la periferia. Los agricultores localizados en una llanura homogénea, en la que las densidades son por doquier semejantes, encauzan sus producciones hacia el centro urbano más próximo. Venden sus productos en el mercado de esta ciudad, y han de tener en cuenta los gastos de transporte, que se vienen a añadir al costo de producción. Existe, pues, una competencia por poseer y cultivar los terrenos más cercanos a la ciudad; y el terreno será vendido al granjero que ofrezca más. En contrapartida, éste habrá de producir mercancías sensibles al coste de transporte, para beneficiarse así de la renta de proximidad. De este modo, las producciones agrícolas se distribuyen según zonas concéntricas en torno a la ciudad, y con arreglo a los costes decrecientes de transporte. La leche, cuyos gastos de transporte son elevados, se producirá cerca del mercado, mientras que los cereales serán cultivados en terrenos lejanos (Bailly, 1978).

⁵ Según Lezama (2014), la escuela ecologista planteaba que: “el orden espacial venía a ser el resultado de las fuerzas selectivas y competitivas que estructuraban la vida urbana para generar un patrón de usos de suelo. En este contexto, los procesos ecológicos y la división del trabajo se constituyen en las fuerzas que distribuyen la estructura física y funcional de la ciudad. De esta misma manera, la distribución jerárquica de los hombres en la estructura social y de los objetos urbanos en la estructura espacial, venía a ser la expresión de las necesidades funcionales del organismo social que, en su proceso de diferenciación, ordenaba a los hombres y las cosas con la lógica de la eficacia y con la precisión de las leyes del mundo natural”.

en los primeros anillos concéntricos los hogares de bajos ingresos, mientras que los de altos ingresos buscan la periferia procurando alejarse del deterioro circundante al DCN. Por otro lado, el modelo de los sectores de Hoyt (1939) rechazó la hipótesis de las estructuras concéntricas y en su lugar propuso el de una organización sectorial⁶ en el que los grupos de altos ingresos se auto-segregaban espacialmente localizándose en las zonas con mayores ventajas.

La Nueva Economía Urbana, basada en la economía neoclásica, aporta los elementos de referencia obligada para explicar la localización de los hogares mediante los modelos de Wingo (1961) y Alonso (1964), ambos considerados dos de los autores más representativos por el lado de la demanda (Graizbord, 2008: 63) y precursores de los modelos de equilibrio espacial residencial intraurbano. Estos autores basan sus desarrollos teóricos en una ciudad monocéntrica⁷ con un gradiente de precios negativo que va del DCN hacia la periferia, la utilización del suelo urbano por las familias queda mediada por los costos económicos asociados a la fricción de la distancia.

Dada esta fricción de la distancia, por un lado, Wingo (1961) convierte los costos del transporte en el elemento determinante del uso del suelo urbano por parte de las familias, pues plantea que, ante una recta presupuestaria, éstas se enfrentan a una relación de sustitución entre los costos de transporte y la renta, permitiéndoles distribuirse en el territorio con una estructura de rentas en equilibrio. Por otro lado, Alonso⁸ se centra en la formalización de un modelo en el que

⁶ Esta propuesta consiste en la existencia de usos de suelo homogéneos, no sólo por actividades económicas sino también por nivel socioeconómico. De acuerdo con este modelo, las clases de alto nivel socioeconómico pueden localizarse en uno o más lugares de la ciudad, las cuales, al expandirse, buscan situarse en la periferia, pero aprovechando la conectividad proporcionada por las vialidades; es decir, se localizan de forma centrifuga al DCN y centrípeta a las vialidades. Comparte con Burgess (1925) la noción del gradiente originado en el DCN, pero la expansión de la forma urbana se da en forma de cuñas homogéneas sectorialmente. Son las centralidades formadas por las zonas residenciales de clases altas las que gozan de una mejor calidad ambiental y paisajística, así como menores densidades poblacionales y que buscan fortalecerse sectorialmente (no se entiende quién o quiénes son los sujetos de esta oración).

⁷ La realidad latinoamericana dista mucho de este tipo de estructura urbana, en todo caso más aproximadas a formas policéntricas, como ha sido propuesto por Sobrino (2007) y Graizbord y Acuña (2007) o a centralidades lineales a lo largo de corredores de empleo como Insurgentes y Reforma en la Ciudad de México (Muñiz, Sánchez y García-López, 2015). Terrazas también identifica un modelo axial estructurado por las avenidas Reforma, Insurgentes, Revolución, Tlalpan y Periférico (Terrazas, 2010 en Ejea, 2014). En un ejercicio empírico Ejea (2014) encuentra que en 1952 los precios de vivienda más altos se encontraban en el corredor Lomas-Polanco mientras que en las décadas de los sesenta y setenta esto sucedía en el Pedregal de San Ángel, mientras que en los mismos años la mayor oferta inmobiliaria se derrama de manera axial a partir de Insurgentes por las avenidas Tlalpan, Revolución, Reforma y Polanco-Periférico.

⁸ La formalización matemática del equilibrio espacial residencial *á la Alonso* en su versión original estaría dado por la siguiente ecuación (Bailly, 1978):

$$y = P_z Z + K(t) + P(t)q$$

la localización de los hogares es concebida como un problema de maximización de la utilidad sujeta a una restricción presupuestaria (Graizbord, 2008: 64). De esta forma este autor introduce al análisis del precio de la vivienda la idea de renta ofertada (*bid rent*). Dicho concepto plantea que a medida que ocurre un aumento de la distancia al DCN, y por tanto, de los costes de desplazamiento residencia-trabajo, éste debe compensarse con una disminución de la renta del suelo; lo cual suele traducirse en una menor densidad poblacional (García-López y Muñiz, 2007).

Una versión sofisticada del modelo de Alonso (1964) es el modelo Alonso-Muth-Mills (A-M-M), que de acuerdo con Valdivia (2014), explica la localización de un individuo como el resultado de la diferencia entre los ingresos aumentados por las amenidades urbanas y los costos tanto de transporte como de vivienda:

$$\text{Ingresos} + \text{amenidades} - \text{costos de transporte} - \text{costos de vivienda}$$

En el sentido del modelo A-M-M están otros modelos económicos de localización residencial que van más allá del clásico *trade-off* entre cantidad de vivienda y accesibilidad y hacen énfasis en las características del vecindario, tipo de uso de suelo y preferencias sociales y ambientales, como los desarrollados por Richardson (1977) y Evans (1974). Por un lado, Richardson (1977) plantea una función de utilidad en la que las amenidades de los vecindarios y la calidad ambiental son valoradas como externalidades urbanísticas y ambientales que añaden valor al suelo más allá de las características de la vivienda y de localización, dando lugar a la discusión sobre la existencia de gradientes positivos hacia la periferia. Por otro lado, el planteamiento de Evans (1974) consiste en que los hogares tienen preferencias por segregarse (racial, étnica, religiosa o socialmente) en zonas homogéneas con una oferta de servicios apropiada para la comunidad en cuestión y cerca de sus redes sociales. Por consiguiente, los grupos de altos ingresos tenderían a localizarse en zonas de bajas densidades, con una buena calidad ambiental y paisajística, y rodeados de hogares de altos ingresos en busca de conservar o elevar su estatus social.

Donde y es la renta; P_z , el precio de una unidad de bienes y servicios; Z , la cantidad de bienes y servicios; $P(t)$, el precio de una unidad de terreno, en función de la distancia t al centro, q , la superficie del solar, y $K(t)$ el gasto en transporte, en función de la distancia t al centro.

Las amenidades urbanas sugieren un tipo de equilibrio particular que opera principalmente sobre la *clase creativa*, conocido en la literatura como equilibrio espacial *á la Glaeser* (Valdivia, 2014). Este equilibrio es de carácter dinámico y plantea que la decisión de movilidad residencial de los trabajadores con mayores niveles de capital humano está en función de la capitalización que logren de las amenidades urbanas en los sitios nuevos.

La decisión de localización implica la elección de un vecindario determinado. Galster (2001) entiende por vecindario al “conjunto de atributos asociados espacialmente con agrupamientos de residencias, a veces en concurrencia con otros usos de suelo “. Entre tales atributos se encuentran las características estructurales de los edificios residenciales y no residenciales, las características demográficas de la población residente, y las características de la infraestructura, así como las características de impuestos y servicios públicos, ambientales, de proximidad, políticas, de interacción social y sentimentales.

La propiedad que permite que estos conjuntos de atributos puedan llamarse vecindario es su base espacial; no obstante, esto no necesariamente conlleva a una homogeneidad en los atributos ni a un carácter inherentemente geográfico de los mismos. En realidad, estos también están asociados a los individuos y a sus características de grupo; los cuales son ampliamente heterogéneos a lo largo de las ciudades y permiten que los vecindarios sean clasificados por tipo y calidad (Galster, 2001: 2113). La elección de un vecindario determinado es también la elección de un espacio social específico. Este espacio social puede ser definido por sus características socioeconómicas, étnicas, estéticas, etcétera, y tiene la capacidad de influir en el comportamiento individual y en las posibilidades de inserción social del individuo, por ejemplo, en el mercado laboral; fenómeno mejor conocido en literatura como *efectos de vecindario*.

En este sentido recae la importancia de la condición socioeconómica, como otro factor ligado al vecindario, dentro de la composición del precio de la vivienda. A finales de los setenta, Yinger (1979) confirmaría que la condición socioeconómica de las familias seguía siendo importante en la determinación del precio de la vivienda, aun cuando la heterogeneidad racial en los vecindarios había aumentado. A su vez, Strazheim (1975) y O’Sullivan (1996) dan cuenta de cómo el precio de las viviendas en vecindarios mayoritariamente blanca disminuye en la medida que se avecindan individuos de otras razas

En México la segregación residencial de connotación social tiene un mayor peso que la racial. Rubalcava y Schteingart (2012) encontraron que al interior de las delegaciones de la CDMX

existía heterogeneidad en las condiciones socioeconómicas de sus AGEB (Áreas Geoestadísticas Básicas); no obstante, era raro encontrar AGEB de muy bajo estrato en delegaciones de muy alto estrato social. Arriagada y Rodríguez (2003) identificaron que la élite socioproductiva de la CDMX tendía a concentrarse en cuatro delegaciones vecinas del centro-sur de esta ciudad (Cuajimalpa de Morelos, Miguel Hidalgo, Benito Juárez y Coyoacán), caracterizadas por ser zonas bien conectadas e integradas; mientras que, los pobres lo hacían en zonas periféricas y dispersas. Esta tendencia hacia la segregación multigrupo también se encuentra respaldada por el trabajo realizado por Sánchez (2011) en la CDMX, el cual pone en evidencia la existencia, durante los noventa y los primeros años del siglo XXI, de una muy marcada segregación residencial por ingreso y nivel educativo de los estratos altos con respecto a los estratos medios y bajos. A su vez, los resultados de este trabajo muestran que la heterogeneidad de las áreas residenciales populares producto de la coexistencia entre hogares de ingresos medios y bajos, presentaba una tendencia a la baja.

Un estudio más recientes sobre la segregación residencial en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) comprueba para los años 2000 y 2010 la existencia de un patrón de segregación residencial que se distingue por concentrar a las AGEB de mejor condición socioeconómica⁹ hacia el centro y suroeste de la CDMX, básicamente en las delegaciones Coyoacán (102 y 100), Benito Juárez (93 y 96), Tlalpan (75 y 80) y Miguel Hidalgo (72 y 79). Las AGEB de estrato muy bajo estarían relegadas a la zona periférica oriente y nororiente de la ZMVM dentro de los municipios del Estado de México de Ecatepec (100 y 72), Valle de Chalco (92 y 90), Chimalhuacán (90 y 103) y Chalco (63 y 60) (Pantaleón, 2012).

Otra característica importante del vecindario es la disponibilidad y la calidad de los servicios públicos, que influye en las preferencias locacionales de los consumidores y en consecuencia en el precio de la vivienda. La teoría económica plantea la existencia, *ceteris paribus*, de una relación positiva entre la calidad de los servicios públicos y el precio de la vivienda (Palm, 1978). Usualmente se asume que los vecindarios de mayor ingreso son de mejor calidad, entre otros aspectos, en cuanto a mejores escuelas y una menor tasa de criminalidad, impactando positivamente en el precio de la vivienda de mercados como el de Estados Unidos y Reino Unido (Xiao, 2016). En los trabajos de (Sobrino, 2014) y Zubicaray (2015) la calidad de los servicios públicos de la Ciudad de México es aproximada, entre otras variables, a través de las puntuaciones

⁹ Se aplicó la metodología de Dalenius y Hodges para clasificar a las AGEB en distintos grupos o estratos.

de la Evaluación Nacional de Logros Académicos en Centros Escolares (Enlace) realizadas a escuelas de nivel primaria. Los resultados generales de ambos trabajos sugieren que la puntuación de esta prueba tiene un efecto positivo y significativo en los precios de la vivienda. Cabe destacar, que existen ciertas dificultades para estimar el impacto que la calidad del vecindario, y por ende la calidad de los servicios públicos que éste posee, tiene sobre los precios de la vivienda; en particular porque suele existir una correlación positiva entre el nivel de ingreso de los hogares y la calidad de los servicios demandados, así como entre estas dos variables y la capacidad recaudatoria a nivel municipal, llevando a problemas de endogeneidad (Zubicaray, 2015).

La discusión sobre la estructura urbana y la localización de la vivienda son importantes en esta investigación porque tanto los usos del suelo como los grupos demandantes tienden a autocorrelacionarse espacialmente impactando en el precio por el lado de la demanda, resultando en zonas con diferente calidad de servicios públicos, amenidades urbanas y calidad ambiental. Tanto la heterogeneidad de los consumidores como de los usos de suelo resultan en submercados en equilibrio, en los que se valoran cosas distintas. Por lo tanto, hay submercados característicos por una alta densidad de amenidades urbanas; existen otros en los que se prefiere la baja densidad tanto de población como de actividad económica y se identifican como submercados altamente residenciales y; otros que se caracterizan por la mala calidad de servicios públicos, ambiental y baja accesibilidad.

La estructura urbana y la variación espacial del uso del suelo reflejan las diferencias en las estructuras de preferencias de los consumidores y los submercados de vivienda la localización de esos consumidores, quienes sujetos a una restricción presupuestaria consumen de lo que desean lo que ésta les permite. Por lo tanto, como la competencia por las viviendas se realiza mediante el precio, se tiene como resultado que los grupos de altos ingresos acceden a las mejores localizaciones en términos de externalidades urbanas y ambientales y los grupos de bajos ingresos a las peores. En este sentido, se esperaría que los submercados de precios altos se encuentren cerca de instalaciones saludables (*salutary facilities*) como parques, hospitales y escuelas y las de precios bajos de instalaciones nocivas como industrias, aeropuertos y vialidades (*noxious facilities*).

1.4. Características ambientales del vecindario

Es a nivel de calle y de vecindario donde se encuentran las características ambientales que se consumen con la localización de la residencia. Las características del vecindario, ya sean físicas,

sociales o ambientales, no se comercian en el mercado porque que son bienes cuyos derechos de propiedad no están definidos, sin embargo, autores señalados anteriormente como Evans (1974) y Richardson (1977) plantean que éstas son relevantes en las decisiones de localización residencial. En términos generales, una externalidad surge cuando las acciones de un individuo o grupo de individuos implican una pérdida de bienestar o utilidad en otros (Roberts, 1996), y que no son explícitas contractualmente (Meadowcroft, 2004), por ejemplo, a través del precio de mercado.

El concepto de externalidad fue planteado inicialmente por Mill (1848) en su análisis sobre las fallas del mercado (efectos externos, rendimientos crecientes y falta de información). Los efectos externos al precio de los que habla son las consecuencias económicas que se escapan a un sistema de precios que se encuentra en equilibrio de Pareto. Por lo tanto, desde esta perspectiva, las externalidades ambientales¹⁰ pueden entenderse como fallas de mercado que causan distorsiones en el uso de los recursos porque la sociedad no paga el precio del bien en cuestión (De la Cámara, 2008). Posteriormente Pigou (1920) las definió como las divergencias negativas o positivas¹¹ entre los productos netos marginales sociales y privados y propuso su internalización a través de mecanismos impositivos. A diferencia de Pigou (1920), Coase (1960)¹² plantea que el mercado es capaz de internalizar las externalidades siempre y cuando estén definidos los derechos de propiedad y los costos de transacción sean nulos.

Sin embargo, aquí nos referimos a un concepto más acotado de externalidad que aparece en la literatura como externalidades locacionales, las cuales en términos generales se refieren a aquellos atributos espaciales que tienen impactos sobre los elementos urbanos de forma decreciente en la medida que se incrementa la distancia. En esencia, los atributos locacionales son medidas de las externalidades locacionales (Orford, 1988). Pinch (1985) las distingue dependiendo

¹⁰ La perspectiva de las externalidades propone ver a la contaminación como un producto social derivado de las decisiones individuales. Por lo tanto, desde esta perspectiva los problemas ambientales son problemas de coordinación social (Ostrom, 2003) en los que el mercado no es el mejor mecanismo de asignación para los recursos ambientales. Los costos de alguna actividad son externalizados cuando son impuestos sobre alguien sin compensación alguna.

¹¹ Un caso en el que el producto neto marginal social es mayor que el privado es aquel en el que se realizan servicios no pagados cuando se invierten recursos en jardines privados, pues si bien el público no está autorizado para pasear por ellos, disfruta del aire purificado por este motivo (Pigou, 1920).

¹² En *El problema del costo social* (Coase, 1960) desarrolla un ejemplo en el que una fábrica de confitería y un médico son vecinos y los ruidos y vibraciones de la primera afectan los beneficios del segundo desde el momento en el que no puede seguir atendiendo a sus pacientes en ese lugar. En el ejemplo coasiano “el médico hubiese estado dispuesto a renunciar a su derecho dejando que la maquinaria continuase funcionando si el confitero le hubiese indemnizado con una suma superior a la pérdida de renta que sufriría al tener que mudarse a un local actual o al tener que levantar una pared que amortiguase los ruidos y trepidaciones” (Coase, 1960).

del efecto que tienen en los hogares: negativas las que generan costos y positivas las que traen consigo beneficios, que son capitalizados en los precios de las viviendas. Frecuentemente una misma amenidad genera externalidades positivas y negativas, tal como es el caso de un centro comercial, pues mientras impone costos en la forma de congestión vehicular y ruido también implica beneficios como espacio de consumo colectivo para los residentes locales. Este tipo de externalidades son conceptualizadas de forma multinivel: a nivel de la propiedad, como la accesibilidad al DCN, equipamiento urbano y amenidades; a nivel de calle, como la calidad del ambiente y el tipo y la calidad de la calle y; a nivel de vecindario, como la densidad poblacional, la proporción de espacios abiertos, el prestigio y la composición social y racial (Orford, 1988).

Las externalidades ambientales que afectan al vecindario son de tipo locacionales y han sido ampliamente estudiadas por la economía ambiental bajo el supuesto de que la calidad ambiental es valorada por la sociedad, pues esta prefiere una buena calidad a una mala y está dispuesta a pagar por ella. Los métodos comúnmente utilizados para determinar el valor económico¹³ de los bienes ambientales que carecen de mercado han sido los MPH y los de Valoración Contingente (VC).

El primero, que fue definido anteriormente, permite realizar una valoración indirecta mediante el consumo de bienes que sí tienen mercado como la vivienda, mientras que el segundo tiene como objetivo averiguar y construir las preferencias de los individuos, a través de lo que ellas mismas responden, por lo que se le considera un método de preferencias declaradas o directo ya que se busca que el mismo individuo diga, ante un escenario hipotético, lo que estaría dispuesto a pagar en términos monetarios por una mejora en su bienestar, por evitar un empeoramiento o la cantidad exigida como compensación por un daño tal como la exposición al ruido por el tráfico urbano (Martínez, 2005). Los estudios de VC consisten en la aplicación de cuestionarios en los que la pregunta central y dependiente es la máxima disposición a pagar (DPA) por una reducción en los niveles de ruido o, en su defecto, la mínima disposición a aceptar (DAA) mientras que el

¹³ Según Pearce (1976) la sociedad valora positivamente a los activos y recursos medioambientales porque son necesarios para la producción de bienes y servicios, son receptores de residuos y desechos, desempeñan funciones de soporte ecológico y sostenimiento de la vida y porque brindan oportunidades para la recreación, esparcimiento y relajación. El valor económico total (VET) se descompone en valores de uso y de no uso, entre los primeros se encuentran los de uso directo que pueden ser de carácter extractivo y no extractivo y los de uso indirecto, entre los segundos se consideran los de opción y de existencia (Pearce y Turner, 1995).

resto de las preguntas permiten generar variables independientes que se asocian con la primera mediante un modelo logístico.

El estudio del impacto de las áreas verdes en los precios de la vivienda sirve para ejemplificar la dualidad de las externalidades, ya que puede tener tanto un efecto positivo como negativo. Las variables ambientales utilizadas en estos estudios han sido la distancia al área verde, su tamaño y si la propiedad tiene vista a la misma (Cruz, 2016). Bengochea (2003) realiza un estudio en Castellón, España para conocer la disposición a pagar por encontrarse cerca de una área verde, con el que concluye que el impacto positivo de la distancia a la que se encuentra de la vivienda es significativo.

Cruz (2016) elabora distintos MPH para calcular el impacto de las áreas verdes en los precios de la vivienda de la Ciudad de México. Uno con las variables de interés, otro controlando con variables estructurales y finalmente un modelo de rezago espacial. Las variables con coeficientes significativos en común para los tres modelos fueron el tamaño de las áreas arboladas y la distancia a áreas deportivas, con efectos positivos de entre .018% y .26% y .025% y .08% respectivamente en el precio de la vivienda por cada aumento unitario porcentual; mientras que las variables de tamaño promedio de las áreas verdes con pastos y arbustos y el tamaño promedio de las áreas verdes deportivas no resultaron significativas en ninguno de los modelos.

Netusil (2005) encuentra que la proximidad de las viviendas a un parque no es lineal, pues las viviendas que están muy cerca, se ven impactadas negativamente, mientras que las que se encuentran a una mayor distancia, pero siguen teniendo acceso al mismo suben de valor. Una hipótesis que podría explicar esto es la desarrollada por Troy y Groove (2008) quienes buscan la relación que existe entre el crimen y los precios de la vivienda, encontrando que, en efecto, este aumenta cuando tienen un parque cerca en zonas donde las tasas de crimen son bajas. En este sentido, Galiani et al. (2012) encuentra que el impacto del crimen es consistente con lo anterior, pues los precios disminuyen casi en la misma medida porcentual que los homicidios aumentan.

Brasington y Hite (2005) estudiaron el impacto en el precio de la vivienda de puntos contaminados, encontrando que en la medida que estas se alejan de tales lugares, sus precios aumentan. González et al. (2013) en un estudio para la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey encontraron que una reducción unitaria en los niveles de PM10 impacta en el precio de la vivienda en 41.73, 36.34 y 43.47 dólares respectivamente.

Estudios realizados en Estados Unidos han contribuido a comprobar el impacto de la calidad ambiental en los precios de la vivienda. Entre los más citados en la literatura se encuentran los de Ridker & Henning (1967) quienes encontraron que si había una disminución de 0.25 mg/100 cm² por día, aumentarían los valores de las viviendas unifamiliares ocupadas por sus dueños entre \$83 y \$245 dólares. Nelson (1978) comprobó que había una disminución de entre \$57.61 y \$14.11 para la concentración de partículas suspendidas y oxidantes en verano respectivamente. Epp y Alani (1979) hallaron que había un incremento del 5.9% en el valor promedio de las ventas de propiedades residenciales por cada aumento unitario en el PH del agua mientras que Young (1984) estimó una disminución en el valor de las viviendas en aproximadamente 20% debido a la mala calidad del agua percibida de en la misma zona. Mendelsohn et al. (1992) encontraron que las propiedades en zonas contaminadas por policlorobifenilos (PCB) disminuyeron su valor de entre \$10,000 y \$7,000 dólares. Chay y Greenstone (2005) realizaron un estudio sobre partículas suspendidas en el que identificaron que la reducción total del contaminante repercute positivamente en el precio entre el 0.2 y el 0.4%.

Los impactos de los vertederos de residuos sólidos en los precios de las viviendas también han sido ampliamente estudiados. En Estados Unidos Jauregui & Hite (2010) encontraron que los precios de las viviendas cercanas algún sitio de disposición como estos disminuía en un 16% y Nelson et al. (1992) que los valores de la vivienda disminuían entre un 12 y un 6% en el radio de una milla pero más allá de 2 millas los efectos eran insignificantes. En Sudáfrica las propiedades situadas en un radio de uno a dos kilómetros eran de alrededor de 57,000 rands sudafricanos, en un radio de dos a cuatro kilómetros alrededor de 34,000. Ham et al. (2013) encontraron que en Birmingham, Reino Unido los precios de las viviendas con un vertedero en un radio de 3 km disminuían en un 2.6%.

Otro componente de la calidad del medio ambiente urbano con impactos en los precios de la vivienda es la del medio ambiente sonoro que, a diferencia de los anteriores, se caracteriza porque no se acumula ni en el tiempo ni en el espacio y por su carácter local ya que tampoco se traslada a vecindarios contiguos.

1.4.1. La contaminación sonora del vecindario

El impacto calidad del medio ambiente sonoro en el precio de la vivienda de la ha sido relativamente poco estudiado. Sin embargo, es común que su importancia emerja ante la amenaza

en los incrementos de ruido derivados, por ejemplo, de la construcción de grandes obras de infraestructura como aeropuertos, plazas comerciales o vialidades. La respuesta de los vecinos ante este tipo de situaciones es mejor conocida como N.I.M.B.Y (*Not In My Back Yard*), desde la que se construyen argumentos a favor de un determinado proyecto que resolverá alguna necesidad de la ciudad, pero en contra de hacerlo cerca de usos de suelo residenciales, porque representa una amenaza al valor de las viviendas entre otras afectaciones al bienestar.

El ambiente sonoro urbano está compuesto por diversas fuentes, aunque no todas ellas contribuyen al ruido ambiental y a diferencia del paisaje sonoro urbano, el ambiente sonoro es un fenómeno físico y no una construcción subjetiva (Kang, et al. 2016). Si bien el ruido ambiental afecta tanto a los paisajes sonoros como a los ambientes sonoros, cuando hablamos del ruido ambiental nos referimos a cualquier sonido indeseado creado por actividades humanas que sea considerado dañino o negativo para la salud humana y la calidad de vida, refiriéndose especialmente al ruido que afecta a los seres humanos y exclusivamente a los sonidos exteriores causados generalmente por el transporte, la industria y actividades recreativas, por lo tanto el ruido ambiental es una forma de contaminación (Murphy et al., 2009).

Debido al carácter local de la contaminación sonora, la calidad del medio ambiente sonoro de un vecindario refleja fielmente la dinámica socioeconómica de la zona y la estructura de preferencias de los consumidores de vivienda en ese lugar. En este sentido, la respuesta de los consumidores podrá ir en distintas direcciones. Así como será posible que existan vecindarios en los que se valore positivamente estar cerca de la contaminación sonora, por ejemplo, cuando proviene de amenidades urbanas; también existirán vecindarios cuya ventaja locacional sea la paz y tranquilidad provista por un ambiente sonoro de calidad.

Según la normatividad europea los espacios urbanos pueden clasificarse en cuatro zonas según la calidad permitida de su ambiente sonoro: las de alta sensibilidad acústica son las que admiten una protección alta contra el ruido como aquellas circundantes a los hospitales, escuelas o centros culturales; las de moderada sensibilidad acústica como los sectores residenciales, de hoteles o centros históricos; las de baja sensibilidad acústica como aquellas con usos de suelo comerciales y zonas de bares y restaurantes; las zonas de servidumbres sonoras a favor de infraestructuras de transporte y las zonas relativamente tranquilas, llamadas así a aquellas que no sobrepasan los niveles de ruido estipulados por las legislaciones y en las que los sonidos antropogénicos no dominan el ambiente sonoro (Martínez, 2005). La importancia que tiene la

calidad del ambiente sonoro en las zonas residenciales ha sido abordada desde diversos enfoques, entre los que se encuentran los análisis sobre la satisfacción residencial, los estudios de VC, los MPH y los de satisfacción residencial.

De acuerdo con Amérigo y Aragonés (1997), los estudios de satisfacción residencial engloban tres elementos: la vivienda, el vecindario y el medio ambiente social. Los determinantes de la satisfacción residencial pueden ser combinaciones de carácter objetivo, subjetivo, físico y social; por ejemplo, la calidad del ambiente sonoro que es un determinante de tipo físico-objetivo. De acuerdo con este autor, en un estudio realizado con una muestra de 447 cuestionarios para la ciudad de Madrid, mediante una regresión múltiple cuya variable dependiente era la satisfacción residencial se encontró que el 59% de la varianza era explicado por nueve conjuntos de variables: infraestructura residencial básica, relación con los vecinos, seguridad del vecindario, infraestructura del vecindario, deterioro, conexión con el mundo exterior, actividad urbana y ruido, factores varios y la existencia de espacios naturales abiertos.

La importancia de la calidad del ambiente sonoro en el lugar de residencia, además de aparecer como uno de los determinantes de la satisfacción residencial, puede observarse mediante la incursión en costos de protección acústica privada (aislamiento de ventanas) o comunitaria (barreras acústicas) y la elección del sitio para vivir con base en el entorno sonoro (De Gortari, 2010). En este sentido, Galilea y Ortúzar (2005) encontraron que en el contexto residencial chileno la exposición al ruido es uno de los principales factores a considerar cuando se elige una vivienda y que las personas están dispuestas a realizar obras de mejora para incrementar el aislamiento (Romo-Orozco, 2013) y por otro lado Bravo et. al. (2003) encontraron que ante la disyuntiva ruido/valor económico en Valladolid, España el 54% de la población prefiere vivir en un lugar silencioso y el 84% en un lugar nada o poco ruidoso incluso sacrificando el valor económico de la vivienda mientras que el 80% de la población prefiere vivir en un lugar silencioso que cerca de su trabajo y el 51% en un lugar medianamente ruidoso situado a 30 minutos del trabajo.

La magnitud de las preferencias por un entorno sonoro de calidad puede expresarse en términos económicos, concretamente monetarios mediante la aplicación de métodos micro-económicos. Los más utilizados y que se expusieron en párrafos anteriores han sido los estudios de VC y los MPH.

Los resultados de los estudios de valoración contingente varían según el país, la fuente de ruido (principalmente ruido vehicular y aeronáutico) y el escenario hipotético propuesto por el

analista (eliminación o reducción de los niveles de ruido). Autores que han revisado la literatura en torno a la valoración económica del ruido mediante este método (Correa, Osorio, y Patiño , 2011) han encontrado que con respecto al ruido por tráfico vehicular en Suiza (Pommerehne, 1988 y Soguel, 1994) las personas estarían dispuestas a pagar entre 60 y 99 euros por hogar y por decibel al año en escenarios que plantean la reducción de un 50% de los niveles de ruido; en Finlandia (Vainio, 2001), 72 €/dB/año en un escenario de eliminación de las molestias por ruido; en Noruega (Navrud, 2000) entre 165 y 275 €/dB/año por dejar de estar expuestos a niveles de ruido mayores a 55 dB; en Francia (Lambert y Champlovier, 2001), 7.3 €/dB/año por la eliminación de las molestias asociadas al contaminante y en España (Salazar, 2004), 92.4 €/dB/año. Con respecto al ruido generado por aeronaves estos autores encontraron que en Suiza (Pommerehne, 1988) y Noruega (Thune-Larsen, 1995) estarían dispuestos a pagar entre 43 y 959 €/dB/año por hogar en un escenario hipotético de la reducción de un 50% en los niveles de ruido, mientras que en Francia (Faburel, 2001) 83€ por persona al año para evitar incrementos de 10 dB. En Latinoamérica análisis de VC han sido llevados a cabo en países como Colombia, donde los investigadores (Correa y Osorio, 2010) encontraron que el valor de la pérdida en el bienestar por hogar derivada del ruido provocado por los aires acondicionados corresponde a una DAA promedio de 19.015 pesos colombianos por hogar por cada 5 dB (A).

Por otro lado, los estudios realizados para conocer el impacto económico del ruido mediante la metodología de PH han encontrado que la depreciación de la vivienda debido a la contaminación sonora es mayor en los lugares cuyos precios promedio son más altos, confirmando el carácter de lujo del ambiente sonoro (Correa, Osorio, & Patiño , 2011).

La mayoría de los estudios de PH llevados a cabo entre 1969 y 1996 fueron realizados en Reino Unido (10), otros países de Europa (22) y Estados Unidos (20), según una revisión de la literatura especializada hecha por Navrud (2002). Entre los principales hallazgos están los de Wilhelmsson (2000) quien encontró que en Estados Unidos las viviendas expuestas al ruido derivado del tránsito vehicular experimentaron una reducción en el precio de la vivienda de hasta el 30% mientras que en Glasgow, Escocia Bateman et al (2000) concluyeron con una muestra de 3,500 observaciones, que el precio de las viviendas disminuye en un .20% de su valor por cada aumento unitario en los decibeles a los que son expuestas. Con relación al impacto en el valor de la vivienda del ruido generado por aeronaves Jasper y Straaten (2008) concluyeron que en Holanda su reducción generaría beneficios marginales por hogar de hasta 1.459 €/dB/año. Mientras que con

respecto al producido por trenes e infraestructura ferroviaria se ha encontrado que en Noruega (Strand y Vagnes, 2001) se incrementan los precios de las viviendas en la medida que se alejan del área de exposición en un 10% por metro de distancia de lejanía de las vías; en Holanda (Thebe, 2004) una reducción del precio de la vivienda hasta del 12% cuando está expuesta a más de 65 dB y un aumento promedio de 6.5% en el precio cuando están situadas en zonas menores a los 40 dB mientras que en Estados Unidos (Ballinger, 2006) el impacto es de una disminución de 4,800 dólares por cada incremento de 10 dB.

Los estudios que se han llevado a cabo en Latinoamérica muestran resultados muy dispares, algunos con coeficientes débilmente significativos, otros con impactos negativos pequeños e incluso otros en los que el ruido impacta positivamente. Entre estos se encuentran el realizado para la ciudad de Buenos Aires (Conte, 2001) estableciendo como proxy del ruido al transporte público de pasajeros encontrando que influye negativamente en los precios de la vivienda pero con una débil significancia; en Colombia se desarrolló un estudio para conocer el impacto en el precio de la vivienda del ruido por tráfico aéreo del aeropuerto El Dorado de la ciudad de Bogotá (Oscanoa, 1999) encontrando que existe una disposición a pagar por la disminución de un decibel desde \$6.33 hasta \$8.065. En San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México (Fitch, Soto, y Garza, 2012) se obtuvieron resultados contrarios a los esperados (a mayor ruido, mayor valor de la vivienda) ya que la variable asociada a la externalidad negativa resultó positiva a un nivel del 5% de significancia (Fitch, Soto, y Garza, 2012), en un trabajo previo (Fitch, 2010) el mismo autor llega a resultados similares y sin profundizar en el argumento sugiere que el resultado se debe a la aglomeración que se da en torno a otras externalidades urbanas o servicios municipales incrementa la demanda y por lo tanto el precio del suelo.

El valor económico de la calidad ambiental urbana ha sido analizado mediante distintas técnicas y a la luz de diferentes enfoques teóricos, entre ellos el de las externalidades locacionales. Sin embargo, en la revisión de la literatura se encontró que los análisis de los impactos del ruido en el precio de la vivienda son heterogéneos e incluso contradictorios, lo que se entiende a partir de la dualidad del fenómeno. Si bien el ruido es un contaminante que genera una desutilidad, es posible que en las decisiones de compra tenga mayor peso la utilidad obtenida a partir de las actividades de producción, consumo y transporte que lo producen. En este sentido, en este trabajo me propongo examinar cuál es el impacto del ruido en los precios de vivienda a lo largo de diversos

submercados y evaluar si las amenidades y atributos locacionales de dichos submercados hacen que difiera la forma en que se valora el ruido en estas.

1.5. Aproximación metodológica

En las secciones anteriores hemos discutido diversas aproximaciones a los factores que impactan el precio de la vivienda y sus variaciones en el espacio. Existen diversas aproximaciones metodológicas a estos elementos, esta tesis emplea el enfoque metodológico de Precios Hedónicos (PH) para considerar el impacto del ruido en los precios de la vivienda y estima regímenes espaciales para evaluar la existencia de submercados, específicamente la posibilidad de que el ruido sea valorado de manera diferente a lo largo de estos. La aproximación espacial empleada reconoce que las viviendas de valores similares tienden a concentrarse espacialmente pero que los efectos de los distintos atributos de la vivienda no son homogéneos ni en su sentido ni en magnitud.

El método utilizado para descomponer el precio de la vivienda y que será utilizada en esta investigación fue desarrollado por Rosen (1974) y recibe el nombre de Precios Hedónicos (PH) parte de la idea de que la vivienda es un bien multiatributo y satisface distintas necesidades del consumidor simultáneamente aludiendo a la nueva teoría del consumidor de Lancaster (1966) que consiste en que la utilidad no proviene de los bienes en sí mismos sino de sus características. Los supuestos de los MPH son (Caraballo & Mendieta, 2008):

- 1) El consumidor maximiza su utilidad sujeta a la restricción del ingreso.
- 2) Existe un mercado competitivo, donde oferentes y demandantes del bien se ponen de acuerdo en una transacción.
- 3) El precio del mercado reflejará el vector de atributos y este será una relación razonablemente constante, que dependerá del número de compradores y vendedores y sus características.
- 4) Existe complementariedad débil entre el bien privado y sus características o atributos.

Los Modelos de Precios Hedónicos (MPH) intentan descubrir cuáles son los atributos que explican el precio del bien y en qué medida lo hacen relativamente con relación al resto de sus características. La disposición a pagar por cada uno de estos atributos se conoce como precio implícito y se obtiene calculando las derivadas parciales del precio total para cada uno de ellos (Martínez, 2005). Los precios implícitos, por lo tanto, nos permiten conocer cuánto valoran los consumidores de vivienda cada una de las distintas características estructurales de la misma, así

como de las externalidades positivas y negativas del entorno implicadas en la localización; estos efectos marginales se obtienen mediante la implementación de modelos de regresión lineal múltiple. Una de las principales críticas a los MPH de vivienda desde su concepción tradicional es su aespacialidad y que asumen que los precios del mercado de vivienda pueden ser explicados con una ecuación única (Goodman y Thibodeau, 1998:123).

Sin embargo, pueden surgir submercados espaciales como resultado de diferentes tipos de restricciones: en la oferta, cuando la disponibilidad de ciertos tipos de viviendas es demandadas pero no pueden ser fácilmente producidas; en la accesibilidad, cuando las viviendas representan beneficios por su localización; del vecindario, cuando alguna zona muy acotada es atractiva o repulsiva por sus características y la entrada es limitada vía precios; institucionales, cuando las agencias financieras se rehúsan a prestar para habitar áreas determinadas; raciales, étnicas o discriminación por clase, cuando existe una exclusión explícita de ciertos grupos sociales en un área determinada y de información, cuando los canales de información son diferenciales entre los hogares (Bourne, 1981: 91).

Las metodologías para la clasificación de los submercados pueden dividirse en dos grandes categorías: clasificaciones *a priori* enraizadas en criterios predefinidos como podrían ser los límites político-administrativos y las clasificaciones *data-driven* basadas en el análisis estadístico de los datos que a su vez pueden resultar en submercados espacialmente contiguos o espacialmente discontinuos (Wu & Sharma, 2012).

Los métodos aespaciales asumen que los atributos de la vivienda tienen un mismo precio implícito (efecto marginal) a lo largo de un mercado homogéneo único. Se ha comprobado que las clasificaciones basadas en el análisis estadístico de los datos que no contemplan el componente espacial, particularmente los MPH tradicionales, suelen violar los supuestos de las regresiones de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) como la independencia de las observaciones y los errores idénticamente distribuidos (Orford, 1988). Lo que teóricamente subyace a estos problemas estadísticos son dos efectos espaciales: la heterogeneidad y la dependencia espacial.

Los métodos espaciales se fundamentan en la existencia de efectos espaciales como la dependencia y la heterogeneidad y han sido desarrollados por autores como Anselin (1988), en el marco de la ciencia regional, mediante el uso de técnicas para su detección como el cálculo de indicadores locales de asociación espacial (*LISA*) y regresiones geográficamente ponderadas (*GWR*). Su propuesta teórico-metodológica para solucionar tanto el problema de la violación de

los supuestos estadísticos como el de la exclusión del espacio en el análisis de los determinantes del precio de la vivienda es la construcción de regímenes espaciales, a través de los cuales se operacionalizan estadísticamente los submercados y se pone a prueba la inestabilidad estructural de los efectos marginales de cada uno de los atributos a lo largo de los mismos.

En esta investigación se rechaza el planteamiento sobre la existencia de un mercado único de vivienda y por lo tanto la existencia de una función hedónica que pueda modelar el comportamiento de todo el mercado de vivienda. En su lugar, estamos de acuerdo con la propuesta de la segmentación del mercado de vivienda en submercados y en la existencia de tantas funciones de PH como submercados existan. Se emplea un enfoque mixto para la definición de los submercados, espacial y conducido por los datos. En concordancia con la condición necesaria de que los submercados están conformados por viviendas que son sustitutos cercanos, pero estas no lo son entre submercados, estos se delimitan mediante un análisis *LISA* con el que se identifica la homogeneidad en precios al interior de los submercados y posteriormente se confirma la heterogeneidad entre ellos con los estimadores locales que resultan de una regresión geográficamente ponderada (*GWR*). Finalmente se comprueba la heterogeneidad en la relación entre ruido y precios de vivienda con un MPH en regímenes espaciales.

CAPÍTULO 2: GEOGRAFÍA DEL AMBIENTE SONORO URBANO

La distribución de la contaminación sonora no es homogénea a lo largo del espacio porque existe una diferenciación en los usos del suelo urbano, algunos son reservados para: vivienda, infraestructura de transporte, actividades comerciales y de servicios, conservación del patrimonio natural, ocio, esparcimiento y relajación. Debido a esto es necesario comprender a qué factores están asociadas sus variaciones. En la literatura sobre el tema se tiene claro que la infraestructura de transporte como vialidades y aeropuertos son instalaciones nocivas (*noxious facilities*) ya que en torno a ellas se aglomeran grandes cantidades de fuentes emisoras de ruido y otros contaminantes. Otras variables con las que se ha asociado la concentración espacio-temporal del ruido es el tipo de uso de suelo y la densidad poblacional. En este capítulo se busca delinear una geografía del ambiente sonoro de la zona poniente de la Ciudad de México (CDMX) que será tomada como variable independiente de interés en el Capítulo 3 y se hace una revisión de las metodologías para la construcción de un mapa de ruido para respaldar la propuesta de un indicador al que nos referimos indistintamente de aquí en adelante como Índice de Ruido o L50_c, que permitirá hacer un diagnóstico de la contaminación sonora en dos demarcaciones político-administrativas: la Delegación Miguel Hidalgo (DMH) y la Delegación Cuajimalpa de Morelos (DCM). Dicho Índice de Ruido será empleado en el próximo capítulo para evaluar el impacto de los niveles de contaminación sonora mediante la estimación de Modelos de Precios Hedónicos (MPH).

Este apartado comienza con la revisión de las formas de representar el ambiente sonoro, distinguiendo entre los mapas sonoros, los de paisajes sonoros y los de ruido. Los dos primeros tienen un enfoque positivo y cualitativo, con ellos se busca localizar los sonidos que deben preservarse; mientras que el tercero tiene un enfoque negativo y cuantitativo, en él se representan aquellos sonidos indeseados por la sociedad y que, por lo tanto, deberían ser eliminados una vez que superan un determinado umbral que varía de acuerdo a las legislaciones o a las recomendaciones en términos de salud pública.

Posteriormente, se hace una breve revisión del curso que ha tomado la discusión sobre la contaminación ambiental en la Unión Europea y se tocan tangencialmente algunos aspectos de dicha discusión en los Estados Unidos y en México. En el capítulo se busca presentar un panorama amplio de lo que se entiende por ruido y que conlleva al abordaje de las diversas formas en las que se le ha aproximado empíricamente. También se señalan las dificultades para implementar

metodologías desarrolladas en otros países y se propone una alternativa para México con base en datos y mediciones públicas. Específicamente, en ese capítulo se desarrollan las pautas seguidas para la construcción de un Índice de Ruido basado en la densidad poblacional por manzana y el tipo de vialidades que se encuentran cerca. La densidad poblacional ha sido utilizada en diversos estudios como predictor de los niveles de presión sonora a partir de las mediciones realizadas por Galloway, Eldred, y Simpson (1974) para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos¹⁴ (EPA, por sus siglas en inglés). La estimación del ruido con base en el tipo de vialidad ha sido verificada con mediciones en campo por German, Barrigón, y Orozco (2011) en distintos estudios y para diferentes ciudades, entre las que se encuentra la CDMX. A partir de la información estadística disponible y las metodologías mencionadas se elaboraron dos mapas de ruido: uno que muestra los niveles de ruido de tránsito vehicular a los que está expuesta cada manzana según su densidad poblacional y otro, derivado de su proximidad a diferentes tipos de vialidades. Posteriormente, se presenta la propuesta de un Índice de Ruido que agrupe ambas estimaciones.

El capítulo concluye con un breve análisis de la población expuesta a distintos niveles de presión sonora y la relación que guarda con el espacio y el nivel socioeconómico. Los estudios sobre justicia ambiental han encontrado resultados dispares, en los que en algunos casos la población expuesta a la mala calidad ambiental es principalmente de alto nivel socioeconómico, mientras que en otros son los pobres los más afectados por la contaminación sonora.

2.1. Representaciones del ambiente sonoro

Sobre el espacio físico construido de una ciudad tiene lugar una construcción sonora del espacio, que ha sido frecuentemente olvidada en la literatura sobre el estudio de lo urbano. El ambiente sonoro puede estar construido con sonidos deseados, como los de la naturaleza y aquellos característicos de un lugar e importantes para la construcción de las identidades comunitarias, como el repique de las campanas de su iglesia; o bien, con sonidos indeseados y, por lo tanto, contaminantes como el vehicular, industrial o aeronáutico.

El ambiente sonoro se abordó en sus inicios con el concepto de paisaje sonoro. Southworth (1967) y Schafer (1969) fueron los primeros en problematizar la construcción social y perceptual de la contaminación sonora y concluir que ésta depende de manera importante de la información

¹⁴ Environmental Protection Agency.

contenida en los sonidos y del contexto en el que son percibidos. En esa dirección está la escuela francesa representada por Augoyard (2005) y Amphoux (1993) quienes han estudiado el ambiente sonoro desde una perspectiva antropológica y sociológica, mientras que Daumal (2002) aborda al paisaje sonoro como una construcción estética o poética acústica desde la perspectiva de la arquitectura acústica.

De acuerdo con Schafer (1969) los eventos sonoros que componen al paisaje sonoro pueden ser clasificados en sonidos fundamentales (geografía, clima, sonido de fondo), señales (campanas, sirenas, claxon), y marcas (sonidos distintivos de una comunidad); los cuales se integran en paisajes de alta fidelidad (*Hi-Fi*) o de baja fidelidad (*Lo-Fi*). Los paisajes *Hi-Fi* se encuentran principalmente en el campo, en la noche y en el mundo pre-industrial. Los paisajes *Lo-Fi* son el resultado de la degradación del medio ambiente sonoro y la sobreproducción de sonidos derivado de la maquinaria, la tecnología, los medios de transporte y el ritmo de vida introducidos en la sociedad moderna. En los paisajes *Lo-Fi* abundan las señales sonoras indeseadas (ruido) y el enmascaramiento de las deseadas, deteriorando la función comunicacional de los sonidos.

Southworth (1967) estudió las reacciones de diferentes grupos de población ante el paisaje sonoro de Boston y encontró que en la evaluación que las personas hacían del mismo había otros factores además de las características físicas. Este autor concluyó que las personas preferían los sonidos de baja y mediana frecuencia y que el placer aumentaba cuando los sonidos eran nuevos, informativos, respondían a una acción y estaban culturalmente aprobados. Identificó que la información contenida en el sonido, el contexto en el que es percibido y el nivel sonoro son los tres aspectos que influyen la evaluación del paisaje sonoro (Yang y Kang, 2005). Augoyard (2005) y Amphoux (1993) se han centrado en explorar los factores culturales y sociales del ruido. Para Augoyard (2005) la ciudad siempre suena y ningún evento sonoro se puede aislar de las condiciones temporales y espaciales de la propagación física de su señal, asimismo el sonido se aprecia subjetivamente dependiendo de una serie de elementos auditivos y no auditivos (Rodríguez, Espacio, sonido y arquitectura, 2016). Amphoux (1993) explica que para entender mejor la cuestión sonora de las ciudades se debe de analizar su historia sonora, ya que todas las actividades que la historia describe están ligadas a un determinado paisaje sonoro (De Gortari, 2010).

El planteamiento de Daumal (2002) se inserta en el campo de la arquitectura acústica y tiene como objetivo encontrar un equilibrio entre el diseño visual y sonoro del espacio. Su idea

consiste en que los espacios que se diseñan tienen sonidos característicos que guardan una relación muy estrecha con la forma y las proporciones del mismo espacio (Daumal, 2002). En esta dirección sugiere un diseño acústico de la ciudad, tanto con elementos físicos que sirvan de contención a la contaminación sonora como la planeación de sonidos agradables al usuario, pero siempre tomando en cuenta la *personalidad acústica* del espacio.

Las representaciones visuales del ambiente sonoro se han hecho principalmente en tres formatos: mapas de ruido, mapas sonoros y mapas de paisajes sonoros. Los mapas de ruido normalmente contienen los sonidos indeseados relacionados a una sola fuente de emisión, por ejemplo, el ruido por tráfico vehicular y el aeroportuario. Los mapas sonoros se encuentran en una posición contraria, ya que son la representación geográfica de sonidos agradables como los sonidos de aves o de fuentes de agua. Los mapas de paisajes sonoros pueden tener sonidos deseados o indeseados, sin embargo, a diferencia de los anteriores, capturan las reacciones, sensaciones o emociones de los usuarios ante los distintos elementos sonoros.

Los mapas sonoros¹⁵ y los de paisajes sonoros son esencialmente de carácter cualitativo. Estas representaciones permiten conocer con profundidad el entorno sonoro urbano, pues la inclusión de sonidos positivos permite identificar la localización de áreas tranquilas y su degradación por el avance de la contaminación sonora. En las ciudades estas áreas tranquilas se encuentran principalmente en zonas con baja densidad poblacional y de actividad económica como zonas exclusivamente residenciales, bosques, parques y otras áreas naturales.

Los antecedentes de los mapas sonoros pueden encontrarse en el trabajo precursor de Grano (1929), quien concebía a las regiones como algo más que objetos medibles por los estudios geográficos, esto es, como paisajes subjetivos que deberían ser incluidos en una investigación con un enfoque más holístico (Uimonen, 2008). La propuesta de Grano consistía en investigar y representara la geografía utilizando todos los sentidos, entre ellos la audición. Lo anterior, lo llevó a realizar una cartografía del paisaje sonoro de la Isla de Valosaari al este de Finlandia, enfocándose en la importancia del ambiente sonoro desde el punto de vista del receptor y a categorizarlo en dos dimensiones: el campo cercano al observador y los alrededores visibles

¹⁵ Ejemplos de mapas sonoros alrededor del mundo son Basque Country Soundmap , Da Vinvi project , Montreal Soundmap , New Orleans Soundmap , New York Sound Seeker Soundmap , Seoul Sound@Media map , Trevor Cox's Soundmap , UK Soundmap ,Vienna Soundmap Audiokarte . En México, la Secretaría de Cultura en conjunto con la Fonoteca Nacional desarrollaron el Mapa Sonoro de México en el que se recogen las sonoridades a lo largo del territorio nacional que provienen del acervo de la Fonoteca y de grabaciones que cualquier usuario puede cargar en la plataforma.

distantes; haciendo referencia a las categorías de proximidad y lejanía, es decir, el espacio que se percibe con todos los sentidos y a aquel que sólo puede ser apropiado mediante la vista. Grano recuperó en mapas los sonidos de la gente, de animales domésticos y aves, de medios de transporte, así como de la época del año y la frecuencia con la que sucedían (Uimonen, 2008).

Como se mencionó anteriormente, el elemento distintivo entre los mapas sonoros y los mapas de paisajes sonoros es que los segundos recogen las emociones y valoraciones del ambiente sonoro. Las nuevas tecnologías de la información y comunicación abren nuevas posibilidades para la construcción de ambos tipos de mapas. Aiello , Schifanella, Quercia, y Aletta (2016) desarrollaron mapas de paisajes sonoros para algunas ciudades¹⁶ con datos de redes sociales virtuales (*Flickr*) aprovechando el etiquetado y la georreferenciación de las fotografías subidas a la red por los usuarios. Siguiendo la propuesta de Schafer (1969), clasificaron los sonidos en seis categorías: naturales, humanos, sociales, mecánicos, quietos e indicativos. Luego elaboraron dos capas a las que se asociaron los sonidos mediante dos clasificaciones semánticas, una en referencia a las emociones experimentadas y otra asociada a la forma de percibir los sonidos. Finalmente, el resultado obtenido fue un mapa de calles caracterizadas por distintos tipos de sonidos que generaban alegría, tristeza, sorpresa, confianza, miedo, disgusto, alerta o enojo y que eran percibidas como caóticas, calmadas, monótonas, amenas, accidentadas, vibrantes, molestas, excitantes o irrelevantes.

A diferencia de los anteriores, en los mapas de ruido se busca representar la contaminación sonora a partir de las fuentes contaminantes, lo que facilita a los hacedores de políticas públicas la mitigación del problema y la protección y el resguardo de las áreas tranquilas. Si bien en diferentes partes del mundo se han elaborado mapas del ruido, ha sido en Europa donde se han realizado de manera sistemática bajo un marco común de carácter internacional.

2.2. Ruido: un sonido indeseado

A la contaminación sonora le subyace la dimensión física del sonido, que puede ser definido como cualquier variación de presión detectable por el oído humano (Brüel & Kjær, 2008). Las variaciones de presión por encima y por debajo de la presión atmosférica son detectadas por el oído humano y derivan en la sensación sonora (Murphy & King, 2014). El sonido es un fenómeno

¹⁶ Londres, Barcelona, Madrid, Nueva York, Boston, Chicago, Miami, Seattle, San Francisco, Milán y Roma.

que puede ser descompuesto en tres: la causa, la transmisión y el efecto (Baron, 1973). La propagación de la energía sonora puede darse a través del aire, el agua y los sólidos a diferentes velocidades dependiendo de las características de cada medio y de sus niveles de temperatura¹⁷. Los efectos que el ruido genera en el ser humano (psicológicos, fisiológicos, etc.), en otros seres vivos (enmascaramiento de la comunicación y alteración de relaciones entre especies) y en la infraestructura (daños a la vivienda) son complejos y multidimensionales, por lo que su estudio requiere tanto de la especialización como de la transdisciplina.

2.2.1. La causa

La energía sonora se origina cuando algún elemento físico vibra y transmite energía a las partículas adyacentes provocando que estas oscilen hasta que las ondas desaparecen (Carrión, 1998). El efecto de esta oscilación sobre el medio en el que ocurre la vibración se llama onda sonora (Baron, 1973). Los atributos básicos del sonido son la amplitud, la frecuencia y la longitud de la onda sonora. La amplitud se mide en pascales y a mayor amplitud hay una mayor sensación auditiva; los umbrales de la percepción sonora para el oído humano van desde los 20 micropascales (μPa) hasta los 200 pascales. La frecuencia se mide en Hertz (Hz) o número de variaciones de la presión acústica por segundo. Esta propiedad determina la tonalidad, los sonidos de alta frecuencia se conocen como agudos y los sonidos de baja frecuencia como graves. Las frecuencias que el oído humano detecta se encuentra entre los 20 y los 20,000 Hz, por lo que es el rango de interés de las investigaciones sobre el ruido ambiental (Murphy & King, 2014). La longitud de onda es la distancia en metros de una onda acústica (Barti, 2010).

Si bien la presión acústica se mide en pascales, la relación que ésta sigue con la sensibilidad auditiva no es lineal, sino logarítmica (Barti, 2010), por ello se utilizan los decibeles como una escala que facilita la manipulación de estas dimensiones para su análisis. El decibel (dB) se representa matemáticamente como:

$$dB = 20 * \log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

donde:

P es la presión acústica percibida en el punto de medida y,

¹⁷ Se sabe que los valores promedio son mayores en los sólidos, seguidos por el agua y más lentos en el aire (Brüel y Kjør Sound, 2008).

P_0 es la presión de referencia.

En la práctica normalmente la presión de referencia utilizada son $20 \mu\text{Pa}$, y se dice que son decibeles SPL (*Sound Pressure Level*). Otra dimensión para caracterizar al sonido es la intensidad sonora, la cual se relaciona inversamente con la superficie manteniendo constantes los niveles sonoros.

Respecto a la medición del sonido es importante diferenciar el nivel de presión sonora (L_p) del nivel de potencia sonora (L_w) y del nivel de intensidad sonora (L_i). El primero se refiere al nivel sonoro expresado en decibeles relativo a la frontera del oído humano, el segundo hace alusión a la energía sonora emitida por la fuente, mientras que el tercero indica la tasa de energía acústica por unidad de área que fluye en alguna dirección (Murphy & King, 2014). Esta diferenciación nos permite distinguir los niveles de emisión asociados a la fuente y los niveles de inmisión asociados al receptor, así como sus respectivas unidades de medida. En esta investigación nos referimos únicamente a los niveles de presión sonora medidos en decibeles con una ponderación frecuencial A^{18} .

El estudio de la contaminación sonora ha seguido dos enfoques estadísticos distintos para describirla (Martínez, 2005): el distributivo y el acumulativo. El distributivo indica por cuánto tiempo el nivel sonoro ha estado en determinado intervalo, mientras que el acumulativo muestra por cuánto tiempo ha sido superado un determinado nivel. Este último es el más utilizado y se expresa mediante niveles percentiles; por ejemplo, un nivel sonoro $L_{50}=65 \text{ db (A)}$ indica que el 50% del tiempo de medición se superan los 65 decibeles. Además de estos dos existen otras medidas para dar cuenta de valores promedio durante intervalos de tiempo como el nivel día-noche L_{dn} y el nivel día-tarde-noche L_{den} con periodos de medición durante un rango de horas del día, la tarde o la noche o el nivel equivalente o promedio durante todo el día $L_{Aeq,24horas}$ (véase sección “Metodologías de medición de ruido” en este capítulo).

La presión sonora es un fenómeno físico que sucede independientemente de ser generada por los seres humanos. La ecología del paisaje sonoro se fundamenta en la hipótesis de que “cada

¹⁸ Nuestro oído es menos sensible a frecuencias muy bajas y muy altas. Para tener esto en cuenta cuando se mide el sonido, se pueden aplicar unos filtros de ponderación. La ponderación de frecuencias más común en la actualidad es la “ponderación A”, que se ajusta aproximadamente a la respuesta del oído humano y que proporciona unos resultados expresados como dB(A). La curva de “ponderación C” también se utiliza, particularmente cuando se evalúan sonidos muy intensos o de frecuencia muy baja (Brüel & Kjær, 2008).

lugar de la tierra tiene un único bioespectro acústico que provee de información para las dinámicas del ecosistema en ese lugar” (Krause, 1987: 15) y clasifica los tipos de sonido según su origen: geofónico, provocado por la geografía y eventos naturales; biofónico, derivado de la vida no-humana y antropofónico, causado por las distintas actividades del ser humano. A lo largo de un gradiente en cuyo origen no hay presencia del ser humano sucede que en la medida que ésta se incrementa (iniciando en el paisaje natural intacto, pasando por los paisajes rurales y finalizando en los urbanos) las antropofonías crecen, las biofonías decrecen y las geofonías permanecen constantes (Farina, 2014).

En la misma dirección está la relación que encuentra Schafer (1969) y un grupo de investigadores entre el crecimiento de la población, el avance de la sociedad industrial y el medio ambiente sonoro, quienes a través de una revisión de textos literarios descubrieron que los sonidos producidos por herramientas y tecnología desplazaban a los producidos por la naturaleza y los seres humanos. En el cuadro 1 se resumen sus hallazgos:

Cuadro 1. Sonidos predominantes en el paisaje sonoro a través de la historia

	Sonidos naturales	Sonidos humanos	Sonidos mecánicos
Culturas primitivas	69%	26%	5%
Culturas medieval, renacentista y pre-industrial	4%	52%	14%
Culturas post-industriales	9%	25%	66%
1970	6%	26%	68%

Fuente: Schafer, 1969.

Durante la existencia de las culturas primitivas los sonidos naturales como los del viento, agua, pájaros y truenos superaban en casi tres veces a los sonidos humanos, como las voces de los hombres, sus cantos, risas e industrias manuales y los sonidos humanos en cinco veces a los mecánicos, como las herramientas y tecnologías movidas por las nuevas formas de generación de energía. En las culturas medieval, renacentista y preindustrial, características por su intensa actividad comercial, la distribución de los sonidos fue distinta; los naturales disminuyeron significativamente y los humanos predominaron en el ambiente sonoro y representaron más de la mitad de los sonidos que lo componían; durante esta época la cantidad de sonidos mecánicos eran

más de tres veces los naturales. Después de la revolución industrial los sonidos mecánicos eran dos terceras partes del total de los sonidos del ambiente sonoro, seguidos por los humanos cuya proporción era de una cuarta parte del total y los sonidos naturales fueron relegados a casi el diez por ciento. Después de 1970 los sonidos mecánicos predominaron y la distribución en el paisaje sonoro no cambió mucho con respecto a los de las culturas post industriales, para ninguno de los distintos tipos de ruido.

Los niveles de ruido en los paisajes sonoros rurales son variables en el sentido del gradiente propuesto por Farina (2014), sin embargo, la presión sonora en ellos es mayor a la que hay en parques naturales. En comunidades poco pobladas de Escandinavia y por lo tanto con bajos niveles de ruido antropofónico, los niveles de presión sonora rondan los 30 dB $L_{Aeq,24horas}$ (Symonds, 2003), mientras que en los Países Bajos (Dassen, 2002) los niveles estimados para fuentes naturales rondan el promedio anual de 40 dB $L_{Aeq,24horas}$. Tanto los paisajes sonoros naturales como los paisajes sonoros rurales pueden definirse como *áreas relativamente tranquilas*, paisajes sonoros donde los sonidos naturales benignos dominan sobre los sonidos producidos por el hombre y otros sonidos indeseados (Symonds, 2003).

Lynch y Fristrup (2011) en un estudio realizado para 43 parques nacionales llegó a tres conclusiones: 1) No existe un patrón de presión sonora a lo largo de los mismos, 2) La mayoría de los parques son generalmente menos ruidosos que las áreas urbanas y suburbanas y 3) El 50% del tiempo de medición de la presión sonora en los parques es en promedio de 24.6 dB(A).

La relación encontrada por estos autores (Lynch & Fristrup, 2011; Schafer, 1969; Farina, 2014) comprueba que la mayoría de las actividades humanas producen alguna cantidad de energía sonora y que a mayor densidad poblacional existen mayores niveles de emisiones sonoras. Este planteamiento fue formalmente desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Galloway, Eldred, & Simpson, 1974) con base en estudios previos sobre el ruido generado por los automóviles y con el supuesto de que existe una relación positiva y constante entre la densidad poblacional y el parque vehicular. La relación encontrada fue validada posteriormente en ese mismo país por Stewart, Russel, y Luz (1999) en poblaciones de 230 a 5,000 habitantes por kilómetro cuadrado.

Además del ruido generado por la densidad poblacional que se transporta en automóviles se ha encontrado que los niveles de presión sonora son mayores en aquellas zonas con uso de suelo comercial, de transporte en comparación con los exclusivamente residenciales. Los resultados que

obtuvieron Baloye y Palamuleni (2015) en dos ciudades de Nigeria (Ibadan e Ife-Ife) fue que los niveles varían a lo largo del día y entre días de la semana, aunque en promedio los usos de suelo comercial, industrial y de transporte presentaban los niveles más altos mientras que los más bajos estaban en los residenciales y educativos. Mediante regresiones de uso de suelo se ha comprobado la variación espacial del ruido en Montreal, Canadá, encontrando que sus niveles se encuentran explicados en un 73% por las características de los edificios y de la cubierta, los flujos diarios de vehículos, las rutas y paradas del transporte público, los espacios abiertos y la cercanía a algún río (Goudreau, y otros, 2014). Por otro lado, King, Roland-Mieszkowski, Jason, y Rainham (2012) compararon dos zonas con diferentes tipos de uso de suelo (residencial y mixto) de la región de Halifax, Canadá y sus hallazgos fueron similares a los mencionados, ya que los niveles de ruido eran significativamente mayores en el uso de suelo mixto con respecto al residencial.

El ruido a partir de la densidad poblacional fue calculado bajo la hipótesis de que el uso del automóvil por la población es constante y que los niveles de presión sonora era 10 veces el logaritmo de la población. La intención de calcularlo así era tener una medida para la población que no necesariamente fuera afectada por las carreteras y los aeropuertos, sino por las actividades propias de la vida cotidiana. Puesto que las mediciones se hicieron en zonas urbanas, se supuso que en áreas rurales o con densidad poblacional cero, la presión sonora sería de 22 dB(A) debido a factores naturales como el viento, la lluvia y los animales (Galloway, Eldred, & Simpson, 1974).

Desde los setentas, la acústica ha jugado un rol importante en el diseño de los vehículos. En particular, el ruido al interior de los mismos ha declinado de manera importante, sin embargo, esto no ha sido así para el generado en el exterior. (Guarinoni, Ganzleben, Murphy, & Jurkiewicz, 2012). El ruido del tráfico rodado es de tres tipos distintos: el aerodinámico, el del rodado en la cubierta y el del motor, además del ruido generado por el claxon.

Durante la Segunda Guerra Mundial, las operaciones de la Fuerza Armada de los Estados Unidos también fueron una fuente de contaminación sonora importante, que condujo a estudios al respecto, encontrando que el ruido afectaba en una extensión de 144 millas cuadradas con una presión sonora de entre 70 y 120 dB. Sin embargo, es la aviación civil la fuente más importante en este rubro, el crecimiento de las ciudades y el incremento de las operaciones aéreas quedó expresado como una preocupación de política pública en el *Report on Aircraft-Airport Noise* de la EPA en 1973, dando cuenta del aumento en la población afectada colindante a los aeropuertos.

2.2.2. La propagación

Para las ondas sonoras en el aire, la velocidad del sonido generalmente se encuentra entre 330 y 350 m/s. Ésta generalmente depende de la temperatura del aire, la humedad y la presión atmosférica, se ha tomado la referencia de 343 m/s como una aproximación en condiciones de 20°C y 1 μ Pa de presión atmosférica. En el agua la velocidad es de aproximadamente 1400 m/s (Murphy y King, 2014).

El nivel sonoro de inmisión L_p difiere del nivel sonoro de emisión debido a los diferentes mecanismos de atenuación que existen al propagarse, es decir, es resultado del nivel de intensidad L_w sonora menos la atenuación total A_{Tot} expresado funcionalmente como $L_p = L_w - A_{Tot}$. Entre los efectos de atenuación se encuentran la atenuación por divergencia geométrica, por absorción atmosférica, por el efecto suelo, por la difracción y otros mecanismos como la inversión térmica, los efectos del viento y la vegetación (Murphy y King, 2014).

Las fuentes sonoras también se pueden clasificar de acuerdo al tipo de propagación de las ondas. Existen las fuentes puntuales o fijas como los establecimientos de ocio nocturno cuyas ondas sonoras se propagan concéntricamente y las fuentes lineales como las carreteras cuyas ondas se propagan cilíndricamente (De Gortari, 2010).

Es en la fase de propagación del sonido donde el diseño arquitectónico y urbano juegan un papel central en el estudio del ruido ambiental ya que son las características del espacio lo que define la propagación, reflexión, absorción, reverberación o atenuación de los sonidos. El ancho de la calle, por ejemplo, importa porque al ser muy estrecha los sonidos se reflejan rápidamente, en las calles largas el cielo permite una mayor absorción; las calles con edificios muy altos dan lugar a lo que en acústica se conoce como *efecto cañón*, incrementándose el nivel sonoro a consecuencia de la reverberación como también sucede con las calles en U; incluso la pendiente de las calles influye en el comportamiento de las ondas sonoras porque cuando esta es pronunciada la inmisión cuesta abajo es menor (De Gortari, 2010); además la forma de las calles tiene relevancia ya que las formas cóncavas concentran el ruido mientras que las convexas lo reflejan (Daumal, 2002).

La relación entre las características físicas de la ciudad y los niveles de contaminación sonora ha sido estudiada por otros autores (Ariza-Villaverde, Jiménez-Hornero, y Gutiérrez, 2014; Margaritis y Kang, 2017). Por un lado, Ariza-Villaverde, Jiménez-Hornero, y Gutiérrez (2014) comprueban esta relación entre la morfología urbana y la contaminación sonora a través de un

análisis un análisis multifractal en el que encuentran una relación positiva entre el ruido y el ancho de la calle y la altura de los edificios, principalmente en ciudades con una morfología regular. Por otro lado, Margaritis y Kang (2017) se propusieron investigar si las ciudades con más áreas verdes también eran las menos contaminadas por el ruido urbano y encontraron que el efecto de las áreas verdes en el ruido generado por el tráfico urbano varía de acuerdo a la escala de análisis espacial. A nivel de aglomeración no se encontró una relación significativa, a nivel urbano la dirección de los hallazgos fue que niveles bajos de contaminación sonora pueden darse en lugares con grandes extensiones de áreas verdes y a nivel de *kernel* se observó una fuerte correlación (entre 60% y 79%) entre bajos niveles de contaminación sonora y áreas verdes.

2.2.3. El efecto

El impacto del ruido en el ser humano está determinado por factores sensoriales y personales (Job, y otros, 1999). Los factores que inciden en la percepción de los sonidos ambientales son diversos: está implicado el sentido del olfato, influyen los olores; el sentido del tacto, la humedad, la temperatura; el sentido del oído, el volumen de los sonidos, el contenido espectral, el contenido temporal, el contenido informativo; el sentido de la vista, si se conoce la localización de la fuente y el movimiento, la iluminación, el paisaje y la arquitectura y si existen gente alrededor; además de factores personales como el estado psicológico de la mente, las características de la personalidad y la actividad tanto como los objetivos personales (Botteldooren, Coensel, Van Renterghem, Dekoninck, & Gillis, 2008).

Sin embargo, quizá el sentido más relevante sea el de la audición, que tiene como particularidad el estar siempre activo, pues a diferencia del sentido de la vista, el oído no se puede desconectar voluntariamente. El sentido auditivo tiene dos partes diferenciadas: el órgano auditivo como detector físico de las variaciones de presión acústica que llegan al oído y el procesamiento de estas informaciones por el cerebro que interpreta los resultados (Barti, 2010).

Por lo general, a 30 dB se experimenta dificultad para conciliar el sueño, a 40 dB dificultad en la comunicación verbal, a 45 dB es probable la interrupción del sueño, a 50 dB durante el día el malestar es moderado, a 55 dB la sensación de molestia se agrava, a 65 dB la comunicación verbal se dificulta, 75 dB pérdida de la audición a largo plazo y entre 110 y 140 dB se encuentra el umbral del dolor y la pérdida de la audición en el corto plazo (Berghlund, Lindvall, & Dietrich, 1999). Se ha sugerido que la molestia causada por el ruido de tráfico durante las horas del día

pueden categorizarse en tres niveles de ruido: cuando este es menor a 55 dB(A) no hay molestia, si se encuentra entre 55 y 60 dB(A), molestia moderada y encima de 65 dB(A) definitivamente causa molestia (Lambert, Simonnet, & Vallet, 1984).

Las molestias por el ruido generado por la aviación no son algo nuevo, data desde los inicios de la misma. Uno de los primeros registros sobre su afectación a la comunidad al caso de un granjero en 1928 que escribió a la Postmaster General quejándose de que los sobrevuelos a baja altura estaban mermando la producción de huevo.

El ruido industrial, a diferencia del resto revisados, no tiene modelos predictivos estandarizados debido a la heterogeneidad de la industria. Tampoco las funciones de dosis respuesta han sido desarrolladas tan ampliamente como lo han sido para los ruidos cuya fuente es el transporte (Berry & Porter, 2004). Sin embargo, en este sentido, lo que se ha encontrado es que los ruidos impulsivos, como los de la industria, son más molestos que los continuos. La mejor alternativa para estudiar el ruido industrial es realizar las mediciones directamente o, en su defecto, imputar los valores establecidos por el Grupo de Trabajo para la Evaluación de la Exposición al Ruido de la Comisión Europea (*European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise*).

Las relaciones de la respuesta comunitaria ante el ruido han sido simplificadas esquemáticamente por Nelson (1987 en Ouis, 2002) quien plantea que la existencia del ruido tiene dos tipos de efectos estrechamente relacionados: los inmediatos como la interrupción de alguna actividad y las reacciones fisiológicas y la molestia, esta última determinada por factores personales y conductuales. La molestia puede generar modificaciones en el comportamiento o acciones públicas en contra del ruido, dependiendo del contexto comunitario, las restricciones situacionales y los factores personales y conductuales.

La molestia que genera la contaminación acústica depende del nivel sonoro, del número de eventos acústicos (Fields, 1984) pero también de la regularidad de los eventos y de variables sociales, psicológicas, económicas. Se ha encontrado que algunos factores individuales que pueden influenciar el grado de molestia experimentada pueden ser el miedo, la causa del ruido, la sensibilidad ante el ruido, la actividad, la percepción del vecindario y la percepción global del medio ambiente. Con respecto a los factores sociodemográficos algunos que pueden influir son el estado civil, el tamaño de la familia, el nivel de educación, el ingreso, el estado de salud, el tipo de vivienda y si ésta es propia o de alquiler. Más que la antigüedad de residencia lo que influye

son las horas que están en la vivienda y los hábitos de los habitantes al interior de las mismas. Además, se ha encontrado que la estación y la hora del día son importantes; las personas se sienten más irritadas ante los mismos niveles sonoros en verano que en invierno y durante la tarde que durante el día. Las diferencias culturales también son factores determinantes, pues manteniendo los niveles de exposición sonora constante, se sienten más molestos en las grandes ciudades que en los pueblos pequeños (Kang, 2013).

Schultz (1978), Fidell, Barber, y Schultz (1991) y Miedema y Vos (1998) desarrollan funciones dosis-efecto para determinar el número de personas altamente molestas en función de diferentes niveles de presión sonora. Schultz (1978) hizo una revisión de encuestas a lo largo del mundo en las que se preguntaba qué tanta molestia le generaban distintos niveles de ruido de distintas fuentes de transporte emisoras, encontrando que el 27% de los encuestados estaba altamente molesto. Fidell, Barber, y Schultz (1991) procesaron 453 puntos de información en comparación con las 161 estudiados por Schultz (1978) para actualizar la función dosis-efecto encontrando que el promedio de los altamente molestos era el 31.4% . Posteriormente la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (Finegold, Harris , & Von Gierke, 1992) desarrollaron un estudio en el sentido de Schultz (1978) y Fidell, Barber, y Schultz (1991) llegando a una relación funcional en el que el porcentaje de la población altamente afectada está en función del nivel sonoro promedio día-noche (DNL), expresada matemáticamente como:

$$\%HA = \frac{100}{1 + \exp(11.13 - 0.14DNL)}$$

donde:

%HA es el porcentaje de población altamente afectada y,

DNL es el nivel sonoro promedio día-noche.

Recientemente Miedema (2007) encontró que por debajo de los 45 dB(A) no hay personas altamente molestas, pero en la medida que sobrepasan ese umbral, la cantidad de personas altamente molestas comienza a incrementarse de forma diferenciada para el ruido provocado por aviones, coches o trenes, teniendo una pendiente mayor en la primera fuente mencionada, es decir, en algún momento de la curva ante los mismos incrementos en la presión sonora, la población molesta por el ruido aeronáutico incrementa en una proporción mayor.

2.3. Haciendo ruido por el ruido

La preocupación en torno al ruido como un problema de contaminación ambiental se remonta a los años setenta del siglo pasado, tanto en el ámbito académico como en el contexto de la política internacional, que tuvieron como parteaguas a los trabajos de Schafer (1969) y el Congreso Mundial del Medio Ambiente de Estocolmo que la ONU realizó en 1972. En este Congreso de gran relevancia para las bases del Derecho Ambiental se estableció que el hombre tiene el derecho fundamental de la libertad, la igualdad y el disfrute de condiciones de vida adecuada en un medio de calidad tal que le permita llevar una vida digna así como la obligación de preservarlo para futuras generaciones, que los recursos naturales de la tierra deben ser preservados en beneficio de las generaciones presentes y futuras mediante la planeación, que el hombre tiene la responsabilidad de incorporar a la naturaleza en la persecución del desarrollo económico y que los recursos deben ser utilizados de manera racional para evitar su agotamiento y degradación (De Gortari, 2010).

Asimismo, en 1972, el Congreso de los Estados Unidos estableció en el *Acta de Control de Ruido* (Environmental Protection Agency, 1972) que es responsabilidad del gobierno establecer límites a los niveles de emisión sonora, así como promover un ambiente libre de ruido. Posteriormente, en 1978 el *Acta de Comunidad Quieta* (Environmental Protection Agency, 1978) permitió establecer incentivos para que los gobiernos estatales y locales se comprometieran con el abatimiento de la contaminación sonora. Ambas actas le dieron facultades a la EPA para instrumentar una política a nivel federal en contra del ruido ambiental.

Al Congreso de Estocolmo le siguen publicaciones y normativas que derivarían en la política actual para el abatimiento de la contaminación sonora, en la que la Comisión Europea ha jugado un papel importante en esta demanda ambientalista. En 1993, en el *Quinto Programa de Acción Ambiental de la Comunidad Europea* (Comisión Europea, 1993) se estableció que los individuos no deberían estar expuestos a niveles sonoros que amenacen su salud y calidad de vida y posteriormente, en 1996, fue publicado el *Papel Verde sobre la Futura Política del Ruido* (Comisión Europea, 1996) en el que se hizo un diagnóstico de los impactos de la contaminación sonora y se estableció un marco de responsabilidad compartida ante el problema. El consenso sobre la gravedad de la contaminación sonora se ha construido con la participación de diversas entidades y el compromiso asumido al elaborar publicaciones como el *Libro Verde de la Comisión Europea* (Comisión Europea, 1996) en el que se busca reivindicar el ruido ambiental como uno de

los principales problemas medioambientales en Europa y se enfatiza la importancia que tienen el tráfico y las actividades industriales y recreativas en su generación.

Otros documentos importantes fueron las *Directrices para el Ruido Comunitario* (Organización Mundial de la Salud, 1999) publicado por la OMS (Organización Mundial de la Salud) en 1999 en el que se ponía énfasis en los impactos en la salud pública del ruido y fuera actualizado en 2009 con el documento *Directrices del Ruido Nocturno para Europa* (Organización Mundial de la Salud, 2009).

La Organización Mundial de la Salud (2011) ha estudiado la carga de enfermedad por el ruido ambiental en Europa, llegando a la conclusión de que el impacto por molestia es de 587,000 *DALYs*¹⁹ de pérdida para los habitantes de ciudades mayores a los 50,000 habitantes, interrupción del sueño de 903,000 *DALYs* en habitantes de ciudades mayores a los 50,000 habitantes en la región EUR-A, enfermedades cardiovasculares de 61,000 *DALYs* por enfermedades en países europeos de altos ingresos, por tinnitus 22,000 *DALYs* en la población adulta de la región EUR-A y discapacidad auditiva por 45,000 *DALYs* en niños de 7 a 19 años (Murphy & King, 2014).

Entre otras acciones importantes están el *Sexto Programa de Acción para la Comunidad Europea* (Organización Mundial de la Salud, 2002) publicado en 2002 por la OMS en el que se estipula que las futuras políticas para abatir este tipo de contaminación deberían considerar la importancia que tiene al ruido derivado del tráfico urbano y trabajar en su mitigación. Más recientemente los documentos *Riesgo de Enfermedad por el Ruido Ambiental* en 2011 (Organización Mundial de la Salud, 2011) y *Rumbo a una Estrategia Integral de Ruido* en 2012 (Parlamento Europeo, 2012) realizaron contribuciones importantes como la cuantificación de los impactos en la salud por el ruido ambiental y una revisión crítica a las políticas implementadas en torno al tema, en particular a la *Directiva de Ruido Ambiental de la Comisión Europea* (Directiva 2002/49/EC) publicada en 2002 (Murphy & King, 2014).

Aunado a los impactos negativos en la salud, el problema de la contaminación sonora ha sido analizado por instituciones supranacionales como el Tribunal Europeo de Derechos Humanos (TEDH) por constituir un riesgo al cumplimiento de los derechos a la privacidad reconocidos por el Convenio Europeo de Derechos Humanos (CEDH) en el Artículo 8 (De la Iglesia, 2005). Dos

¹⁹ Los DALYs (Disability Adjusted Life Years) corresponden a los años de vida ajustados por la discapacidad o AVADs por su sigla en español. Los DALYs resumen, mediante estudios de carga de la enfermedad, el impacto de la mortalidad y discapacidad asociada a enfermedades específicas, en distintas comunidades (Alvis y Valenzuela, 2010).

casos emblemáticos de esta discusión son el de *Powell-Rayner* contra Reino Unido en la que se interpuso una demanda por las emisiones sonoras que afectaban a los vecinos del aeropuerto Heathrow y el de *López-Ostra* contra España referente a la contaminación por gases, humos y malos olores. En el primer caso se resolvió que el gobierno no había violado la ley, mientras que en el segundo el TEDH emitió una sentencia favorable para los demandantes, quienes elaboraron sus litigios a partir de la defensa de los derechos a la integridad física, a la intimidad personal y familiar y a la inviolabilidad del domicilio incluidos en la Constitución Española.

La Directiva 2002/49/CE (Comisión Europea, 2002) probablemente es el documento más robusto en materia de política de abatimiento del ruido ambiental y en el que se establecen las bases para la elaboración de los mapas de ruido europeos. Este indica una serie de acciones que necesitan ser implementadas de forma progresiva por los estados miembro de la Unión Europea para alcanzar los objetivos de la lucha contra el ruido, las cuales a grandes rasgos son: monitorear la contaminación ambiental, gestionar los problemas de contaminación ambiental, generar información pública y darle difusión y desarrollar una estrategia de largo plazo en común (Guarinoni et al., 2012).

El quinto punto de Directiva 2002/49/CE (Comisión Europea, 2002) plantea que “debe proporcionar una base para desarrollar y completar el conjunto de medidas comunitarias existente sobre el ruido emitido por las principales fuentes, en particular vehículos e infraestructuras de ferrocarril y carretera, aeronaves, equipamiento industrial y de uso al aire libre y máquinas móviles, y para desarrollar medidas adicionales a corto, medio y largo plazo”. Para su consecución propone la creación de mapas estratégicos de ruido, definidos como:

...mapas diseñados para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona, diferentes a los mapas de ruido, los cuales consisten en la presentación de datos sobre una situación acústica existente o pronosticada en función de un indicador de ruido, en la que se indicará el rebasamiento de cualquier valor límite pertinente vigente, el número de personas afectadas en una zona específica o el número de viviendas expuestas a determinados valores de un indicador de ruido en una zona específica (Comisión Europea, 2002).

Además, plantea que la elaboración y actualización de los mapas de ruido debe hacerse cada cinco años:

...comenzando en 2007 con mapas estratégicos de ruido sobre la situación del año civil anterior, correspondientes a todas las aglomeraciones con más de 250,000 habitantes y a todos los grandes ejes viarios cuyo tráfico supere los seis millones de vehículos al año, grandes ejes ferroviarios cuyo tráfico supere los 60,000 trenes al año, y grandes aeropuertos presentes en su territorio”. Se planeó que en la segunda fase se desarrollaran mapas estratégicos de ruido para aglomeraciones con una población que excediera a los 100,000 individuos (Murphy & King, 2014).

Los mapas estratégicos de ruido constan de dos partes diferenciadas, por un lado, están los mapas de ruido que son mapas aquellos que reflejan los niveles sonoros y por otro los mapas de exposición al ruido. Los primeros son la representación del diagnóstico de la contaminación sonora desde la perspectiva del emisor, mientras que los segundos lo hacen desde la perspectiva del receptor. Los primeros son líneas isófonas que muestran los niveles sonoros en el territorio y los segundos muestran los edificios, viviendas y población expuesta a esos niveles (Barti, 2010).

La discusión internacional en torno a los daños provocados por la contaminación sonora y las políticas de mitigación se reflejan principalmente en la implementación de dos tipos de instrumentos: las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y los mapas de ruido, que apenas comienzan a desarrollarse a nivel institucional.

Algunas NOM que destacan son la NOM-079-ECOL-1994, que busca sancionar el nivel máximo de ruido permitido para vehículos automotores nuevos; la NOM-080-ECOL-1994, cuyo propósito es verificar los niveles máximos de ruido permitidos provenientes de los escapes de vehículos; la NOM-081-ECOL-1994, sobre los niveles máximos de emisión de ruido para fuentes fijas y la NOM-082-ECOL-1994, orientada a regular los niveles máximos de ruido permitidos en motocicletas (Alfie & Salinas, 2017).

La Ciudad de México es vanguardista en la implementación de políticas públicas ambientales entre las ciudades mexicanas, ya antes ha sido reconocida por su lucha contra la contaminación atmosférica y actualmente con respecto a la contaminación sonora, es la única que cuenta con una Red Piloto de Monitoreo de Ruido operada por la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) y un Primer Mapa de Ruido de la Zona Metropolitana del Valle de México (PMRZMVM) elaborado en conjunto con el Laboratorio de Análisis y Diseño Acústico (LADAc) de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).

Los procedimientos y metodología con la que se realizan las mediciones por la Red de Monitoreo está regulada por la norma internacional ISO 1996-1 y la norma mexicana NMX-CH-1996-1-IMNC-2009, mientras que el PMRZMVM fue elaborado mediante la estimación estadística, con datos y cartografía de distintas dependencias gubernamentales como la SEDUVI, la SETRAVI, la PAOT y el INEGI. Los hallazgos a los que se llegó con ambas herramientas confirman que la fuente más importante en la composición del ruido ambiental es el ruido por tráfico vehicular (Rodríguez, 2015).

2.4. Metodologías para la medición del ruido

Con la finalidad de aplicar imparcial y objetivamente el marco regulatorio, algunos países han desarrollado estándares de medición de la contaminación sonora. En México existe la Norma Mexicana NMX-CH-1996-1-IMNC, que se deriva de la NMX-CH-1996-IMNC y consiste en lo siguiente:

... define las magnitudes básicas empleadas para la descripción de ruido en ambientes comunitarios y describe los procedimientos básicos de evaluación. También especifica métodos para evaluar el ruido ambiental y proporciona una directriz para la estimación de la respuesta a la molestia de una comunidad expuesta a varias clases de ruidos ambientales en un largo plazo. Las fuentes acústicas pueden ser aisladas o presentarse en combinaciones diversas. La aplicación de los métodos para estimar la respuesta a la molestia está limitada a las áreas en las que la gente reside y a los usos de suelo a largo plazo.

Esta Norma Mexicana concuerda en su totalidad con los estándares internacionales expresados en la ISO 1996-1 en la que se estandarizan los niveles de referencia de presión sonora, así como otras medidas de ruido equivalente, por percentiles, el nivel de exposición sonora, el nivel equivalente continuo de presión sonora y otras medidas de niveles de ruido, así como los símbolos que deben usarse para expresarlos. Además, en esta Norma internacional se establecen los descriptores para el ruido ambiental, que pueden ser de tres tipos: para eventos únicos, para eventos únicos repetitivos y para ruidos continuos, todos ellos expresados en términos de la ponderación A. Por otro lado, se despliegan una serie de descriptores y niveles para la medición de la molestia producida por la contaminación sonora y algunos criterios para establecer los niveles límite de ruido en los distintos espacios urbanos.

Algunos de los indicadores más utilizados para el estudio de la contaminación sonora son recuperados por la ISO 1996-1, sin embargo, existe una diversidad más amplia de medidas para caracterizar los niveles de ruido, que pueden agruparse en tres tipos: las medidas que no están en función del tiempo y que sólo toman en cuenta la sensibilidad del sistema auditivo y se diferencian por el tipo de *ponderación*, las que combinan el nivel sonoro con el tiempo para crear una *escala* y los *índices* que especifican el nivel de tiempo pero además consideran otros factores que podrían hacer que ponderan el impacto del ruido (German, 2009). Aquí se revisan únicamente los del segundo y tercer tipo.

Entre los indicadores del segundo tipo están los análisis estadísticos acumulativos, que consisten distintos niveles percentiles y combinaciones de ellos que son utilizados para describir ruidos de diferentes tipos en función de evolución temporal (continuo, intermitente e impulsivo):

Los niveles L_{90} , L_{95} y L_{99} son utilizados para describir el denominado ruido de fondo, es decir, aquel que está presente casi todo el tiempo y con el que suele representarse el nivel sonoro mínimo. En la literatura se ha encontrado que los niveles L_{95} suelen encontrarse entre 2 y 6 decibeles por debajo del L_{50} (Gjestland, 2008). Los hallazgos para la Ciudad de México (German, 2009) sobre el ruido de fondo L_{90} en puntos de medición cercanos a las vialidades apuntan a niveles que van desde los 45.9 dB(A) en vialidades de acceso local sin comercio hasta los 63.6 dB(A) en vialidades anulares.

Los niveles L_1 , L_5 y L_{10} permiten medir los llamados picos de ruido, por lo que son frecuentemente utilizados en estudios sobre la contaminación sonora en las inmediaciones de los aeropuertos. Se asume que para el tráfico vehicular denso, el L_{10} es unos 3 dB superior al L_{Aeq} y que el L_{50} es entre 1 y 2 dB inferior (Brüel y Kjær, 2008). En la Ciudad de México, los picos de ruido encontrados en los distintos tipos de vialidades van de los 56.7 dB (A) en las vialidades menos ruidosas hasta 75.4 dB (A) en las más ruidosas.

La diferencia entre los picos de ruido y el ruido de fondo ($L_{10} - L_{90}$) es conocida como clima de ruido (Barti, 2010):

Esta es una medida de la separación entre los niveles de ruido máximos y de ruido residual obtenidos durante el tiempo de medición. El valor será elevado en aquellos casos donde el tráfico sea más discontinuo, y se puede ver muy afectado por la presencia de semáforos, cruces o cualquier otro sistema regulador. Cuanto mayor sea la diferencia entre $L_{10} - L_{90}$ mayor será el grado de molestia sobre la población.

El valor L_{50} representa la mediana de los valores medidos, es decir, aquel que fue superado el 50% del tiempo de medición o de las muestras obtenidas, otra forma de entender este nivel es como aquel que se encuentra en el punto medio de las mediciones al ser ordenadas de menor a mayor o como aquel nivel de ruido superado durante media hora en una hora de medición. Los valores de referencia (German, 2009) para la Ciudad de México se encuentran entre 52 y 69.9 dB(A).

Finalmente, una medida ampliamente utilizada del segundo tipo (escalas) es el nivel sonoro continuo equivalente, que consiste en una medida de la presión sonora que integra la energía en un periodo de tiempo expresada en dB(A) y tiene como resultado el promedio de eventos sonoros de distinta duración y presión sonora. Se expresa matemáticamente cómo (Barti, 2010):

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L}{10}} dt \right) dB(A)$$

donde:

T es el tiempo total de medición ($t_1 - t_2$),

L es el nivel de presión sonora medido en dB y,

\log es el logaritmo base 10.

Los índices son el tercer tipo de medidas, entre las cuales se encuentran principalmente el nivel de sonido equivalente día-noche y el nivel de sonido equivalente día-tarde-noche, L_{dn} y L_{den} respectivamente. Ambos son niveles de sonido equivalente de 24 horas, aunque el primero se penaliza con 10 dB durante la noche (de 10 p.m. a 7 a.m.) mientras que al segundo se le añaden los 10 dB que corresponden a la noche y 5 dB al nivel de ruido durante la tarde (de 7 p.m. a 11 pm).

Si bien entre los países miembros de la Comunidad Europea existe una estandarización del proceso para la elaboración de los mapas de ruido (que generalmente comienza con la recolección de datos, seguida por el cálculo de ruido, la validación y mapeo, la estimación de la población expuesta y finaliza con el plan de acción de ruido y la difusión pública), existen variaciones importantes entre los países en cuanto a la estimación del ruido, ya que algunos de ellos habían desarrollado metodologías para su estimación y las siguieron utilizando hasta la publicación de la Directiva 2002/49/EC, por lo que la comparación debe hacerse con ciertas reservas. A razón de lo anterior y para asegurar la comparabilidad fue propuesta una metodología de referencia CNOSSOS-EU²⁰ para la evaluación del ruido que se espera sea adoptada por los países miembro en la tercera fase que inicia en 2017 (Murphy y King, 2014). La metodología CNOSSOS-EU

²⁰ La metodología CNOSSOS-EU es el resultado de una revisión de las metodologías que algunos países miembros tenían para la estimación de ruido generado por el tráfico rodado, el transporte ferroviario, el transporte aéreo y la actividad industrial. Los modelos revisados para estimar el ruido por tráfico vehicular fueron el SJ RTN 2008 (JP), CRTN (UK), HARMONOISE/IMAGINE (EU), NMPB 2008 (FR), Nord 2000 (DK-FI-IS-NO-SE), RLS90/VBUS (DE), RMW (NL), RVS (AT), Sonroad (CH). Aquellos evaluados para la estimación del ruido por tráfico ferroviario fueron el CRN (UK) HARMONOISE/IMAGINE (EU), Nord 2000 (DK-FI-IS-NO-SE), Onorm 305011 (AT), RMR (NL) Schall 03/ VBUSch (DE), Semibel (CH). Los métodos que se revisaron para estimar el ruido industrial fueron el HARMONOISE/IMAGINE (EU) y el ISO 9613, mientras que para la estimación del ruido aeronáutico se evaluaron el AzB 2008 (DE), ECAC 29 (EU), FLULA (CH), INM (US), JCAB (JP), NORTIM (NO) y HARMONOISE/IMAGINE (EU).

establece una base común para estimar principalmente el ruido causado por el tráfico vehicular²¹, ferroviario²² y aeronáutico²³ y realiza recomendaciones para la estimación del ruido industrial²⁴.

Los mapas de ruido se han elaborado básicamente a partir de dos metodologías: mediante la estimación de los niveles sonoros con modelos existentes en la literatura que han sido verificados como es el caso de la metodología CNOSSOS-EU y los modelos revisados para su diseño y a partir de la medición *in situ*.

Las metodologías para la medición *in situ* de los niveles sonoros son agrupadas en cuatro grupos por Brown y Lam (1987): muestreo al azar, muestreo estratificado por usos de suelo, muestreo orientado hacia el receptor y muestreo orientado hacia la fuente. Aunado a esta propuesta otros autores (Barrigón-Morillas, Trujillo, Vílchez, Gómez, & Méndez, 2002) han realizado un muestreo estratificado de vialidades basados en que el ruido urbano está principalmente determinado por el tráfico vehicular que discurre por distintos tipos de vialidades, generando diferentes niveles de ruido a partir del flujo vehicular asociado a cada tipo y otras características urbano-arquitectónicas (Barrigón-Morillas, y otros, 2013). Estas mediciones pueden llegar a resultar muy costosas, por lo que es necesario afinar modelos estadísticos que permitan realizar estimaciones más económicas.

Las metodologías más completas de medición de los niveles de ruido previamente discutidas demandan una amplia cantidad de datos que no están disponibles para la Ciudad de México o que hubiesen requerido extensos periodos de levantamiento que escaparían a los tiempos de realización de este trabajo. Sin embargo, es posible aproximar los niveles de ruido recurriendo a otras propuestas de medición indirecta que los aproximan, primero, a partir de la densidad de población y, segundo, de las vialidades.

²¹ Las variables que se requieren para calcular el ruido por tráfico vehicular son: el flujo de tráfico, el tipo de vehículo, los límites de velocidad, la red de carreteras, los nudos de comunicaciones, la cobertura terrestre, la temperatura del aire, la dirección del viento, la altura de los edificios, el tipo de cubierta, el porcentaje de autos con llantas con tacones para la nieve, la pendiente de la vía y algunos datos (Morley, y otros, 2015).

²² Los cálculos de ruido para transporte ferroviario también están en función de las vías, las traviesas, las ruedas, los ventiladores, los compresores, la máquina locomotora, etc.

²³ Se revisaron las metodologías más importantes, entendiéndose la 3ra Edición de la Conferencia Europea de Aviación Civil (ECAC Doc, 29, 3ra edición) y el método alemán AzB 2008, eligiendo la primera para el método estandarizado CNOSSOS-EU (Kephalopoulos, Paviotti, & Leede, 2012) para calcular los contornos de la huella acústica alrededor de los aeropuertos y estimar este tipo de ruido en función de información del aeropuerto (pistas, meteorología, topografía y cobertura de la superficie), de las operaciones (rutas, tráfico aéreo, clima) y de las aeronaves (identidad, desempeño y ruido que generan) (ECAC Doc, 29, 3ra edición).

²⁴ El ruido industrial se calcula a partir del nivel de potencia sonora emitida, las horas de trabajo de la planta, la localización y elevación, el tipo de fuente (punto, línea o área), las dimensiones y orientación, las condiciones de operación de la fuente y su direccionalidad (Kephalopoulos, Paviotti, & Leede, 2012).

2.5. Propuesta metodológica para la construcción de un Índice de Ruido

En la CDMX la contaminación sonora es un problema ambiental en crecimiento, asociado a la infraestructura de transporte y a los usos de suelo mixtos. Las denuncias ante la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial (PAOT, 2016) pasaron de 189 en 2005 a 850 en 2015, lo que significa un incremento del 450% en 10 años. Dicha problemática no está ausente en el marco regulatorio de la ciudad, pues por un lado la norma ambiental NADF-005-AMBT-2013 establece que los límites máximos permisibles de recepción en el punto de referencia son 65 dB(A) en el día y 62 dB(A) en la noche; por otro lado, el reglamento de tránsito del Distrito Federal (2015) establece sanciones a la emisión de ruido excesivo con el claxon o el motor en los artículos 7 y 43, así como en la Ley de Cultura Cívica del Distrito Federal (2014) se enuncia que será considerada una infracción a la tranquilidad de las personas y por lo tanto sujetos de sanción a quienes produzcan ruidos que atenten contra el bienestar de las personas.

2.5.1. Área de estudio: Cuajimalpa de Morelos y Miguel Hidalgo

En esta tesis se seleccionaron la Delegación Miguel Hidalgo (DMH)²⁵ y la Delegación Cuajimalpa de Morelos (DCM)²⁶ para analizar la relación entre el ruido y los precios de la vivienda. La estrategia metodológica con respecto a la elección del área de estudio estuvo basada en la variabilidad del ruido de las delegaciones, conocida a través de los reportes de la PAOT (la DMH es muy ruidosa mientras que la DCM es muy poco ruidosa), así como en la variabilidad de los datos de precios de vivienda provenientes de la Secretaría de Finanzas del Distrito Federal y en la contigüidad geográfica de las observaciones. Esta última elección, que será desarrollado con detalle en el próximo capítulo, es de suma importancia ya que es la que nos permite instrumentar una segmentación del mercado de vivienda en submercados con la técnica de regímenes espaciales.

Si bien las dos Delegaciones se integran funcionalmente como parte de la misma ciudad, existen diferencias sustantivas entre ambas, pero también similitudes y ámbitos de competencia.

²⁵ Se localiza al norponiente del Distrito Federal, colindando al norte con la Delegación Azcapotzalco y los municipios de Huixquilucan y Naucalpan del Estado de México; al sur con las Delegaciones Benito Juárez, Álvaro Obregón y Cuajimalpa de Morelos; al oriente con las Delegaciones Cuauhtémoc, Azcapotzalco y Benito Juárez; al poniente con la Delegación Cuajimalpa de Morelos y el municipio de Huixquilucan del Estado de México.

²⁶ Limita al norte con la Delegación Miguel Hidalgo y el municipio de Huixquilucan del Estado de México; al sur con los municipios de Jalatlaco y Ocoyoacac del Estado de México; al oriente con la Delegación Álvaro Obregón y al poniente con los municipios de Ocoyoacac, Lerma y Huixquilucan, pertenecientes al Estado de México.

Por un lado la DMH es una de las cuatro Delegaciones centrales que concentra una gran parte de la actividad económica, política y social del país, pues según el Censo Económico 2014 de INEGI, allí se genera más del 22% de la Producción Bruta Total generada por la CDMX, concentra el 15% del personal ocupado en la ciudad y en ella se concentran el 84% de las sedes diplomáticas acreditadas en el país (Delegación Miguel Hidalgo, 2016). Por otro lado en la DCM destaca la Zona Financiera de Santa Fe, que representa el poderío económico de México, donde predominan los grandes corporativos en los que se localizan los centros de mando de la inversión extranjera, compitiendo con espacios financieros globales repletos de edificaciones modernas como: *La Défense* en París, *La City* de Londres, la *Gran Vía* de Barcelona y el *Bankenviertel* de Frankfurt (Kunz, 2017).

En el próximo capítulo se estudiarán las ventas de inmuebles ocurridas entre 2006 y 2008, a fin de construir un Índice de Ruido L50_c que pudiera introducirse como predictor en el MPH. Se optó por los datos de población a nivel manzana del año 2005 para realizar las estimaciones de los niveles de presión sonora a partir de la densidad poblacional para esa escala censal.

En 2005 en la densidad poblacional por kilómetro cuadrado en 2005 fue de 7,685 en la DMH, mientras que en la DCM fue de 2,445. En 2010 este estadístico aumentó a 8,106 en la DMH y a 2,625 en la DCM. Algunas diferencias, en 2009, entre las Delegaciones nos permiten darnos cuenta de las diferencias en su dinámica económica (Ejea, 2014): el número de sucursales bancarias por cada 10,000 (7 en la DMH y 4 en la DCM) y el porcentaje de cuartos para hospedaje con respecto al total delegacional (13% en la DMH y 1% en la DCM).

Otra diferencia es que el 81.4% del total del área de la DCM es suelo de conservación, lo que representa un 7.5% del área de la Ciudad de México, mientras que la DMH carece absolutamente de zonas declaradas en esa categoría. Si bien la creciente urbanización ha derivado en la invasión del suelo de conservación la declaratoria ha servido como un freno a la actividad económica ya que mientras en la DCM sólo existen 109.2 establecimientos económicos por kilómetro cuadrado en la DMH hay 598.1 (DENUE, 2010).

De 2002 a 2017 la PAOT²⁷ ha registrado 47 denuncias en el tema de ruido y vibraciones en la DCM y 527 en la de DMH. El contenido de la mayoría de las denuncias se refiere a la molestia que genera para los vecinos la concurrencia de actividades comerciales, industriales y de ocio con las viviendas. Se denuncia no solamente la vocación ruidosa del establecimiento comercial como

²⁷ Recuperado de <http://www.paot.org.mx/> el 13 de mayo de 2017.

sería el caso de un bar sino el ruido provocado por equipamiento industrial como los extractores de humo o las emisiones sonoras generadas por la operación cotidiana de establecimientos con un alto flujo de personas y transacciones.

2.5.2. Ruido estimado con base en la densidad poblacional

Si bien la contaminación sonora está asociada a las aglomeraciones poblacionales y procesos de urbanización, no fue sino hasta mediados de la década de los setenta que se estableció una relación funcional lineal entre la densidad poblacional y los niveles de ruido, con los trabajos realizados por la EPA.

El objetivo de la EPA era la estimación de una línea base a nivel federal sobre los niveles de ruido a los que estaba expuesta la población norteamericana en sus residencias, tomando como supuesto que las principales afectaciones serían en aquellos sitios cercanos a los aeropuertos y vialidades principales para los cuales ya se habían desarrollado modelos predictivos. La lógica de la estimación fue que el número de automóviles por persona es casi constante, así como es constante la razón entre el transporte de carga pesada y los automóviles y el uso de vehículos es proporcional a la densidad poblacional. Basándose en los modelos predictivos de ruido por tráfico vehicular y que relacionan el ruido producido de forma directamente proporcional a 10 veces el logaritmo del número de vehículos que pasan por un punto determinado, se propuso que entonces los niveles de ruido día/noche generado alejado (en al menos 300 metros) de las principales fuentes de ruido mencionadas sería directamente proporcional a 10 veces el logaritmo de la densidad poblacional en zonas urbanas con una línea basal de 22 decibeles con población cero debido a los cambios en la presión sonora provocados por el viento y la fauna. La hipótesis fue probada primero en 30 sitios cuya densidad poblacional se encontraba entre 1,000 y 70,000 personas por milla cuadrada y posteriormente validada en 100 puntos a lo largo del país (Galloway, Eldred, & Simpson, 1974).

La relación funcional que encontraron en términos de la densidad poblacional por milla cuadrada fue:

$$L_{dn} = 22 + 10\log(p)$$

donde:

p es la densidad poblacional por milla cuadrada y,

log es el logaritmo base 10.

Esta relación ha sido aplicada para estimar los niveles de ruido en diferentes estudios, principalmente en lugares con bajas densidades poblacionales. Por ejemplo, Miller (2004) en poblaciones con densidades de 50 hab/km², el Grupo Symonds (Symonds, 2003) calcula rangos de presión sonora desde 1 a 10 hab/km² hasta 195 a 1,400 hab/km², encontrando que los niveles L_{50} ($L_{50} = L_{dn} - 5dB$) diarios irían desde 23 a 44 dB. Otros estudios en los que no se realizó la estimación de presión sonora mediante la función en cuestión pero cuyas mediciones resultan cercanas a los resultados que arrojaría dada la densidad poblacional son los estudios de Lercher, Evans, Meis, y Kofler (2002) en Austria que con sitios con densidades de 20 a 100 hab/km² el 95% de las residencias estudiadas para evaluar la salud mental de los niños se encontraban expuestos a ambientes sonoros en el rango de 40 a 60 dB(A) y según las estimaciones deberían estar entre 31 y 38 dB(A); en la ciudad de Kaunas, Lituania con una densidad poblacional de 87 hab/km² se reportaron niveles sonoros entre 36 y 40 dB(A) mientras que con la fórmula desarrollada inicialmente por la EPA, se tendría un nivel sonoro L_{dn} de 37 dB(A). Estos resultados sugerirían que la propuesta de EPA es capaz de predecir adecuadamente los niveles de presión sonora a partir de la densidad poblacional.

En el cuadro 2 se muestran las estimaciones por Delegación para la CDMX a partir de la relación funcional encontrada por la EPA. Puede observarse que la delegación de Milpa Alta ubicada al sur de la entidad es la que tiene un menor nivel de presión sonora y las delegaciones Iztacalco e Iztapalapa son las más ruidosas. Al comparar los niveles de ruido estimados con los reportados por la PAOT (2005) se observa que su relación con la densidad poblacional no siempre es directa. Por ejemplo, Iztacalco es la delegación más densamente poblada por lo tanto según la estimación con la recta de ajuste de la EPA es también la más ruidosa, sin embargo, se encuentra por debajo de la media de las mediciones realizadas por la PAOT (PAOT, 2005). Esta institución encontró que la Delegación más ruidosa es la Álvaro Obregón a pesar de estar por debajo de la media de la densidad poblacional de las delegaciones. Por lo tanto, se puede inferir en que es más importante el uso que la población le da al suelo que la misma densidad poblacional.

Cuadro 2. Diferencias delegacionales en los niveles de presión sonora en 2005 según su densidad poblacional y las denuncias presentadas ante la PAOT

Delegación	Población total	Área (km ²)	Densidad por km ²	EPA	PAOT
Álvaro Obregón	706,567	96	7,360	60.6	91.3
Azcapotzalco	425,298	33	12,887	63.1	63.7
Benito Juárez	355,017	27	13,148	63.1	69.3
Coyoacán	628,063	54	11,630	62.6	69.6
Cuajimalpa de Morelos	173,625	71	2,445	55.8	
Cuauhtémoc	521,348	32	16,292	64.1	73.3
Gustavo A. Madero	1,193,161	88	13,558	63.3	71.3
Iztacalco	395,025	23	17,175	64.3	67.2
Iztapalapa	1,820,888	113	16,114	64.0	62.1
La Magdalena Contreras	228,927	63	3,633	57.6	
Miguel Hidalgo	353,534	46	7,685	60.8	76.7
Milpa Alta	115,895	298	388	47.8	
Tláhuac	344,106	86	4,001	58.0	65.5
Tlalpan	607,545	314	1,934	54.8	72.9
Venustiano Carranza	447,459	34	13,160	63.1	73.7
Xochimilco	404,458	114	3,547	57.4	70.3
Promedio CDMX				60.0	71.3

Fuente: Elaboración propia.

Los valores delegacionales municipales estimados contrastan con lo reportado por la PAOT (2005) en 2005²⁸ que proviene de mediciones realizadas para cumplimentar las denuncias presentadas que van de los 62.1 dB(A) en Iztapalapa hasta los 91.3 en Álvaro Obregón. De ahí que los resultados promedio que arroja la PAOT sean sistemáticamente más altos que los que se obtienen con el método EPA, puesto que tales niveles corresponden a mediciones realizadas en

²⁸ Contaminación por ruido y vibraciones: Implicaciones en la salud y calidad de vida de la población urbana (PAOT, 2005).

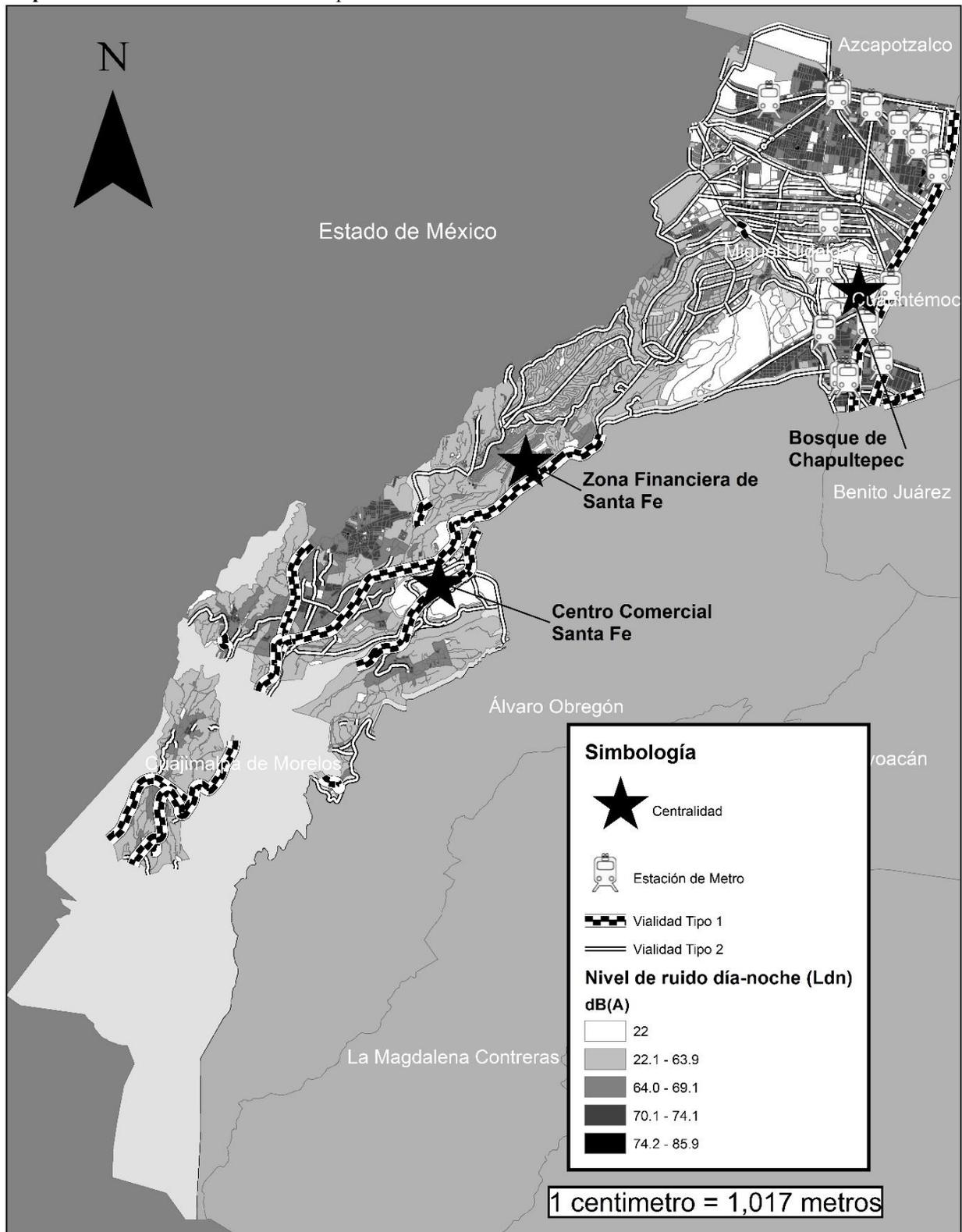
sitios problemáticos como bares, discotecas y otras actividades económicas que pueden tratarse como fuentes puntuales de emisión. Lo reportado por la PAOT no implica que sean los niveles promedio de las delegaciones, así como tampoco deben ser tomados como referencia de los niveles de emisión de fuentes lineales como el tráfico automotor.

Estimaciones de los niveles de ruido para la CDMX a partir de la densidad poblacional tiene como valor mínimo la línea basal de 22 dB(A) que le es imputado a todas aquellas manzanas cuya población es cero (7,285) y como valor máximo 88.8 dB(A) que corresponde a las manzanas con mayor densidad poblacional, con una media de 65.6 dB(A) y una desviación típica de 16.4 para un total de 62,602 observaciones. En la zona de estudio, que está constituida por la DCM y la DMH el valor medio fue de 61.1 dB(A), sin diferencias importantes entre ambas, pues la primera tiene una media de 60.6 y la segunda de 61.3.

En el mapa 1 se puede observar que los mayores niveles de ruido se encuentran al norte y al sur del área de estudio que comprende a las delegaciones en cuestión. Las estimaciones propias coinciden con los reportes de la PAOT que categorizan a la DMH como una de las delegaciones más ruidosas y a la DCM como una de las menos ruidosas, en la que los mayores niveles de ruido se encuentran al norte y al oriente del Bosque de Chapultepec. Puede apreciarse una asociación espacial entre los niveles de ruido derivados de la densidad poblacional y la existencia de estaciones de metro, que podrían entenderse como externalidades positivas de la localización residencial debido a la accesibilidad que proveen a otros puntos de la ciudad. Algunas de las colonias, entre otras, de ésta Delegación afectadas con altos niveles de contaminación sonora son la Escandón, Tacubaya, San Miguel Chapultepec, Polanco, Tacuba, Pensil y Refinería 18 de marzo. Según estas estimaciones, la DCM está menos contaminada por ruido, sin embargo, hay un clúster de manzanas muy ruidosas al poniente del Centro Comercial Santa Fe, en colonias como El Mirador, La Manzanita y Cuajimalpa.

Se observa también una gran zona con bajos niveles de ruido que coinciden espacialmente con el Bosque de Chapultepec y con el Centro Comercial Santa Fe, cuya densidad poblacional es baja. Entre ambos referentes geográficos puede apreciarse un corredor de niveles de ruido bajos y moderados, es decir, entre 22.1 y 63.9 dB(A) que comienza en la Zona Financiera de Santa Fe y se extiende hacia el norte hasta las distintas colonias Lomas de Virreyes y Lomas de Chapultepec en la DMH, características por ser de altos ingresos, a la altura del bosque.

Mapa 1. Ruido con base en la densidad poblacional



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (2010).

Las estimaciones de los niveles de presión sonora en función de la densidad poblacional tienen algunas limitantes, por ejemplo: no captura el uso que se le da al suelo, sin embargo, en la literatura aparece recurrentemente como una variable explicativa de la contaminación sonora; asume que la relación entre el crecimiento de la población y el uso privado del automóvil es lineal, soslayando que los sistemas de transporte público pueden desincentivar el uso del automóvil; la estimación de los niveles de presión sonora a partir de la densidad poblacional está basada en una relación lineal y constante entre la densidad poblacional y el automóvil, no discrimina por tipo de automóvil, que puede ser de carga ligera o pesada, ni internaliza las posibles innovaciones en la reducción del ruido que producen.

Es necesario complementar las estimaciones de ruido realizadas a partir de la densidad poblacional con el ruido generado en las vialidades de tránsito rodado ya que: los niveles sonoros más intensos frecuentemente se le atribuyen al tránsito vehicular y las estimaciones de la EPA se hacen bajo el supuesto de que estos niveles sonoros se podrían observar alejados de las grandes avenidas u otras fuentes importantes de contaminación sonora como los aeropuertos.

2.5.3. Ruido estimado con base en las vialidades

Aunque las estimaciones de los niveles de presión sonora a partir de la densidad poblacional han sido validadas en numerosos casos y son una alternativa de bajo presupuesto para aproximarnos a la magnitud de la contaminación sonora de las ciudades, existen estudios en los que se cuestiona la relación lineal entre la densidad poblacional y la contaminación sonora. Un estudio de referencia en este sentido es el de Barrigón-Morillas, Trujillo, Vilchez, Gómez, y Méndez (2002) que analiza mediante el método de categorización de las vialidades a 20 aglomeraciones españolas de entre 2,200 y 700,000 habitantes con áreas que van desde los 0.57 km² y 59 km². Los resultados que obtienen indican bajos niveles de varianza explicada de los niveles de presión sonora en los distintos tipos de vialidades por la variable de densidad poblacional en comparación con las de población total y área de la aglomeración urbana.

Una de las características más importantes de la sociedad moderna, originada con la Revolución Industrial, es la innovación en los medios de transporte y la ampliación de la infraestructura para su operación. En consecuencia, desde entonces las externalidades ambientales derivadas de estas innovaciones han sido tema de análisis para gobiernos, académicos y organizaciones comunitarias. Recientemente las autoridades europeas han estimado que al interior

de Europa 89.8 millones de personas están expuestas a más de 55 dB(A) generados por el tráfico rodado, 11.7 millones a la contaminación sonora de la misma magnitud generado por trenes y 4.3 millones a la emitida por la aviación (Murphy & King, 2014).

El ruido que los vehículos emiten proviene de distintas partes de los mismos y de su interacción con otros elementos físicos, pero puede reducirse a dos: uno generado por el motor y otro por la rodadura. En la medida que la velocidad aumenta el segundo tipo de ruido enmascara al primero. Los modelos de predicción de ruido automotor han sido calculados en función de estos soslayando el provocado por el claxon a pesar de ser el más molesto para muchas personas (Murphy & King, 2014).

Debido a la importancia del ruido vehicular en las ciudades modernas no sólo se han elaborado modelos para su predicción, sino metodologías para el levantamiento de mediciones basadas en la categorización de vialidades. Aquí se sigue la propuesta de Barrigón-Morillas, y otros (2013) que identifica cinco tipos de vialidades, cada una asociada a distintos niveles de ruido consta de cinco categorías:

- Tipo 1. Comprende vías anulares, viaductos y radiales, que conectan diferentes puntos de la ciudad o con carreteras hacia otras ciudades. Son vías de acceso controlado, que satisfacen la demanda de movilidad continua de grandes volúmenes de tránsito. Generalmente no existe comunicación directa con las propiedades colindantes. El tránsito es principalmente de paso.
- Tipo 2. Comprende los ejes viales y las arterias principales que permiten la circulación hacia los cuatro puntos cardinales y entre diferentes áreas de la ciudad. Satisfacen la demanda de movilidad de grandes volúmenes de tránsito. La mayoría de ellas tienen comunicación directa a las estaciones del Metro y a las propiedades colindantes. El tránsito es de paso y local.
- Tipo 3. Comprende las vías secundarias, que enlazan a los centros urbanos con la red vial y primaria. Permiten el acceso directo a las propiedades colindantes. El tránsito es local y de paso. Estas vías pueden ser usadas cuando existe obstrucción vial en las calles Tipo 1 y 2.
- Tipo 4. Comprende las vías locales con pequeño comercio, que permitan una comunicación con calles de este mismo tipo y con vialidades definidas previamente. El acceso a las propiedades colindantes es directo. El tránsito es principalmente local.

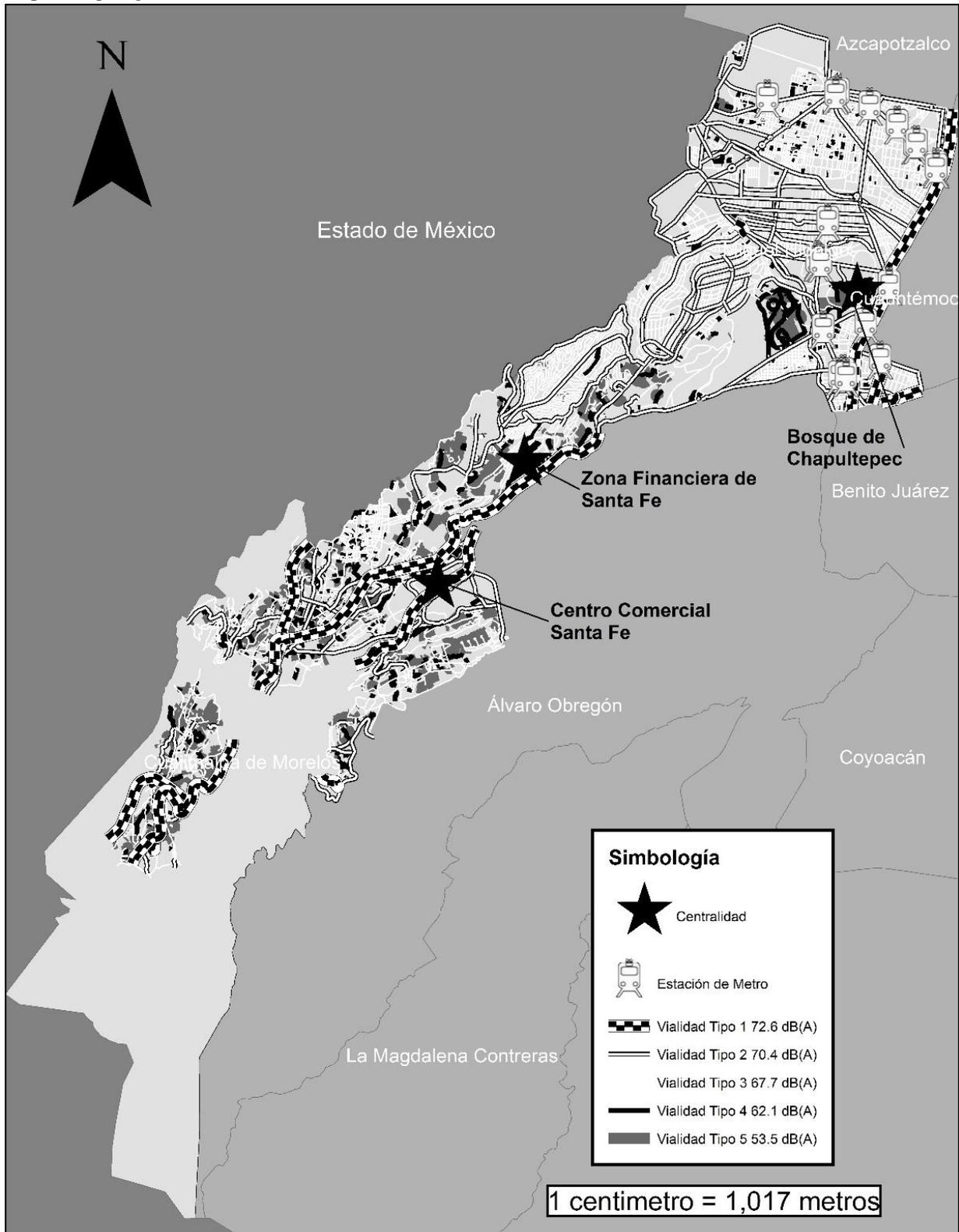
- Tipo 5. Comprende las vías locales sin comercio, donde el uso del suelo es exclusivamente habitacional. La estructura de éstas no permite el tránsito intenso y pesado. El acceso a las propiedades residenciales es directo. No existe tránsito de paso.

German, Barrigón y Orozco (2011) realizaron mediciones en dos zonas (Santa María la Ribera y Coyoacán) de la Ciudad de México con un muestreo basado en la categorización vial mencionado arriba. Encontrando que los niveles sonoros equivalentes (L_{eq}) eran de 72.6, 70.4, 67.7, 62.1 y 53.5 respectivamente.

Para este trabajo se realizó la misma categorización vial con información del Marco Geoestadístico Nacional INEGI 2010 y se les imputaron los valores anteriores a los diferentes tipos de vialidades. El tipo uno se conformó por aquellas que fueran autopista, carretera, circuito, periférico o viaducto; el tipo dos por bulevares, calzadas, avenidas y ejes viales; el tipo tres por calles; el tipo cuatro por callejones, cerradas, privadas, peatonales, andadores o pasajes y que además sobre ellas existen negocios de cualquier tipo según la información del Denué con fecha de corte en 2010; finalmente el quinto tipo de vialidades son las mismas que las del anterior pero a diferencia de estas no tienen negocios de ningún tipo sobre las vías.

En el mapa 2 puede observarse que la zona de estudio es atravesada por algunas de las vialidades de acceso controlado (Tipo 1) a la CDMX y por otras que como estas son de mucho aforo. En la DCM existen varios tramos de la autopista México-Toluca, y la autopista Cuajimalpa-Naucalpan mientras que la DMH es atravesada por el Circuito Interior en los límites con las delegaciones Benito Juárez y Cuauhtémoc. Además, existen otras 193 vialidades del Tipo 2 en esta área, concentradas principalmente en la DMH, entre las cuáles podemos destacar Paseo de la Reforma, Río San Joaquín, Presidente Masaryk, Campos Eliseos, Benjamín Franklin y el Periférico Pdte. Manuel Ávila Camacho; en la DCM las avenidas de este tipo más conocidas son Arteaga y Salazar, Secretaría de Marina, Vasco de Quiroga, Tamaulipas y Santa Fe en las inmediaciones del Centro Comercial Santa Fe. Como puede observarse en la DMH predominan el tercer tipo de vialidades mientras que en la DCM hay una distribución más heterogénea.

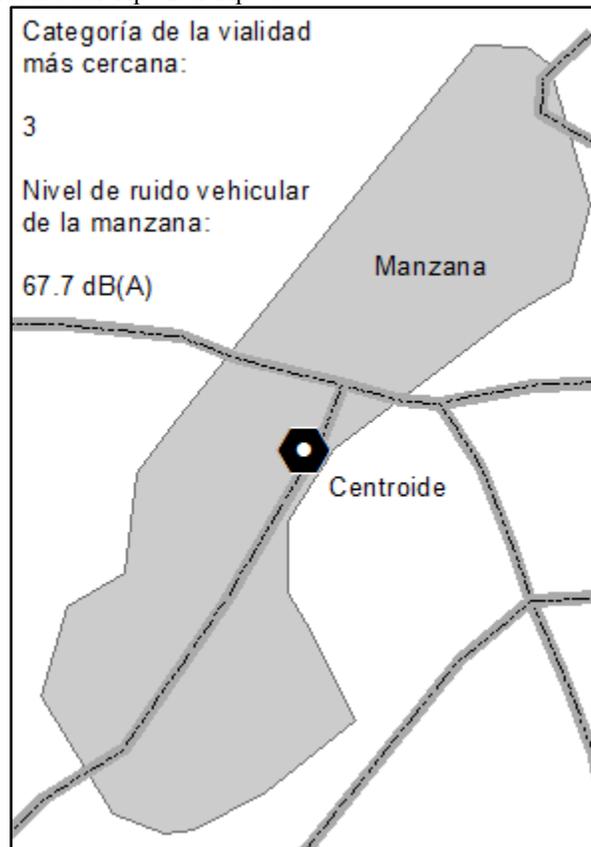
Mapa 2. Tipología de vialidades



Fuente: Elaboración propia con base en German, Barrigón y Orozco (2011) e información de INEGI (2010).

Con la finalidad de construir una variable útil para el MPH, se estimaron los niveles de ruido por vialidades para cada manzana imputando el valor de la vialidad más cercana al centroide de la misma para las vialidades del Tipo 2 al Tipo 5 como puede observarse en la ilustración 1.

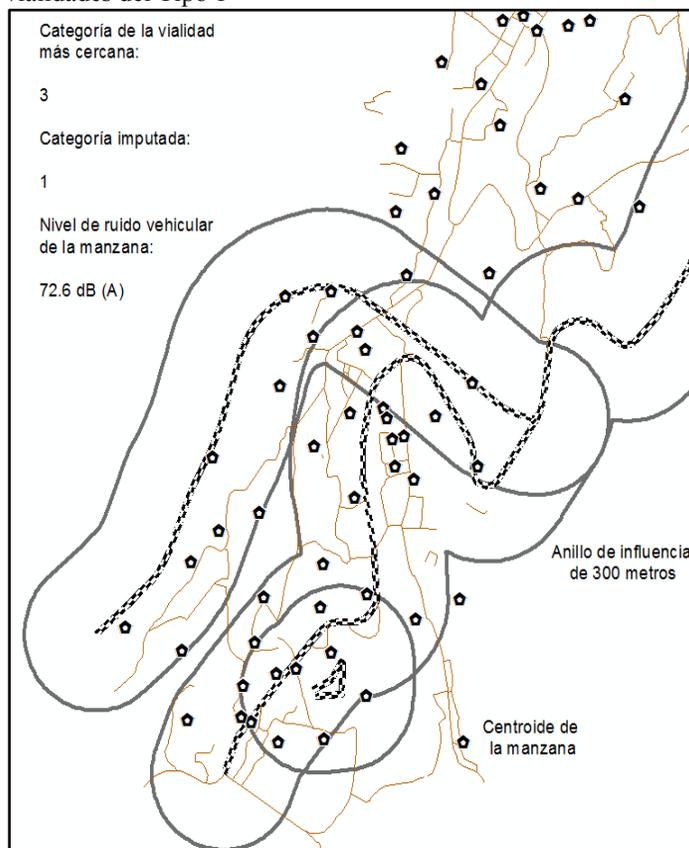
Ilustración 1. Ruido por vialidades del Tipo 2 al Tipo 5



Fuente: Elaboración propia con base en German, Barrigón y Orozco (2011) e información de INEGI (2010).

Debido a la anchura de las vialidades del Tipo 1, hay pocas manzanas cuyo centroide está más cerca de este tipo de vialidades que de otras, quedando subrepresentado el ruido generado por éstas que son las más ruidosas. Con la intención de capturar la contaminación generada por las vialidades del Tipo 1 y suponiendo que enmascara la presión sonora generada por otras vialidades cuyos niveles son inferiores, se trazó un anillo de 300 metros alrededor de las mismas y se les imputó el valor correspondiente a las manzanas cuyo centroide se encuentra en este radio de influencia, aunque la vialidad más cercana sea de otro tipo (véase ilustración 2).

Ilustración 2. Ruido por vialidades del Tipo 1



Fuente: Elaboración propia con base en German, Barrigón y Orozco (2011) e información de INEGI (2010).

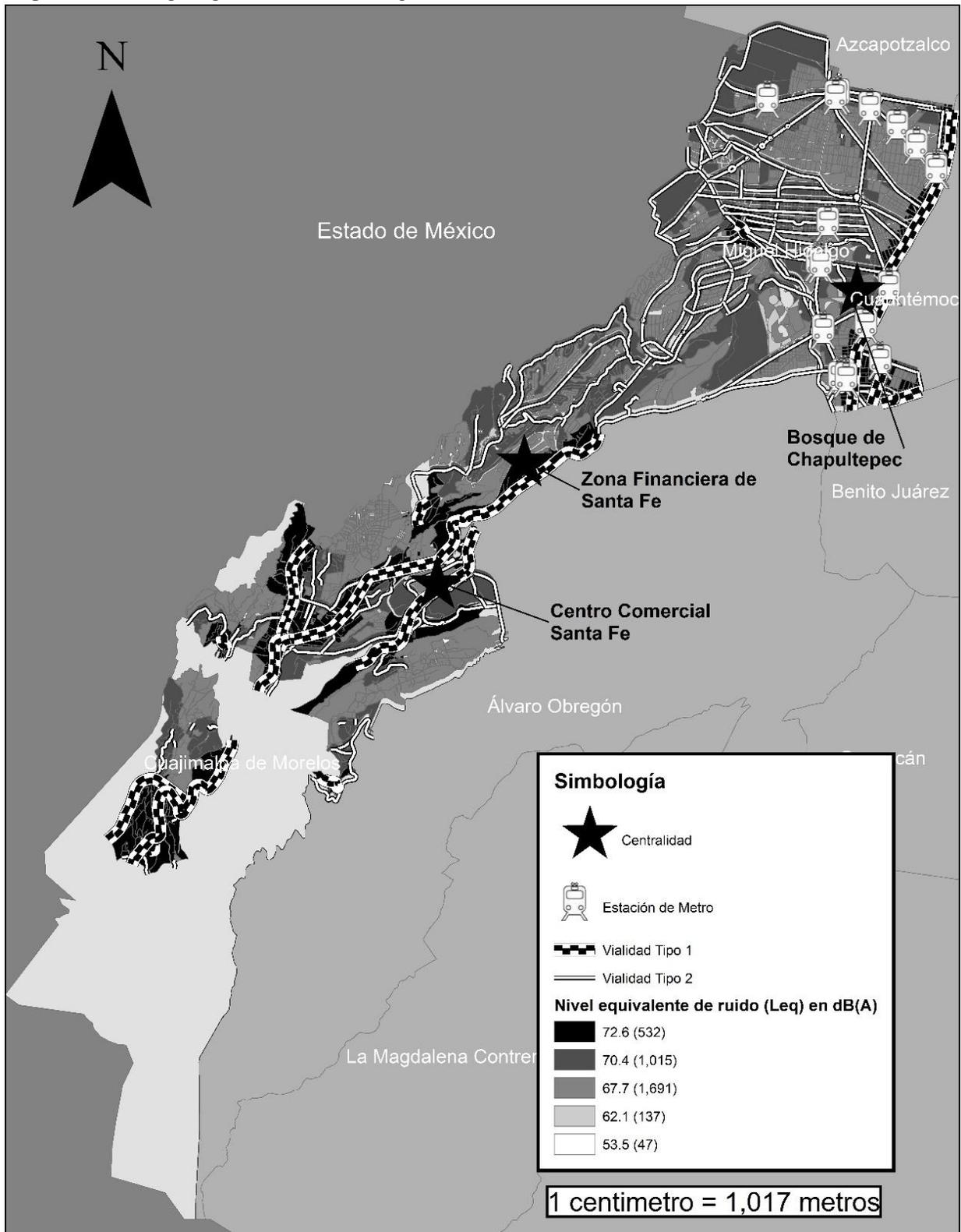
En el mapa 3 se muestran los niveles sonoros según el tipo de vialidad más cercana a cada manzana. Aquellas manzanas con los mayores niveles de ruido según el tipo de vialidad que les afecta se encuentran principalmente en la delegación de DCM y corresponden a manzanas cuyo centroide está cerca de las autopistas Cuajimalpa-Naucaupan, México-Naucaupan y México-Toluca y la carretera federal México-Toluca, además de la carretera al Olivo.

En la DMH las manzanas más afectadas por las vialidades del Tipo 1 se localizan en torno a Circuito Interior y a un tramo pequeño de Periférico que separa a las colonias de Las Lomas (de Virreyes y de Chapultepec) de Polanco. Sin embargo, en esta Delegación existen más manzanas afectadas por las vialidades del Tipo 2, con un nivel de 70.4 dB(A) de presión sonora y se encuentran distribuidas por toda la zona de estudio, destacando la esquina superior izquierda de la DMH, los alrededores del Metro Polanco, alrededor del Bosque de Chapultepec.

En toda la zona de estudio predominan las manzanas cercanas a vialidades de categoría intermedia (Tipo 3) cuyo nivel de ruido es de 67.7 dB(A) y corresponde a las vialidades etiquetadas como *Calles* en el Marco Geoestadístico Nacional INEGI 2010.

Las manzanas impactadas por las vialidades con bajos niveles de ruido, básicamente de tránsito local con y sin negocios sobre las mismas, apenas logran percibirse en el mapa 3 y se encuentran a lo largo de toda la zona de estudio sin que lleguen a formarse agrupamientos importantes.

Mapa 3. Manzanas por tipo de ruido vehicular que les afecta



Fuente: Elaboración propia con base en German, Barrigón y Orozco (2011) e información de INEGI (2010).

El mapa de ruido generado en los distintos tipos de vialidades tiene algunas limitantes, entre las cuales las más importantes son que: las viviendas existentes en cada manzana pueden ser afectadas por más de una vialidad y éstas pueden ser de distintos tipos; las mediciones se realizaron en otras zonas de la ciudad, donde las vialidades satisfacen una demanda de infraestructura de transporte que podría estar compuesta de forma distinta a la estudiada en esta investigación; en la medida que aumenta el tamaño de la manzana se pierde la capacidad de que el valor imputado correspondiente a la vialidad más cercana refleje el nivel del ruido al que está expuesta debido a la Ley de la Inversa del Cuadrado, que establece que en la medida que aumenta la distancia disminuye la intensidad sonora.

2.6. Índice de Ruido (L50_c)

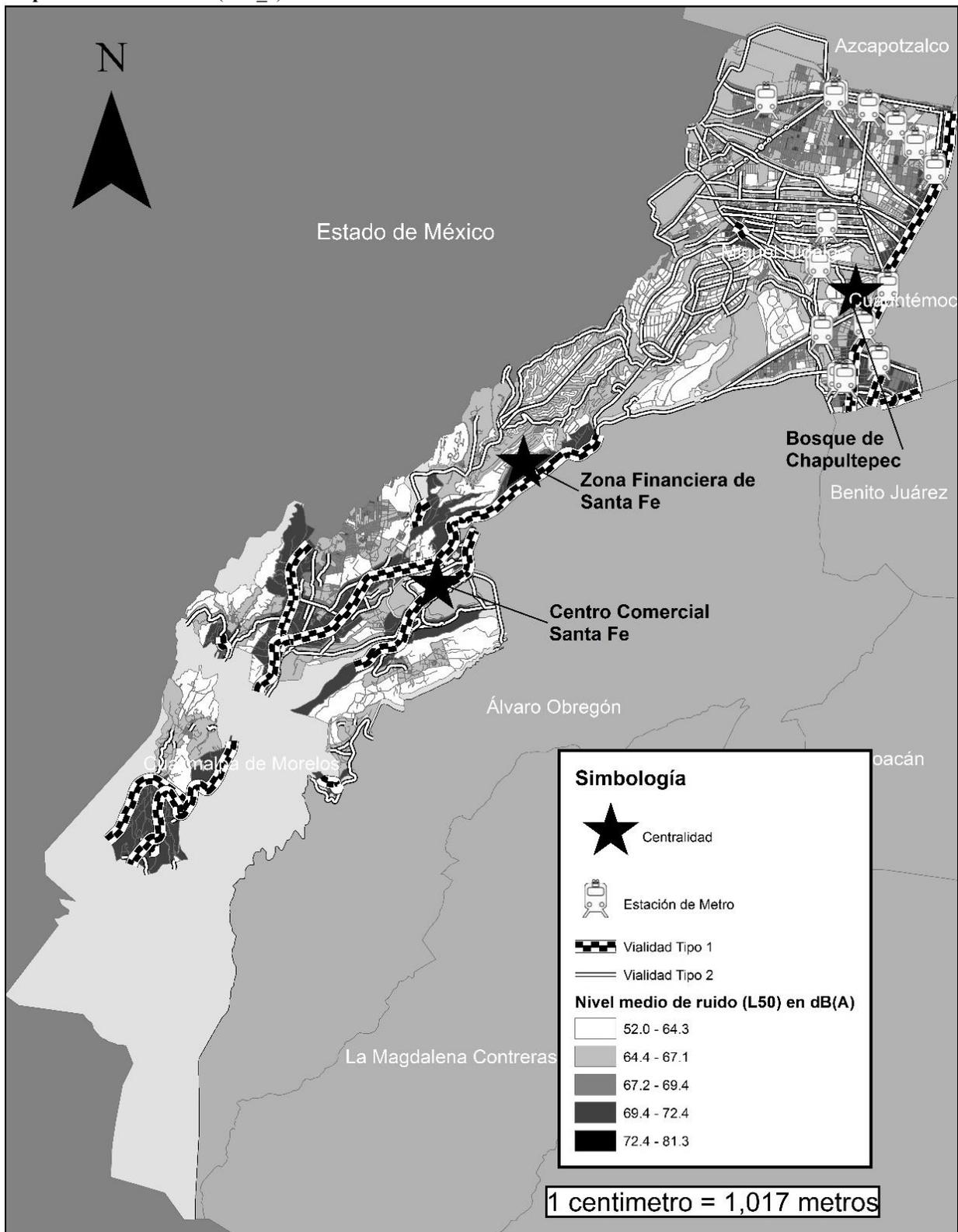
Los indicadores anteriores dan cuenta de diferentes niveles de ruido generado por automóviles, el primero captura de forma general el ruido asociado a la actividad de la zona y el segundo el ruido derivado de vialidades de distintos tipos, por lo que se buscó otra forma de aproximación a los niveles sonoros e la ciudad que integrara ambas estimaciones. El Índice de Ruido (L50_c) se construyó de la siguiente manera:

1. Se calculó un indicador de ruido poblacional a nivel manzana a partir de la densidad poblacional basado en la estimación de la EPA expresado en términos del nivel L_{dn} .
2. Se retomaron los niveles encontrados en otros estudios sobre los niveles de ruido en las vialidades. A cada manzana se le imputó el valor de ruido L_{50} de la vialidad más cercana a su centroide encontrada en la literatura con trabajos empíricos para México (German, 2009).
3. Se convirtió el nivel L_{dn} del ruido poblacional basado en las estimaciones de la EPA en valores de L_{50} mediante la equivalencia $L_{50}=L_{dn} - 5 \text{ dB(A)}$ encontrada en la literatura (Gjestland, 2008) con la finalidad de homogeneizar las unidades de medida.
4. Para obtener el indicador compuesto en L_{50} se sumaron logarítmicamente los dos tipos de ruido: el calculado a partir de la densidad poblacional y el generado a partir de la categorización vial.

Los resultados del L50_c se muestran en el mapa 4 que contiene 3,458 manzanas entre las cuales el valor mínimo es de 52.0 dB(A), el máximo 81.0 dB(A) y su valor medio 66.5 dB(A). A grandes rasgos éste mapa nos dice que los lugares con un mejor ambiente sonoro son aquellos en los que

no vive gente, como en las grandes áreas verdes de la zona de estudio o en espacios ocupados por centros comerciales. El patrón que predomina es el de las manzanas cuyo nivel de ruido se encuentra entre los 64.4 y 67.1 dB(A); niveles ya insanos según la OMS y en los límites permitidos por las legislaciones ambientales mexicanas a nivel local y federal. Es evidente que los mayores niveles de ruido se encuentran cerca de las vialidades del Tipo 1, principalmente en una gran parte de la DCM y en la línea limítrofe de las Delegaciones Miguel Hidalgo y Cuauhtémoc, demarcada por el Circuito Interior. Según el mapa del L50_c, una gran parte de la DCM está expuesta a altos niveles de ruido principalmente debido al paso de la Autopista México-Toluca, que atraviesa su territorio con varios tramos. Con respecto a la DMH podemos dividirla en cuatro zonas, una al sur y al poniente del Bosque de Chapultepec, con bajos niveles de contaminación sonora en colonias como Lomas de Chapultepec y Lomas de Virreyes; la zona de Polanco con niveles medios de contaminación sonora; la zona oriente de la Delegación donde se encuentran colonias como Observatorio, Tacubaya, Escandón y San Miguel Chapultepec con altos niveles de ruido y por último, una zona más heterogénea que las anteriores al norte de la Delegación en colonias como la Pensil, Tacuba y Popotla..

Mapa 4. Índice de Ruido (L50_c)



Fuente: Elaboración propia con base en German, Barrigón y Orozco (2011) y (Galloway, Eldred, & Simpson, 1974) e información de INEGI (2010).

Probablemente la mayor limitante los indicadores calculados sea que no fueron verificados en campo, lo que permitiría realizar ajustes a las funciones de regresión, tanto del ruido poblacional como del vehicular y del Índice de Ruido. Otra limitante del índice propuesto para aproximarnos a los niveles de ruido urbano sea que deja fuera el ruido provocado por las actividades comerciales e industriales, que en ciudades como la Ciudad de México no siempre están confinadas a usos de suelo exclusivos, sino que se mezclan entre viviendas en forma de pequeños talleres, bares o comercios.

Sin embargo, podríamos considerar nuestro índice es una buena aproximación al ruido urbano si aceptamos que las actividades de transporte son las principales fuentes de la contaminación sonora urbana. El Índice de Ruido propuesto rescata dos ruidos asociados al uso del transporte rodado, el primero de ellos es al que llamamos poblacional es una aproximación al ruido alejado de las vías de transporte, mientras que el ruido vehicular captura al provocado por la utilización de estas infraestructuras.

Esta propuesta metodológica es un primer paso para generar funciones de estimación del ruido urbano, que puede complementarse con mediciones en campo para ajustar, tanto la línea base como la relación que existe entre la densidad poblacional y la contaminación sonora. Una virtud de esta propuesta es que la información con la que calculó está disponible a nivel nacional y se pueden realizar ejercicios para ciudades de distinto tamaño que componen el sistema urbano nacional.

En el capítulo 3 se vuelve a calcular el Índice de Ruido (L50_c) con la metodología que se presentó en éste capítulo, pero en lugar de hacerlo para cada manzana se hace para cada transacción registrada. El valor del ruido basado en la densidad poblacional que se le asocia es el mismo que tiene la manzana en la que se encuentra la vivienda transada, sin embargo, el valor del ruido asociado a las vialidades no es el de la vialidad más cercana al centroide de la manzana sino el de la vialidad más cercana a la transacción, a excepción de las transacciones que se encuentran a una distancia de 300 metros de las vialidades del Tipo 1, a las que se les imputa el valor de éstas aunque tengan más cerca alguna vialidad de otro tipo.

2.7. Mapa de exposición al ruido por su nivel socioeconómico

Anteriormente se mencionó que los mapas de ruido suelen estar acompañados de mapas de exposición al ruido, en los que se detallan las características de la población afectada, así como los

patrones espaciales de su distribución. Si bien los mapas de exposición a la contaminación sonora suelen indicar el nivel de ruido al que está expuesta la población, en esta sección se recurrió a un análisis de asociación espacial bivariada entre el nivel socioeconómico y el ruido, para elaborar un mapa de exposición que relacione espacialmente a las características de la población con los niveles del contaminante en cuestión.

La exposición desigual a los niveles de contaminación sonora ha sido explorada desde la justicia ambiental²⁹, es decir, tratando de conocer si afecta de forma diferencial a poblaciones de distintos niveles socio-económicos. Los resultados han sido muy diversos, pues se ha encontrado que (Sobotta, Campbell, & Owens, 2007) el ruido generado por la aviación en los Estados Unidos afecta de forma desigual a distintos grupos étnicos, siendo discriminados ambientalmente aquellos de raza hispana. Sin embargo, de forma casi contraria, otros estudios han encontrado que en Francia la exposición al ruido generado por el tráfico vehicular es mayor en aquellos vecindarios favorecidos económicamente que en los más desfavorecidos (Havard, Reich, Bean , & Chaix, 2011).

Lakes, Bückner, y Krämer (2013) desarrollaron un índice de justicia ambiental para la ciudad de Berlín, Alemania en la que pretendieron observar si la calidad ambiental se distribuía de forma desigual entre los distintos niveles socioeconómicos. Con ese objetivo construyeron un indicador que diera cuenta de la mala calidad ambiental por sus niveles de contaminación sonora y sobre las condiciones ambientales favorables a partir de la cobertura de áreas verdes y un indicador sobre las características socioeconómicas de la población. El estudio les permitió identificar puntos fríos y puntos calientes de justicia ambiental en 434 unidades de planeación, encontrando que en 22 de ellas eran concurrentes los bajos niveles socioeconómicos y de calidad ambiental, mientras que 47 unidades se caracterizaron por tener altos niveles en los dos indicadores.

Algunos autores (Warren, Katti, Ermann, & Brazel, 2006) encontraron en la ciudad de Phoenix que las actividades de transporte son las principales fuentes de contaminación sonora y que en el centro, donde vive la población de nivel socioeconómico más bajo está expuesta a niveles más altos de ruido y tienen una menor disponibilidad de parques públicos en el vecindario. Además, con su estudio confirman la correlación de la edad del barrio y la composición étnica,

²⁹ Hoffman, 1967

con los niveles de ruido, como sucede con otras ciudades de Estados Unidos (Ramírez & Domínguez, 2011).

En esta sección se realiza un ejercicio exploratorio para conocer las características de la población afectada, tomando como indicador del nivel socioeconómico el nivel de escolaridad. Con el objetivo de explorar el tema de justicia ambiental y conocer si existe una distribución desigual de la contaminación sonora de acuerdo al nivel socioeconómico se realizó un análisis de autocorrelación espacial. Primero se calculó el indicador de autocorrelación global de Morán (*I de Morán*) bivariado que refleja el nivel de intensidad de la autocorrelación espacial global en un determinado territorio. El valor más alto que puede asumir es 1 y significa que sobre el espacio se aglomeran objetos (en este caso manzanas) con valores similares, ya sean altos o bajos, mientras que el valor más bajo es de -1 e indica que las aglomeraciones son de valores distintos.

Las dos variables utilizadas para calcular el grado de auto correlación global fueron: Índice de Ruido y nivel de escolaridad, que a valores más altos refleja una cantidad mayor de población por manzana sin instrucción y por lo tanto bajos niveles de escolaridad. El cálculo del L50_c se explicó anteriormente y la segunda variable se calculó con los datos del Censo de Población y Vivienda de INEGI 2005 de la siguiente manera:

$$\text{Nivel de escolaridad} = \frac{\text{Población sin instrucción}}{\text{Total de población}}$$

Un resultado de 0.0795 con un valor Z de 30.5471 para indica que hay una autocorrelación espacial positiva, aunque débil, entre las variables mencionadas, en otras palabras: existe una baja autocorrelación espacial entre el nivel de escolaridad y el nivel de ruido por manzana. Los indicadores globales de autocorrelación espacial no nos permiten saber dónde se encuentran agrupados los valores. Sin embargo, esto se puede conocer mediante los indicadores locales de asociación espacial (*LISA*). Los resultados de estos análisis son más indicativos que demostrativos, por lo que no son suficientes para probar hipótesis de dependencia funcional alguna. Un análisis *LISA* nos permite conocer, mediante la formación de clústeres, dónde se encuentran cuatro tipos de asociaciones espaciales con respecto a su valor medio, es decir, dónde se encuentran los valores altos rodeados por valores altos, dónde los altos por bajos, dónde los bajos por altos y dónde los bajos por bajos.

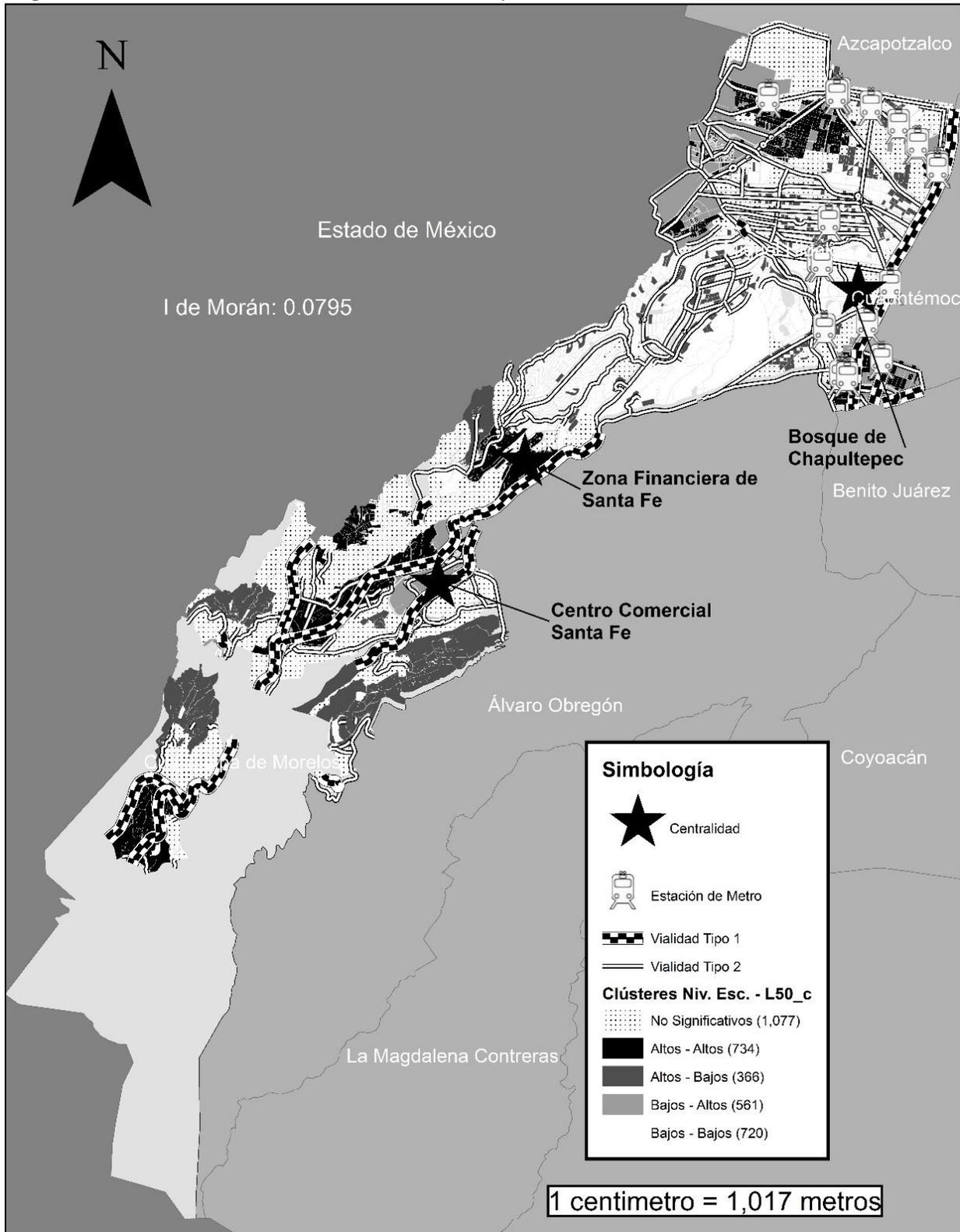
En los resultados del análisis *LISA* mostrados en el mapa 5 se puede observar la existencia de un número relativamente grande de unidades espaciales en las cuales la correlación entre las características socioeconómicas y la contaminación sonora no resultó estadísticamente significativa ($n=1,077$).

Desde la literatura sobre justicia ambiental se plantea la hipótesis de que la mala calidad ambiental se distribuye de forma desigual discriminando por nivel socioeconómico o grupo étnico, sin embargo, en esta investigación encontramos que aunque tal relación existe, ésta es débil. Sin embargo, la contribución del ejercicio consiste en la identificación en el espacio de los cuatro tipos de relación posibles.

En el clúster Altos – Altos se encuentran las manzanas más afectadas, es decir, aquellas que tienen tasas altas de población sin instrucción y se rodean de manzanas con altos niveles de ruido. Las manzanas de este tipo se encuentran en la DCM alrededor de la autopista México-Toluca y al norponiente de la DMH, entre las avenidas Río San Joaquín, Marina Nacional y Calzada Legaria, en colonias como Pensil, Legaria y Tacuba. En el clúster Altos – Bajos se encuentran las manzanas con una alta proporción de población sin instrucción rodeadas de bajos niveles de ruido. La mayoría de las manzanas de esta categoría se encuentran en la DCM aparentemente concentradas. En el clúster Bajos – Altos están las manzanas con bajos niveles de población sin instrucción y altos niveles de contaminación sonora, localizadas en las inmediaciones del Centro Comercial Santa Fe y al norponiente de la DMH. Finalmente, las manzanas del clúster Bajos – Bajos son las más favorecidas por sus bajas tasas de población sin instrucción y bajos niveles de contaminación sonora, que básicamente se encuentran al norte y al poniente del Bosque de Chapultepec en colonias como Lomas de Chapultepec, Lomas de Virreyes y Polanco.

Este mapa de exposición al ruido realizado a partir de los indicadores locales de asociación espacial puede tomarse como un punto de partida para discutir si la contaminación sonora discrimina por nivel socioeconómico en la CDMX y, por lo tanto, su pertinencia en las discusiones sobre justicia ambiental urbana.

Mapa 5. Relación entre las características socioeconómicas y la contaminación sonora



Fuente: Elaboración propia con base en German, Barrigón y Orozco (2010) y (Galloway, Eldred, & Simpson, 1974) e información de INEGI (2010).

En este capítulo se buscó sistematizar la importancia del ruido dadas las implicaciones negativas y multidimensionales que tiene para los seres humanos y otros seres vivos, así como sus unidades de medida y las metodologías utilizadas a nivel mundial para la elaboración de mapas de ruido.

Los efectos de la contaminación sonora requieren de una mirada interdisciplinaria: desde la física, para entenderla en tanto energía en distintas fases (emisión, propagación e inmisión) y sujeta a manipulación; desde la ecología y las ciencias ambientales, para entender y solventar los impactos que ésta conlleva sobre el bienestar humano y de otros seres vivos; desde la economía, para cuantificar en términos monetarios el impacto al bienestar de las externalidades negativas y; desde el enfoque integrador de los estudios urbanos con el que se le daría una explicación al fenómeno desde una dimensión socio-espacial constituida por los elementos que hacen a la ciudad.

El Índice de Ruido propuesto en este capítulo debe ser contextualizado desde las ventajas y las desventajas que tiene. Recapitulando, este índice que tiene dos componentes: uno que captura la presión sonora generada por el uso del automóvil estimada a partir de la densidad poblacional y otro que incorpora la presión sonora asociada a los distintos tipos de vialidades. Éste índice nos permite aproximarnos a los niveles de presión sonora de la actividad general de una población que utiliza el automóvil, internalizando la distancia a la que se encuentra de las vialidades y penalizando a las que se encuentran a una distancia de 300 metros de las vialidades del Tipo 1. Sin embargo, ésta medida de contaminación sonora no es sensible a las diferencias en los tipos de uso de suelo, ni al ruido generado en los puntos de conflicto vial. Éste índice de ruido tampoco refleja la distribución temporal de la contaminación sonora que tiene variaciones importantes tanto a lo largo del día como de la semana y del año.

Entender la distribución geográfica del ruido es importante en la medida que tiene impactos en el bienestar de los seres humanos de forma diferenciada. Ante esta variación geográfica de la contaminación sonora se tiene como resultado el impacto sobre población con distintas características que requiere también soluciones de distintos tipos para alcanzar la justicia ambiental. En el mapa de exposición sonora presentado en la última parte de éste capítulo se puede observar cómo existen clústeres de manzanas con bajos niveles socioeconómicos o altas tasas de población sin instrucción y altos niveles de ruido y otros clústeres de manzanas con nivel socioeconómico alto y bajos niveles de ruido, dando indicios de una redistribución injusta de la calidad del ambiente sonoro.

CAPÍTULO 3: MODELO DE PRECIOS HEDÓNICOS CON REGÍMENES ESPACIALES

Algunos de los costos sociales de la urbanización son las externalidades ambientales negativas que surgen de las actividades de producción, consumo y transporte. La economía ambiental ha hecho suya ésta preocupación, concibiendo al medio ambiente como un bien escaso e implementando metodologías para conocer la valoración económica del medio ambiente que hace una sociedad; como los Modelos de Precios Hedónicos (MPH), que internalizan las externalidades en el precio de la vivienda. La heterogeneidad en las características estructurales de la vivienda, la existencia de varias centralidades urbanas, la variación espacial de la calidad ambiental y la diversidad en las preferencias de los consumidores tienen como consecuencia la existencia de diferentes equilibrios en el mercado de la vivienda (Bourne, 1981; O'Sullivan, 1996; Goodman & Thibodeau, 2007), por lo que resulta más apropiado analizarlo como un conjunto de submercados en los que los atributos de la vivienda pueden ser valorados de forma distinta, tanto en sentido como en magnitud. En este contexto se investiga el impacto que tiene el ruido en el precio de la vivienda y se respalda la pertinencia de observar sus efectos segmentando el mercado bajo el argumento de que las estructuras de preferencias de los submercados no son homogéneas a lo largo de una ciudad, por lo que será posible encontrar submercados en los que el ruido se valore negativamente como aquellas zonas residenciales en las que se privilegia el descanso pero también donde se valore positivamente como aquellas en las que los consumidores siguen a las amenidades urbanas.

En el capítulo 3 se presenta un modelo microeconómico que pretende identificar la magnitud, el sentido y la significancia estadística de la internalización en el precio de la vivienda del ruido en los distintos sub-mercados. Para esto se utilizan una serie de predictores entre los que se encuentra el nivel de ruido y otros relacionados a las características estructurales de la vivienda, la localización y el vecindario.

En la sección 3.1. se hace una breve revisión de las teorías que explican el precio de la vivienda, así como de los resultados empíricos encontrados para la Ciudad de México. En la sección 3.2. se desarrolla el planteamiento de la economía ambiental sobre la posibilidad de observar, a través del precio de la vivienda, la valoración económica de la calidad del medio ambiente sonoro que hacen los consumidores. La sección 3.3. consiste en la implementación del modelo microeconómico de Precios Hedónicos (PH) con regímenes espaciales.

3.1. Factores que determinan el precio de la vivienda

En el marco teórico de la economía neoclásica los precios de las viviendas se pueden estimar de dos formas: a partir del equilibrio entre oferta y demanda o a partir de la descomposición del precio de las mismas. El último enfoque, que forma parte del instrumental metodológico de la nueva economía urbana, fue seleccionado para la realización de esta investigación.

Los orígenes de este enfoque se remontan hasta el modelo con el que Von Thünen (1826) buscaba explicar la localización de las actividades agrícolas. Este suponía un mercado puntiforme cuyo centro de consumo se encontraba en el centro geométrico de un espacio continuo, aislado y uniforme en términos de calidad de la tierra y en costos de transporte. La lógica central de la determinación de los precios del suelo es la renta económica, pues en ese mercado los productores buscan maximizar una función de beneficios restringida por los costos de transporte, es decir, por la distancia. En este modelo los cultivos más rentables se encontraban más cerca del centro y en la medida que se avanzaba hacia la periferia los menos rentables.

Esta idea cuyo origen fue el análisis del medio rural y agrícola, fue retomada por Wingo (1961) y Alonso (1964) para modelar la localización espacial de los hogares en el medio urbano. Se mantuvieron algunos de los supuestos de Von Thünen (1826), cuyo criterio de equilibrio era maximización de una función de beneficios del productor, como el de la ciudad monocéntrica, el de la renta locacional y el de un gradiente negativo del centro hacia la periferia. A diferencia del modelo anterior, el modelo de localización residencial de Alonso (1964) funciona a partir de la lógica maximizadora del consumidor, restringida por la distancia al DCN y el consumo de una determinada cantidad de tierra así como del resto de los bienes disponibles en el mercado de una ciudad. Posteriormente autores como Richardson (1977) incorporaron la existencia de gradientes positivos hacia la periferia debido a la existencia de externalidades urbanas y ambientales positivas, en la explicación del precio de la vivienda.

Para explicar el precio de la vivienda, a los desarrollos anteriores se le añaden otras propuestas que contribuyen principalmente a nivel metodológico, siendo las más relevantes la nueva teoría del consumo de Lancaster (1966) que consiste básicamente en que la utilidad de los bienes consumidos se deriva de los atributos del bien. Ello puede ser capturado por los MPH desarrollados por Rosen (1974) y Griliches (1961) que descomponen el precio de la vivienda en función de sus características, donde cada una de estas aporta una determinada utilidad marginal al consumidor. Esta aproximación caracterizada por permitir la estimación de los precios

implícitos de los atributos de los bienes y que no son comerciados en el mercado es la que se emplea en esta tesis.

Finalmente, bajo el supuesto de que la relación funcional entre el precio de la vivienda y sus características es distinta a lo largo del espacio, nos ceñimos a la propuesta teórica de que los precios de la vivienda se explican mejor considerando las variaciones territoriales en estos mercados, es decir, segmentando la ciudad en submercados: homogéneos al interior y heterogéneos entre sí, con distintas funciones hedónicas que revelan una estructura de preferencias similares en cada uno de ellos y sugieren un fuerte potencial de sustitución entre las viviendas que lo componen.

Uno de los supuestos elementales para abordar las características físicas de la vivienda es que las economías domésticas estarán dispuestas a intercambiar la cantidad de vivienda consumida por costos de transporte. Además de la cantidad de vivienda consumida es importante la calidad de la misma. En un análisis del mercado de vivienda de la Zona Metropolitana del Valle de México (Sobrino, 2014) se encontró que la calidad de la vivienda es más importante en la determinación del precio que la cantidad, a partir de un modelo construido con dos variables sobre las características físicas relacionadas con el tamaño (cantidad de baños y de luminarias) y cinco para aproximarse a la calidad (tipo de material de los muros, presencia de cocina, presencia de cisterna, independencia y edad de la vivienda), cuyos valores de los coeficientes fueron positivos. Los hallazgos fueron que el precio promedio de la vivienda incrementa un 29% cuando esta tiene un espacio especial para cocinar, 12% cuando cuenta con cisterna, 5% si tiene una habitación adicional, 6% por una luminaria más y .3% por cada año extra de antigüedad.

En otro estudio (Cruz, 2016) se desarrolló un MPH con una muestra de 872 viviendas ubicadas dentro del Distrito Federal y variables sobre las características físicas de la vivienda como el área en metros cuadrados, el número de baños y cinco variables dicotómicas, una para indicar si la vivienda contaba con terreno adicional al construido y las otras cuatro para distinguir el tipo de vivienda (ordenadas por calidad: social, media, residencial y residencial plus). Encontró que si la vivienda es del tipo residencial plus el precio aumenta un 83% por metro cuadrado adicional de construcción, 90% si es residencial un 63%, 3% por baño adicional y si es de categoría media un 31%, mientras que disminuye en un 23% si cuenta con terreno sin construir.

Además de las características físicas, en los MPH se han ido incorporando otros elementos como las amenidades urbanas y las externalidades ambientales. El interés por incorporar el

potencial explicativo de la calidad ambiental sonora en los precios de la vivienda se ha incrementado en la medida que lo han hecho otros problemas ambientales derivados de la urbanización. Como se vio en apartados anteriores, el ruido es uno de los contaminantes más importantes en zonas urbanas, que tiene impacto en la calidad de vida de forma multidimensional, afectando, por ejemplo, los niveles de bienestar económico a través de la depreciación de la vivienda.

3.2. Impacto del ruido en el precio de la vivienda

El estudio del impacto del ruido en los precios de la vivienda ha respondido principalmente a las necesidades analíticas de dos campos: el de la economía ambiental y el de la valuación inmobiliaria. Por un lado, en el primero, el interés radica en que es una medida del valor económico que tiene para una sociedad y en ese sentido una medida de bienestar. Por otro lado, en el segundo campo, el interés consiste en la composición del precio y en las elasticidades que tiene con respecto al precio y a otros atributos de la vivienda.

Se han utilizado ampliamente los MPH para estimar este impacto normalmente con tres conjuntos de variables independientes: uno con características de la vivienda, otro con medidas de localización en la ciudad y uno más con las características de esa localización. Los métodos para estimar los parámetros de regresión han sido principalmente mínimos cuadrados ordinarios y la regresión cuantílica espacial. Retomando estas aproximaciones, en esta investigación el ruido es la variable independiente de interés y el resto de las variables son las utilizadas tradicionalmente en MPH como variables de control.

En estudios pasados, la variable de ruido aparece bajo diferentes formas entre las que destacan: el Índice de Ruido de Tránsito (Griffiths & Langdon, 1968) el Nivel de Contaminación por Ruido (Robinson, 1971), Nivel de Exposición del Sonido, Nivel Equivalente Máximo, Nivel Equivalente Día-Noche, Nivel Equivalente Día-Tarde-Noche, Nivel Equivalente Noche, Nivel Equivalente Fin de Semana o Nivel Promedio de ruido. Otros trabajos (Walters, 1975) emplean el Índice de Depreciación por Ruido (NSDI) con el fin de hacer comparables los estudios sin importar la forma en que se midió el ruido:

$$NSDI = \frac{\text{Cambio en el valor de la propiedad}}{\text{Cambio en la exposición al ruido}}$$

En el cuadro 3 se muestran algunos estudios recientes en los que se ha utilizado la metodología de Precios Hedónicos (PH) para valorar los efectos negativos que el ruido del tráfico vial tiene sobre los precios de la vivienda.

Los valores del NSDI encontrados en la literatura desde 1985 hasta 2013 son diversos y en estos no se distingue por submercados, por lo que el impacto que se encuentra corresponde a una función hedónica homogénea para todo el mercado de vivienda. En la mayoría de los estudios se han encontrado impactos negativos, yendo de -2.20 a -.20, donde el mayor de ellos corresponde a las zonas suburbanas de Israel (Marmolejo, 2008). Sin embargo, también se han identificado resultados en el sentido opuesto, como en la ciudad de San Nicolás de los Garza, N.L., México donde el impacto fue positivo, aunque pequeño (Fitch, 2010).

Cuadro 3. Estudios de precios hedónicos que involucran la pérdida del valor de la propiedad derivado del ruido de tráfico vial.

Fuente	Año del estudio	Área de estudio	NSDI
Norteamérica			
<i>México</i>			
Osuna, et al., 2013		San Nicolás de los Garza, N.L.	0.08
Suramérica			
<i>Chile</i>			
Aguirre y Ramos, 2005 ^o		Santiago (Nellthorp, Bristow, & Day, 2007)	-1.30
Europa			
<i>Dinamarca</i>			
Bue-Bjørner et al. 2003 ^β	2002	Copenhague – Departamentos	-0.49
Damgaard, 2003 ^β	1982-2001	Copenhague – Grandes carreteras	-1.20
		Copenhague – Autopistas	-1.60
Rich & Nielsen, 2004 ^{+¥}	2000	Copenhague – Casas	-0.54
	2000	Copenhague – Departamentos	-0.47
<i>Escocia</i>			
Lake et al. 2000 ^{¥+}		Glasgow	-0.20
<i>Holanda</i>			
Theebe, 2004 [¥]		Oeste de Holanda	-0.3 a -0.5
<i>Reino Unido</i>			
Bateman et al. 2001 ^β	1986	Glasgow	-0.20
Bateman et al. 2004 ^β	1997	Birmingham	-0.55
	1997	Birmingham	-0.67
<i>Suecia</i>			

Wilhelmsson, 2000 ^{¥+}	1986-95	Estocolmo	-0.60
Andersson et al., 2010 ^{¥β}	1996-2006	Lerum (Gothenburg)	-1.15 -1.17 (50) [†] -1.68-1.69 (55)
<i>Suiza</i>			
Baranzini & Ramírez, 2005 ^β	2001	Ginebra - Renta	-1.10
Salvi, 2008 ^β	1995-2007	Zúrich	-0.82
Asia			
<i>Corea del Sur</i>			
Kwang, Sung & i Young-J, 2007 [°]		Seúl	-1.30
<i>Israel</i>			
Becker & Lavee, 2003 [°]		Zonas urbanas	-1.20
		Zonas suburbanas	-2.20

⁺ Recuperado de Nellthrop, Bristow, y Day (2007).

[¥] Recuperado de Bristow (2010).

^β Recuperado de Navrud y Strand (2011).

[°] Recuperado de Marmolejo (2008).

[†] Umbrales.

Los impactos negativos del ruido en el precio de la vivienda responden a la pérdida de bienestar que los consumidores experimentan ante su exposición. Como contaminante, el ruido implica una pérdida de bienestar por cambios en el medio ambiente que puede ser fisiológica, como el daño a la audición o al sistema cardiovascular; psicológica, como la molestia o la interrupción del sueño o; social, como la interrupción de la comunicación (Nelson, 1987 en Ouis, 2002). Los impactos psicológicos y sociales podrán depender de factores perceptuales y culturales (Botteldooren, Coensel, Van Renterghem, Dekoninck, & Gillis, 2008), que aunados a su carácter multidimensional resultarán en variaciones en la respuesta de los grupos sociales frente a este contaminante. En consecuencia, los distintos equilibrios del precio de la vivienda en los submercados reflejarán la valoración económica de la pérdida de bienestar debida al ruido o incluso la valoración positiva asociada al bienestar derivado del consumo de las fuentes emisoras; en otras palabras, la estructura de preferencias de los diferentes grupos demandantes de vivienda será distinta a lo largo de la ciudad y; dependerá de sus características socioeconómicas, es decir que, a algunos hogares les afectará más que a otros según sus características socioeconómicas y las actividades de producción, consumo y transporte relacionadas.

3.3. Modelo de Precios Hedónicos de la vivienda con regímenes espaciales

En esta sección se presenta el modelo micro-económico que tiene como variable dependiente al precio de la vivienda y como independientes al Índice de Ruido (L50_c) y a otras variables de control. Primero se presenta la operacionalización de las variables y, posteriormente, se realiza un Análisis Exploratorio Espacial para explorar los fenómenos espaciales de autocorrelación y heterogeneidad, cuya finalidad es segmentar el mercado de vivienda y utilizar la técnica de regímenes espaciales para probar la inestabilidad estructural del impacto del ruido en los precios de los inmuebles; es decir, para examinar si el ruido tiene un efecto distinto en los diversos submercados.

3.3.1. Indicadores utilizados

La base de datos utilizada es parte del archivo cartográfico y digital de la Secretaría de Finanzas del Distrito Federal que contiene 3,911 archivos catastrales digitales con capas con información de los precios del suelo y la vivienda en la ciudad generada a partir de las transacciones inmobiliarias registradas ante notario entre 2001 y 2008 (SINOVA³⁰). Ésta contiene una serie de variables que dan cuenta de la ubicación puntual de cada transacción y las características físicas de la vivienda tanto de cantidad como de calidad. La georeferenciación (punto con coordenadas x,y)³¹ permitió asociar a cada transacción características del nivel de ruido en el área circundante, así como del vecindario donde se encuentra, tal y como se describe a continuación. Para este ejercicio se trabajaron con los datos pertenecientes a las delegaciones de Cuajimalpa de Morelos y Miguel Hidalgo, para los años 2006-2008. La limpieza de la base de datos consistió en la eliminación de valores duplicados, valores faltantes, ceros en las variables precios y superficie y valores extremos que se consideraron errores de captura. Con lo que la base de datos se redujo de 16,179 a 8,139 transacciones inmobiliarias registradas ante notario entre el 2006 y el 2008.

Las variables utilizadas en el MPH son:

- **Precio por metro cuadrado.** Se utilizan precios del 2006, 2007 y 2008 deflactados al año base 2003 (Valor_b03)³². La variable está contenida en la base de datos presentada en el

³⁰ Sistema de notarios y valuadores.

³¹ El Sistema de Referencia de Coordenadas de la capa utilizado es el WGS84 zona 14N.

³² Los factores utilizados para deflactarlos fueron .83, .81 y .73, respectivamente.

párrafo anterior. Para la regresión se utiliza la transformación logarítmica de la variable (Log_valor)³³.

- **Año** (A_2006, A_2007, A_2008). El año de cada observación está diferenciado mediante una variable dicotómica que tiene el valor de 1 en el año al que corresponde y de 0 si es de otro año. Se toma el año 2006 como referencia, por lo que sólo se corren las variables dicotómicas para 2007 y 2008. La variable está contenida en la base de datos de la que se extrajeron las variables de coordenadas y precio por metro cuadrado.
- **Superficie** (C_supcat1, C_supcat2, C_supcat3, C_supcat4). El valor de la superficie del terreno de la transacción inmobiliaria está expresado en metros cuadrados e igual que la anterior es una variable categórica que asume valores de 1 y 0. Se dividieron los valores de la variable en cuatro rangos; c_supcat1, que va de .07 a 98 y es tomada como categoría de referencia; c_supcat2, de 99.15 a 198.92; c_supcat3, de 199.24 a 599 y c_supcat4 de 600 a 9,917.35 metros cuadrados.
- **Clase** (Clase_b, Clase_mb, Clase_m, Clase_ma, Clase_a). Esta variable da cuenta de la calidad de la vivienda. Como las dos anteriores también esta es categórica. La vivienda puede ser de clase baja, que es tomada como categoría de referencia, media-baja, media, media alta y alta según el corredor de valor al que pertenecen.
- **Localización** (Localiza). Es una variable continua cuyo valor es la menor distancia a cualquiera de las tres centralidades de la zona estudiada: el Bosque de Chapultepec, la Zona Financiera de Santa Fe o el Centro Comercial Santa Fe.
- **Segregación socioeconómica** (Ql_e16ymas). El valor de las variables es el coeficiente de localización (Ql) por AGEB de la cantidad de los jefes del hogar que tienen una educación que en promedio supera los 16 años tomando como referencia la cantidad total de los jefes del hogar que hay en el AGEB.
- **Amenidades urbanas** (Sect7172). Se elaboró un buffer de 500 metros para cada observación y se le imputó el valor del número de negocios de los sectores económicos definidos por el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 71 (servicios de esparcimiento, culturales y deportivos, y otros servicios recreativos) y 72 (servicios de

³³ La variable dependiente se transformó a logaritmo natural para facilitar la interpretación al ser leídos en términos de diferencias proporcionales: con un coeficiente de 0.09, la diferencia de 1 en el eje de la x corresponde a aproximadamente una diferencia de 9% en el eje de la y .

alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas) que se encuentran disponibles para su consulta en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) con fecha de registro en el sistema de 2010.

- **Áreas verdes (A_verde)** Es el tamaño en metros cuadrados del área verde más cercana a cada transacción. Los polígonos de las áreas verdes utilizados corresponden al marco geoestadístico de INEGI 2010.
- **Índice de Ruido (L50_c).** El valor de esta variable es la suma logarítmica del ruido asociado a la densidad poblacional y a las vialidades.

$$L50_c = L50_p + L50_v$$

$L50_p$ → La transacción asume el valor de ruido calculado a partir de la densidad poblacional asociado a la manzana sobre la que se encuentra o el de la más cercana.

$L50_v$ → Las transacciones que se encuentran a una distancia igual o menor que 300 metros de las vialidades del Tipo 1 asumen el valor de ruido asociado a ese tipo. Cuando las transacciones se encuentran a más de 300 metros de distancia de las vialidades del Tipo 1, asumen el valor de la vialidad más cercana.

En el cuadro 4 se muestran los estadísticos descriptivos de los indicadores utilizados en el MPH.

Cuadro 2. Descriptivos de las variables del Modelo de Precios Hedónicos

Variable	Número de Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Precio por m ²	8,139	155.8	89,640.0	6,822.6	4,204.4
Año 2006	1,663				
Año 2007	3,495				
Año 2008	2,981				
Superficie					
.07 a 98 m ²	3,919				
99.15 a 198.92 m ²	538				
199.24 a 599 m ²	1,834				
600 a 9,917.35 m ²	1,844				
Clase baja	445				
Clase media baja	2,002				
Clase media	2,561				
Clase media alta	1,956				
Clase alta	1,175				

Localización	8,139	142.7	7,067.8	2,572.9	1,069.9
Segregación socioeconómica	8,139	0	5.6	2.9	1.3
Amenidades urbanas	8,139	0	285	91.1	53.7
Áreas verdes	8,139	230.8	460,277	22,767.4	45,598.2
Índice de Ruido	8,139	52.0	74.4	66.2	3.4

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Segmentación espacial del mercado de vivienda en submercados

Los conceptos de submercado de vivienda y vecindario pueden llegar a confundirse ya que ambos hacen alusión a un subconjunto definido por la homogeneidad de ciertas características de las viviendas. Los vecindarios tienen un componente cualitativo en su definición, (Megbolugbe, Hoek-Smit, & Linneman, 1996) los entiende como unidades que son áreas homogéneas en el que sus residencias son sustitutos cercanos por los símbolos de identidad o cohesión social que les representan a los consumidores. Según Grigsby (1963) los submercados se caracterizan porque las viviendas que conforman a cada uno de ellos podrían ser bienes sustitutos (cercanos) por sus características físicas o por sus precios, pero no entre submercados. Aquí se utilizan ambos términos de forma diferenciada, reservando la definición de vecindario cuando se habla de las características que tiene el submercado y este último cuando se habla de las diferentes funciones hedónicas de equilibrio del mercado de vivienda.

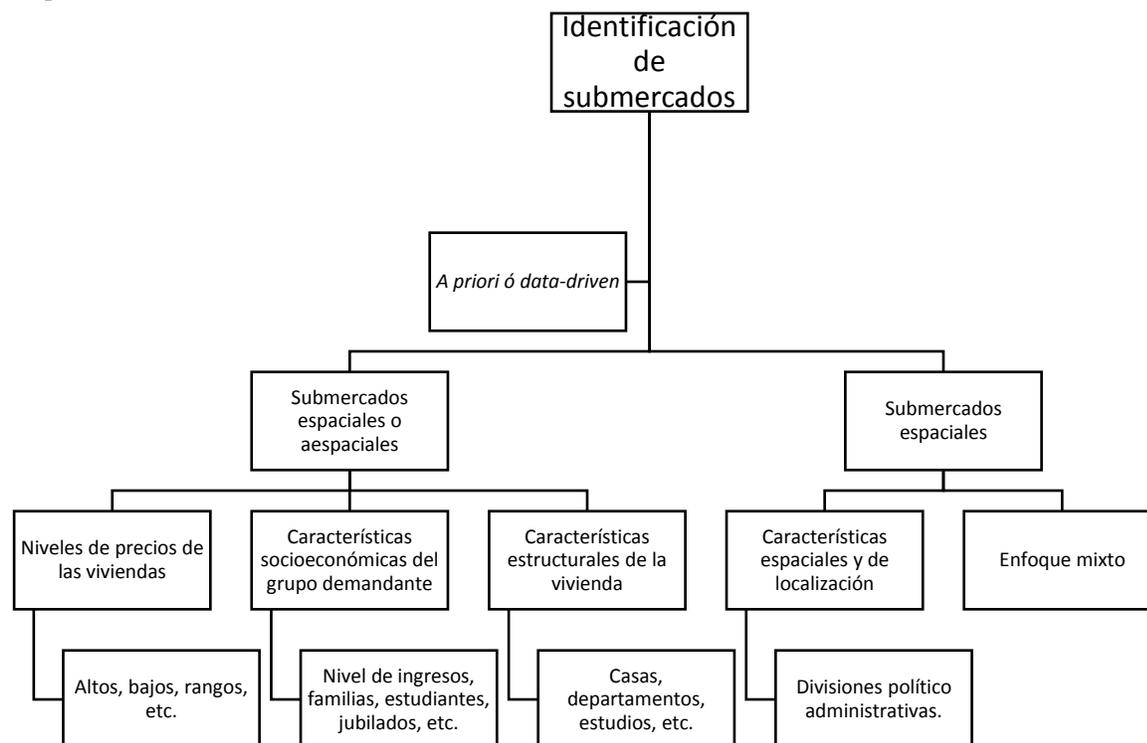
Según O'Sullivan (1996: 380) la heterogeneidad de la oferta provoca que el mercado de vivienda se estructure en submercados relacionados entre sí y de distintos tipos, ya que estos pueden ser delimitados de acuerdo al tamaño, localización y calidad de las construcciones. El supuesto central para definir a los submercados de vivienda es que a nivel de zona metropolitana las viviendas de cada grupo podrían ser considerados sustitutos cercanos para los compradores potenciales (Grigsby, 1963). Por lo tanto, las funciones de PH reflejarán que las estructuras de las preferencias de los consumidores son similares al interior de cada submercado pero diferentes entre submercados (Watkins, 2001).

No existe un consenso sobre la mejor forma de realizar la segmentación del mercado de vivienda. La definición de los submercados puede ser espacial o aespacial y estos delimitados *a priori* (basados en el conocimiento de agentes inmobiliarios) o conducidos por los datos (*data-driven*) (Wu & Sharma, 2012). Se han utilizado principalmente tres enfoques para delimitar los

submercados urbanos de vivienda: el enfoque jerárquico, el uso de componentes principales y análisis de clústeres y los métodos basados en la consulta a expertos (Keskin & Watkins, 2016).

Las perspectivas aespaciales consisten en la segmentación del mercado de vivienda de una ciudad independientemente de su localización, a partir de la homogeneidad en los precios de grupos de viviendas (Sobrino, 2014), de la homogeneidad en las características estructurales de la vivienda o del grupo demandante. Por un lado, se ha encontrado que el mercado de vivienda de una ciudad puede ser mejor analizado si se descompone en sub-mercados interrelacionados que si se analiza como un único mercado (Watkins, 2001), por otro lado, que se llegan a mejores estimaciones si se consideran las determinantes espaciales y se deja que los datos hablen, en este sentido un estudio para el mercado de vivienda de la ciudad de Milwaukee (Wu & Sharma, 2012) comparó el desempeño de la segmentación realizada (en términos del grado de sustituibilidad, de la integridad espacial y de la similitud al interior) con distintos métodos (*data-driven* aespacial y *a-priori* espacial y aespacial), encontrando que la mejor clasificación era aquella realizada mediante la propuesta metodológica de carácter espacial y conducida por los datos (*data-driven*), ya que los resultados no comprometían la precisión de los MPH ni la homogeneidad de los atributos de las viviendas en los submercados.

Esquema 2. Identificación de submercados



Fuente: Elaboración propia.

En esta investigación se reconoce la importancia de las determinantes geográficas en los mercados urbanos, por lo que se propone una definición espacial de los submercados y se asume que las viviendas con características estructurales y de niveles de accesibilidad a centros de consumo y empleo similares no se localizan aleatoriamente en el espacio, sino que lo hacen de forma sistemática, permitiendo la identificación de patrones espaciales. Goodman y Thibodeau (2007) argumentan que los compradores de vivienda no necesariamente limitarán la búsqueda a una zona geográfica aunque sí es altamente probable que lo hagan ya que estarán buscando determinadas características derivadas de la localización.

Recientemente las innovaciones en las tecnologías de la información han permitido la implementación de otras técnicas para la segmentación de los mercados de vivienda como el análisis de clústeres (Bourassa, Hamelink, & MacGregor, 1999) y los Análisis Exploratorios de Datos Espaciales (AEDE) con Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Tu, Sun, & Yu, 2007) demostrándose que los tamaños de los agrupamientos homogéneos en el mercado dependen de

factores estructurales como la infraestructura, por lo que la necesidad de incorporar elementos que están fuertemente relacionados con esta localización ventajosa requiere de un análisis espacial (Manganelli, Pontrandolfi, Azzato, & Murgante, 2014).

En la siguiente sección se presentan las dos técnicas que se implementaron para la delimitación de los sub-mercados y que forman parte de un conjunto más amplio de técnicas propias del análisis espacial que permiten la identificación y sistematización del comportamiento de los fenómenos en el territorio conocido como AEDE: el cálculo de indicadores locales de asociación espacial³⁴ y la regresión geográficamente ponderada³⁵.

3.3.3. Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE)

En esta sección se realiza un AEDE con el objetivo de conocer a nivel descriptivo cómo se distribuyen en el espacio la variable dependiente y las independientes de interés. Mediante un AEDE potencializado con SIG es posible conocer la existencia de auto-correlación y heterogeneidad espacial. Según Anselin (1999, en Chasco, 2003) el AEDE es:

El conjunto de técnicas que describen y visualizan las distribuciones espaciales, identifican las localizaciones atípicas o atípicos espaciales (outliers), descubren esquemas de asociación espacial, agrupamientos (clusters) o puntos calientes (hot spots) y sugieren estructuras espaciales u otras formas de heterogeneidad espacial.

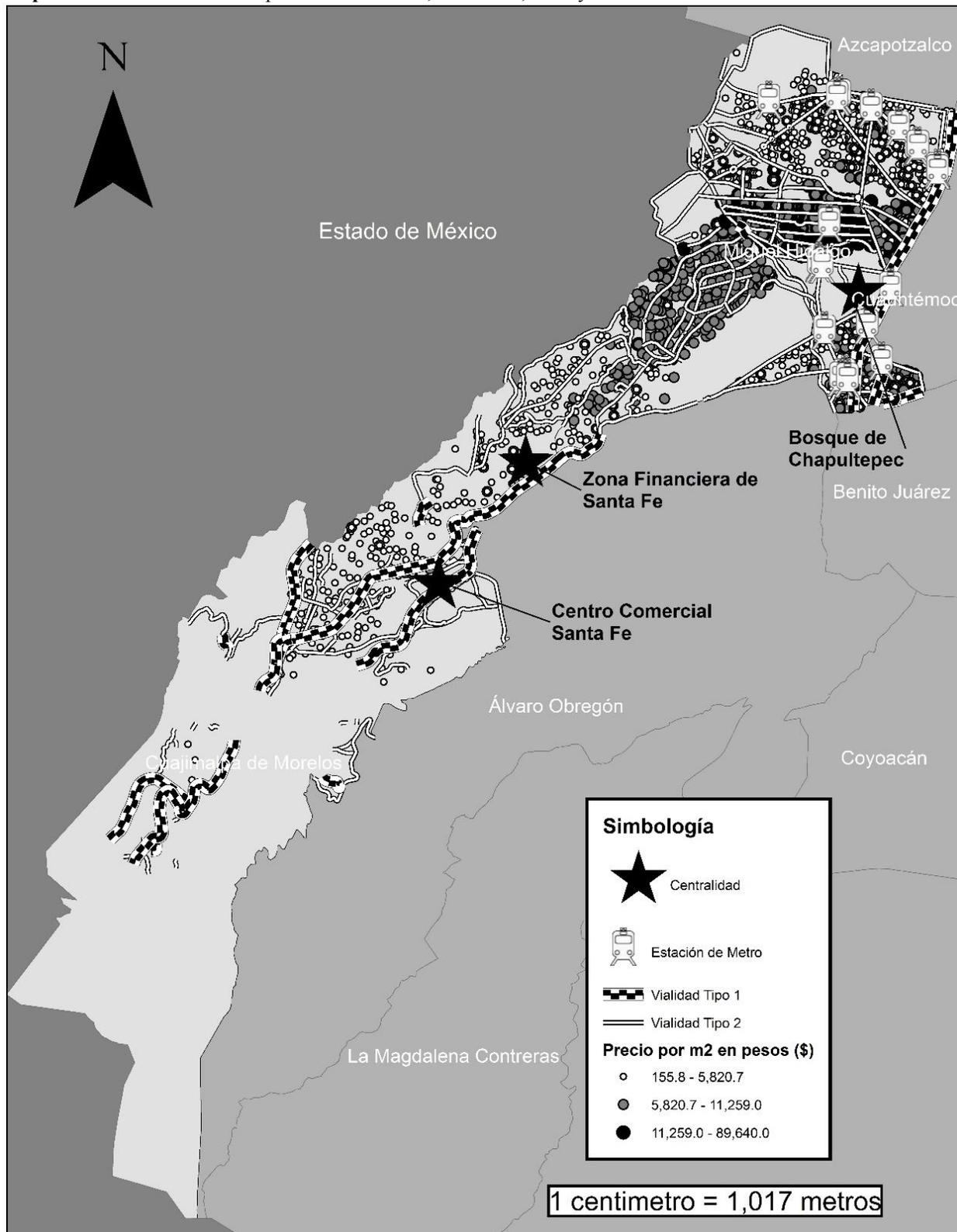
Los mapas 6 y 7 son la representación de la distribución espacial de los precios por metro cuadrado de las transacciones inmobiliarias y del valor del índice de ruido que le corresponde.

En el mapa 6 se aprecia que los precios más bajos se encuentran al sur de Cuajimalpa de Morelos y comienzan a incrementarse en la medida que se avanza hacia el norte, desde el sur de la delegación Miguel Hidalgo, después de la Zona Financiera de Santa Fe, y alcanzan sus valores más altos en la zona de Polanco. Los precios de la vivienda se presentan en tres grupos (\$155.8 - \$5,820.7, 5,820.7 - 11,259.0 y \$11,259.0 – 89,640.0). Las propiedades del rango de precios más bajo se ubican predominantemente en la delegación de Cuajimalpa y en la colindancia con Azcapotzalco, al norte de la Miguel Hidalgo. Alrededor del Bosque de Chapultepec los precios son de distintos niveles: al poniente, son de nivel medio con algunos eventos de nivel alto; al norte, son principalmente de nivel alto con algunos de nivel medio y; al oriente, existe una concurrencia de los tres niveles.

³⁴ *LISA*, por sus siglas en inglés.

³⁵ *GWR*, por sus siglas en inglés.

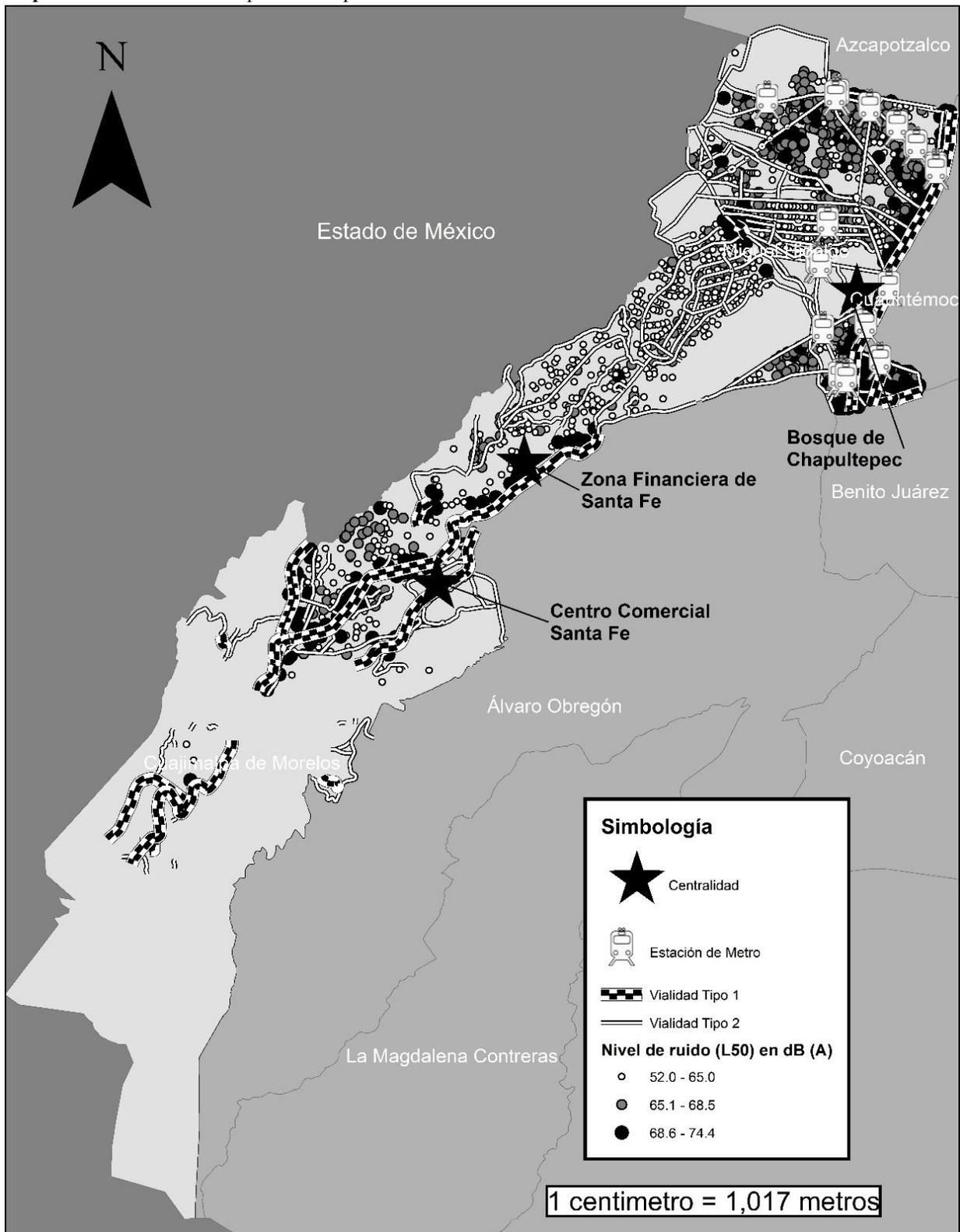
Mapa 6. Precios de la vivienda por metro cuadrado, años 2006, 2007 y 2008



Fuente: Elaboración propia

En el mapa 7 se despliega la distribución espacial de los niveles de ruido a los que están expuestas las observaciones. La mayoría (60.7%) de ellas están expuestas a niveles que superan los 65 dB (A) establecidos como máximos permisibles y básicamente se encuentran cerca de las vialidades del Tipo 1, que son las más ruidosas. Del 49.3% restante, únicamente el .2% goza de una buena calidad ambiental sonora en términos de lo recomendado por la OMS. Los niveles de contaminación sonora aceptables están localizados principalmente en la delegación Miguel Hidalgo, en el corredor que inicia en el norte de Cuajimalpa de Morelos y termina en Polanco, rodeando por el poniente al Bosque de Chapultepec, pasando por las colonias Lomas de Reforma, Lomas de Virreyes y Lomas de Chapultepec, características por ser de nivel socioeconómico alto.

Mapa 7. Niveles de ruido al que están expuestas las viviendas



Fuente: Elaboración propia.

Los MPH tradicionales no incorporan el factor espacial como variable explicativa, lo cual dificulta que los coeficientes de regresión sean MELI (Mejores Estimadores Lineales e Insesgados). Según Anselin (1988) existen dos efectos espaciales que afectan al precio de la vivienda y suelen aparecer de forma conjunta afectando negativamente la eficiencia y consistencia de los estimadores de MCO: la dependencia y la heterogeneidad espacial. El primero se refiere a la relación funcional entre observaciones y el segundo a la heteroscedasticidad espacial y a la variación espacial de los parámetros.

De acuerdo con Baumont (2004) los MPH son impactados por los efectos espaciales principalmente en tres sentidos:

1. Al ser la vivienda un bien fijo y durable, sus valores estarán auto-correlacionados espacialmente ya que el precio estará en función de la distancia a la que se encuentre de alguna centralidad, por ejemplo, este será mayor en la medida que se acerca al DCN y menor en la periferia. Además, el sector inmobiliario capitalizará tanto las amenidades del vecindario como las características de localización, reflejándose en el precio. Por otro lado, los precios tenderán a auto-correlacionarse espacialmente debido a que normalmente los conjuntos de viviendas cercanas son construidos en la misma época y por lo tanto tienden a tener características estructurales similares.
2. Los efectos marginales de las características de la vivienda sobre su precio son distintos entre distintas áreas geográficas debido a diferencias en las estructuras de las preferencias de los consumidores, efecto conocido como heterogeneidad espacial que puede verificarse cuando los coeficientes de regresión de los sub-mercados son distintos. Por ejemplo, se esperarían variaciones en los coeficientes en la medida que los sub-mercados se alejan del DCN o se acercan a otras centralidades o elementos urbanísticos.
3. Existen variables omitidas y que tienen lugar en el espacio e impactan en el precio de la vivienda como la criminalidad, la composición étnica y racial o la calidad de los servicios públicos y cuyos efectos difícilmente son incorporados en los modelos.

En las próximas secciones se desarrolla la explicación y la aplicación de dos técnicas que permiten detectar los efectos espaciales mencionados: la estimación de indicadores globales y

locales de asociación espacial (*I* de Morán y *LISA*) y de los coeficientes locales para cada observación mediante una regresión geográficamente ponderada (*GWR*).

3.3.4. Dependencia espacial

Como se mencionó anteriormente, en los mercados de vivienda es frecuente la existencia de un efecto espacial conocido como dependencia espacial, auto-correlación espacial o efecto de adyacencia y que puede ser definido como “la existencia de una relación funcional entre un punto dado en el espacio y lo que ocurre en cualquier otro”, cuyas causas se identifican en la existencia de errores de medida en unidades espaciales contiguas y la existencia de fenómenos de interacción espacial como: efectos de difusión (*spillover effects*), de transferencia, procesos de dispersión, interacciones, externalidades, jerarquías, etc. (Anselin, 1988 en Pérez, 2006).

Elhorst (2014) describe tres tipos de efectos de interacción que explican la dependencia entre observaciones: los efectos de interacción endógena, donde las variables dependientes de dos observaciones se relacionan entre sí; los efectos de interacción exógena, donde las variables dependientes e independientes de dos observaciones están relacionadas y aquellos efectos relacionados a la dependencia entre los términos de error de dos observaciones distintas. Este efecto conocido en la literatura sobre los submercados de vivienda como “efecto adyacencia” se explica con la tendencia de los agentes inmobiliarios a fijar el precio de las propiedades tomando como referencia los precios de las viviendas cercanas, el segundo hace referencia a las externalidades del vecindario y el tercero a las variables omitidas.

Existen dos tipos de indicadores utilizados para medir la autocorrelación espacial, uno a nivel global conocido en la literatura como I y su versión local conocidos en la literatura como clústeres *LISA* que permiten si existen concentraciones espaciales y dónde se encuentran.

El Índice de Morán (*I* de Morán) se expresa formalmente como (Anselin, 1995):

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2}$$

donde:

z_i es la desviación de algún atributo para alguna característica i con respecto a su media,

$w_{i,j}$ es el peso espacial entre el elemento i y j ,

n es igual al número total de elementos y,

S_0 es el agregado de todos los pesos espaciales.

La hipótesis nula de la I es que la variable analizada se distribuye de forma aleatoria en el espacio y puede tomar valores entre -1 y 1.

La interpretación de una I de Morán positiva es que los valores superiores a la media se encuentran rodeados de otros valores también superiores a la media, una I de Morán alta significa que existe concentración de los datos en el territorio mientras que un valor bajo de este indicador da cuenta de su dispersión o falta de autocorrelación espacial.

Los indicadores locales de asociación espacial (*LISA*) capturan tanto el grado de asociación como de heterogeneidad espacial. La I de Morán Local se expresa matemáticamente como (Anselin, 1995):

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} (x_j - \bar{X})$$

donde:

x_i es un atributo del elemento i ,

\bar{X} es la media del atributo correspondiente,

$w_{i,j}$ es el peso espacial entre los elementos i y j y,

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{X})^2}{n - 1}$$

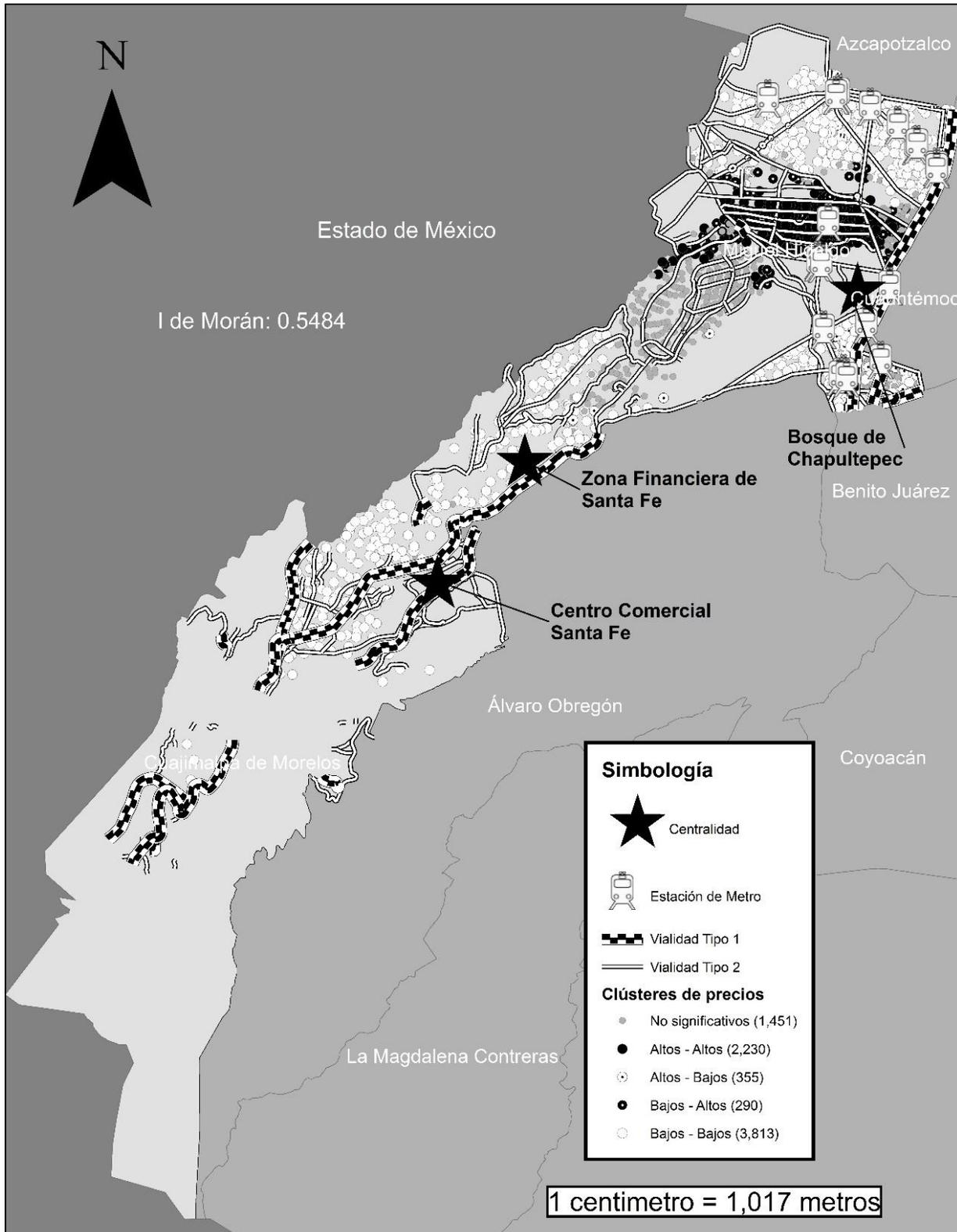
Los indicadores locales de auto correlación espacial que resultan significativos son clasificados en clústeres de valores similares (altos con altos y bajos con bajos) o atípicos (altos con bajos y bajos con altos) permitiendo identificar la heterogeneidad espacial sin llegar a un nivel confirmatorio.

Los conceptos de dependencia espacial y submercados de vivienda están estrechamente vinculados mediante la idea de sustituibilidad. Pues aquellas viviendas cuyos precios se encuentran autocorrelacionados espacialmente serán sustitutos principalmente vía precios pero también tenderán a tener características y precios implícitos similares. Los clústeres *LISA* nos permiten conocer dónde se encuentran distintos agrupamientos de viviendas cuyos precios son similares al interior del grupo y diferentes entre grupos.

En el mapa 8 se muestra un alto grado de auto-correlación espacial global cuyo *I de Morán* de 0.5484 es significativo con un valor de *Z* de 152.9, por lo que se puede decir que los precios de la vivienda no se distribuyen ni aleatoriamente ni de forma dispersa, sino que tienden a agruparse espacialmente.

La localización de las concentraciones se identificó mediante un análisis *LISA*, con lo que se hace evidente la existencia de principalmente dos tipos de clústeres: un tipo donde las viviendas de precios altos están rodeadas por otras viviendas de precios altos (2,230) y otro donde las viviendas de precios bajos están rodeadas de precios bajos (3,813). Básicamente existe un clúster del primer tipo (Altos – Altos) que se encuentra bordeando por el norte al Bosque de Chapultepec, en la zona de Polanco. Del segundo tipo (Bajos – Bajos) existen tres clústeres: uno a lo largo de toda la delegación de Cuajimalpa de Morelos, otro al oriente del Bosque de Chapultepec donde se encuentran colonias como Tacubaya, Observatorio, Escandón y San Miguel Chapultepec y uno más que se extiende desde donde termina el clúster de precios altos de Polanco y llega hasta la colindancia con la delegación de Azcapotzalco. Las viviendas del clúster de precios Altos - Bajos (355) están localizadas principalmente al oriente del Bosque de Chapultepec, en concurrencia con el segundo clúster de precios bajos mencionado, mientras que las correspondientes al de precios Bajos - Altos (290) están principalmente alrededor de Polanco. Las observaciones que estadísticamente no pueden ser clasificadas en ninguno de los clústeres son 1,451 y representan el 17.5% del total se localizan al poniente del Bosque de Chapultepec.

Mapa 8. Análisis de indicadores locales de autocorrelación espacial (LISA) de los precios de la vivienda

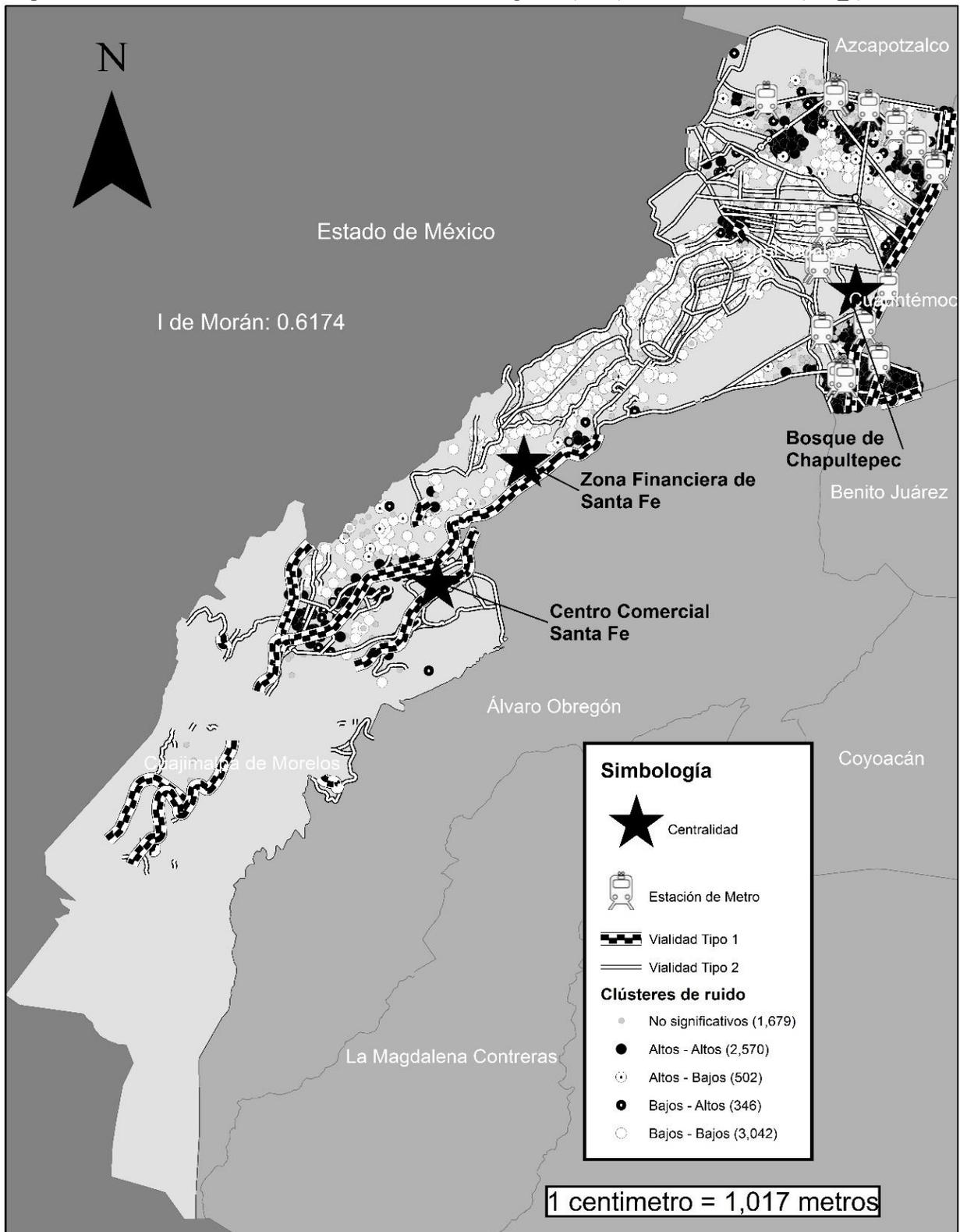


Fuente: Elaboración propia.

En el mapa 9 se muestra el valor del I para los niveles de ruido al que están expuestas las viviendas de la muestra y su descomposición y ubicación en el territorio de los clústeres estimados con el análisis *LISA*. El indicador global de la autocorrelación espacial (0.6174) de los niveles de ruido es significativo con un valor Z de 359.9, por lo que puede decirse que los niveles de ruido al que están expuestas las viviendas se concentran en el espacio.

El dónde de las concentraciones se determina con el cálculo de los clústeres *LISA* para el Índice de Ruido, en el mapa 9 se observa que la mayoría de las observaciones pueden clasificarse en alguno de los cuatro clústeres con significancia estadística pero no un 20.6%. Las viviendas expuestas a altos niveles de ruido rodeadas de otras viviendas con esta misma característica (clúster Altos – Altos) se encuentran en torno a las vialidades del Tipo 1 y alrededor de las estaciones de Metro, tanto los límites con la delegación Cuauthémoc, en colonias como la Escandón y Tacubaya como al norte de la DMH, en colonias como Tacuba, Popotla y Anáhuac. Las viviendas expuestas a bajos niveles de ruido y rodeadas por viviendas con valores similares son las que conforman el clúster más grande (clúster Bajos – Bajos) se extienden desde el sur de Cuajimalpa y llegan hasta el norte, bordeando al Bosque de Chapultepec en mayor medida por el poniente y por el norte, y ligeramente por el oriente. Los otros dos clústeres (Altos-Bajos, 502 y Bajos – Altos, 346) están dispersos a lo largo del territorio.

Mapa 9. Análisis de indicadores locales de autocorrelación espacial (*LISA*) del Índice de Ruido (*L50_c*)

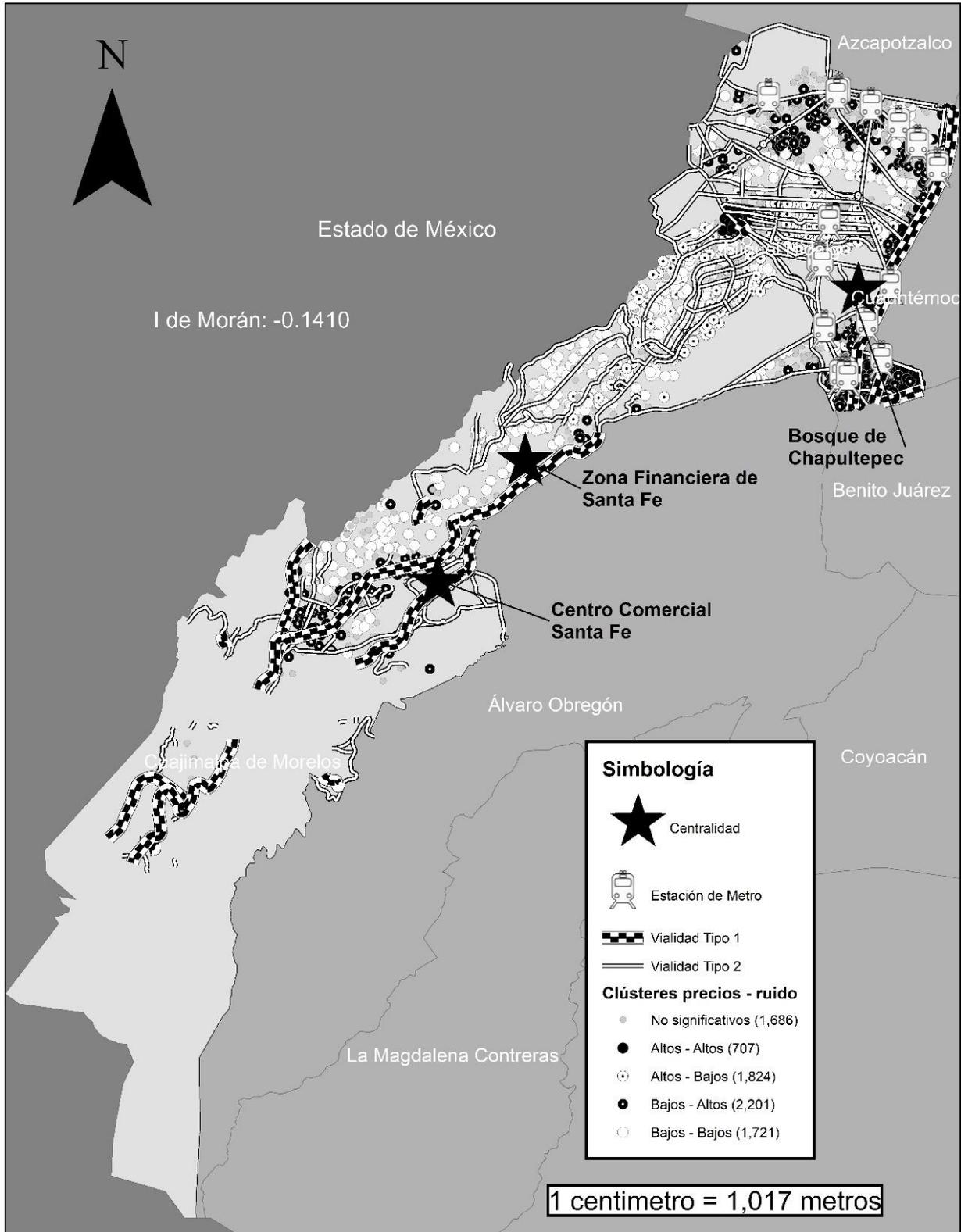


Fuente: Elaboración propia.

Además de los indicadores de asociación espacial global y local univariados se calculó un *LISA* bivariado para los precios de la vivienda y el índice de ruido. El valor del indicador *I de Morán* -0.1410 (véase mapa 10) es significativo con un valor *Z* de -80.45, cuya interpretación es que existe una relación negativa entre ambas variables, aunque la asociación no es fuerte.

El análisis *LISA* sugiere que el clúster más pequeño es el de las viviendas de precios altos rodeadas por altos niveles de ruido; las viviendas (707) que lo conforman se encuentran principalmente entre Lomas de Chapultepec y Polanco (a la altura de Periférico) y los límites de la delegación Miguel Hidalgo y Cuauhtémoc. Las viviendas del clúster de precios altos rodeadas de viviendas con niveles de ruido altos (1,824) se encuentran principalmente al poniente y al norte del Bosque de Chapultepec, en colonias como Lomas Virreyes, Lomas de Chapultepec y Polanco. El clúster más grande es el de las viviendas de precios bajos rodeadas de niveles de ruido altos (2,201), estas se encuentran agrupadas en el sur de Cuajimalpa, cerca del Centro Comercial Santa Fe y de las vías del Tipo 1, la carretera México-Toluca y la autopista México-Marquesa ; al norte de la delegación Miguel Hidalgo y al poniente del Bosque de Chapultepec. Las viviendas que pertenecen al clúster Bajos – Bajos (1,721) se distribuyen principalmente en un corredor que inicia en el sur de Cuajimalpa, a la altura del Centro Comercial Santa Fe y termina donde comienza el Bosque de Chapultepec; aunque otras viviendas similares se encuentran al norte de la avenida Río San Joaquín, en colonias como la Pensil.

Mapa 10. Análisis de indicadores locales de autocorrelación espacial (*LISA*) bivariado de los precios de la vivienda y el Índice de Ruido



Fuente: Elaboración propia.

3.3.5. Heterogeneidad espacial

La heterogeneidad espacial es un efecto que consiste en la variación de los determinantes de un fenómeno a lo largo del territorio y/o en las diferencias de la magnitud del impacto de tales determinantes. La heterogeneidad espacial puede ser definida como la inestabilidad estructural en forma de varianza no constante de los residuos de una regresión o en los coeficientes del modelo y que resulta pertinente analizar con técnicas de econometría espacial ya que permiten determinar la forma de la variabilidad y brindan la posibilidad de separarla de la auto-correlación espacial que a menudo aparecen de manera conjunta (Coro, 2004).

Las razones para que los precios implícitos de la vivienda varíen a lo largo del espacio son causados en el corto plazo tanto por las fuerzas del mercado y por los atributos espaciales como la localización; sin embargo, en el largo plazo la estructura de los sub-mercados estará determinada principalmente por las diferencias estructurales en el vecindario y sus amenidades, reforzando los fenómenos de heterogeneidad y auto-correlación espacial (Tu, Sun, & Yu, 2007).

En el apartado anterior se realizó un ejercicio a nivel descriptivo en el que se identificó la auto-correlación espacial global de las variables de interés y se complementó con un análisis *LISA* que permitió identificar variaciones en los niveles y en la asociación de las los precios de vivienda y el ruido). Sin embargo, en esta investigación se busca modelar la relación entre el ruido y los precios de la vivienda, por lo que existe la necesidad de confirmar la heterogeneidad espacial sugerida por el ejercicio anterior para dar paso a la definición de los sub-mercados. Para la definición de las áreas geográficas que comprenden los submercados se estimará primero un modelo de regresión geográficamente ponderada. Luego, para probar la hipótesis de variaciones en los efectos del ruido a través de los submercados, se estiman modelos de regímenes espaciales.

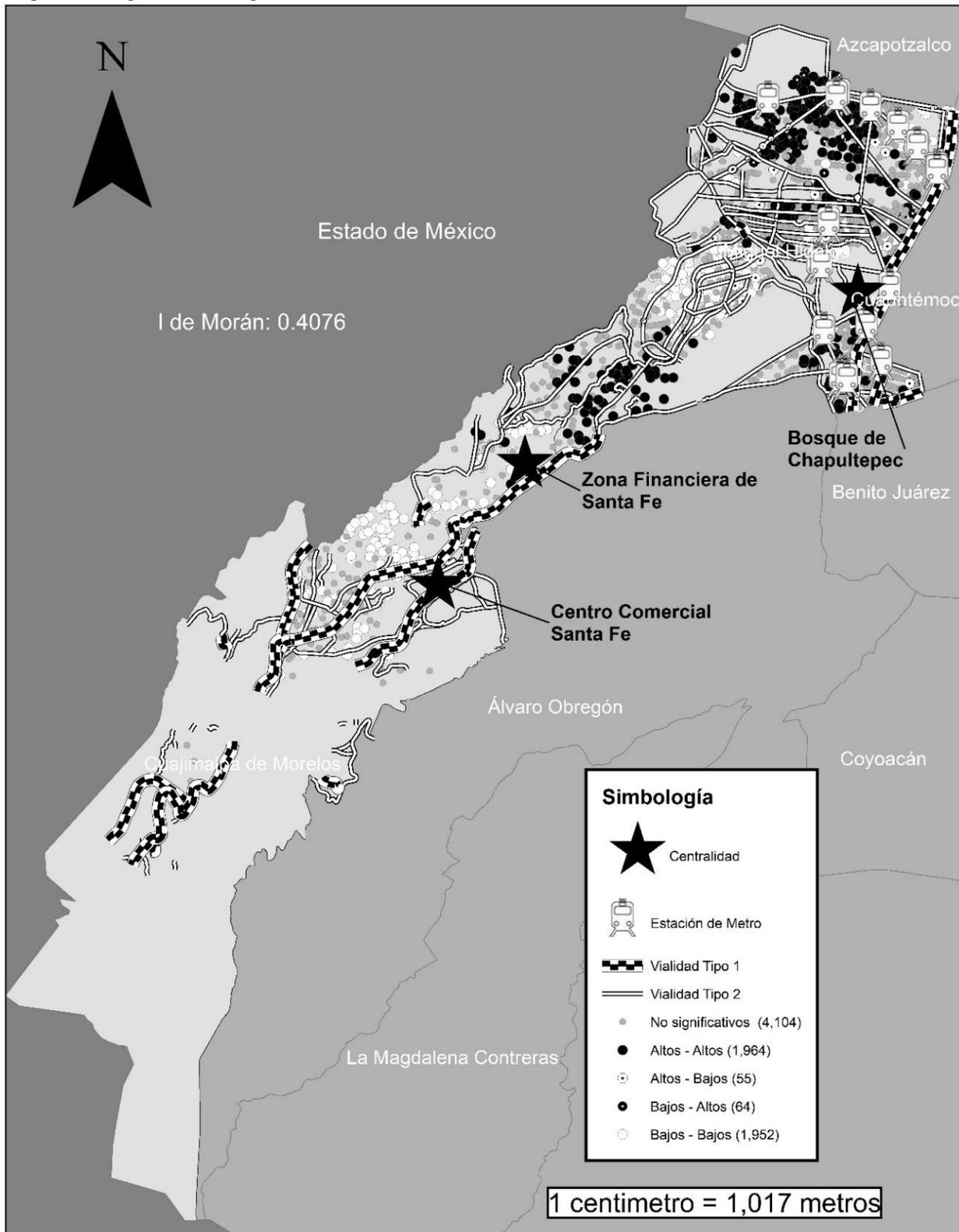
La relación funcional³⁶ que se plantea para los próximos modelos que se presentan de MCO, *GWR* y *MPH* en regímenes espaciales queda especificada de aquí en adelante como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Log_valor} = & \beta_i + \beta_i A_{2007}_i + \beta_i A_{2008}_i + \beta_i \text{Clase_mb}_i + \text{Clase_m}_i + \text{Clase_ma}_i \\ & + \text{Clase_a}_i + C_{\text{supcat}2}_i + C_{\text{supcat}3}_i + C_{\text{supcat}4}_i + \text{Localiza}_i \\ & + \text{Sect7172}_i + \text{Ql_e16ymas}_i + A_{\text{verde}}_i + L50_c_i + \varepsilon_i \end{aligned}$$

³⁶ Esta especificación estadística del modelo es la única que se utiliza en lo que resta del capítulo, tanto para la *GWR* como para los regímenes espaciales.

Existen diferentes métodos para detectar la heterogeneidad espacial. Uno de ellos es el cálculo de los indicadores *I de Morán* y *LISA* para los residuos de un modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Para el caso del modelo especificado arriba el valor del *I de Morán* es 0.4076 con un valor *Z* de 126.4, lo que significa que los residuos se autocorrelacionan espacialmente y que hay regiones en las que las variables del modelo no explican los precios de las viviendas tanto como en otras. En el mapa 11 se muestra cómo se comportan los residuos en el espacio, y por lo tanto, los distintos niveles de poder explicativo de que tiene el modelo sin segmentar el mercado de vivienda. Por un lado, es posible identificar dos clústeres con niveles bajos de residuos, uno en Cuajimalpa y otro en las Lomas de Chapultepec. Por otro lado, este análisis nos diría que al norte de la delegación Miguel Hidalgo y al sur y al oriente del Bosque de Chapultepec los datos no se ajustan a la función de PH estimada con la regresión.

Mapa 11. Comportamiento espacial de los residuos del modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios



Fuente: Elaboración propia.

Otro método para explorar la existencia de la heterogeneidad espacial es la regresión geográficamente ponderada (*GWR*) que consiste en la estimación de coeficientes locales de regresión, diferenciándose de la regresión clásica de mínimos cuadrados ordinarios que calcula coeficientes globales. La expresión matemática de una *GWR* es la siguiente (Fotheringham, Brundson, & Charlton, 2002):

$$y_i = \beta_{i0} + \sum_{k=1}^m \beta_{ik} x_{ik} + \varepsilon_i$$

donde:

y_i es la variable dependiente en la localización i ,

x_{ik} es la k variable independiente en la localización i ,

m es el número de variables independientes,

β_{i0} es el parámetro constante en la localización i ,

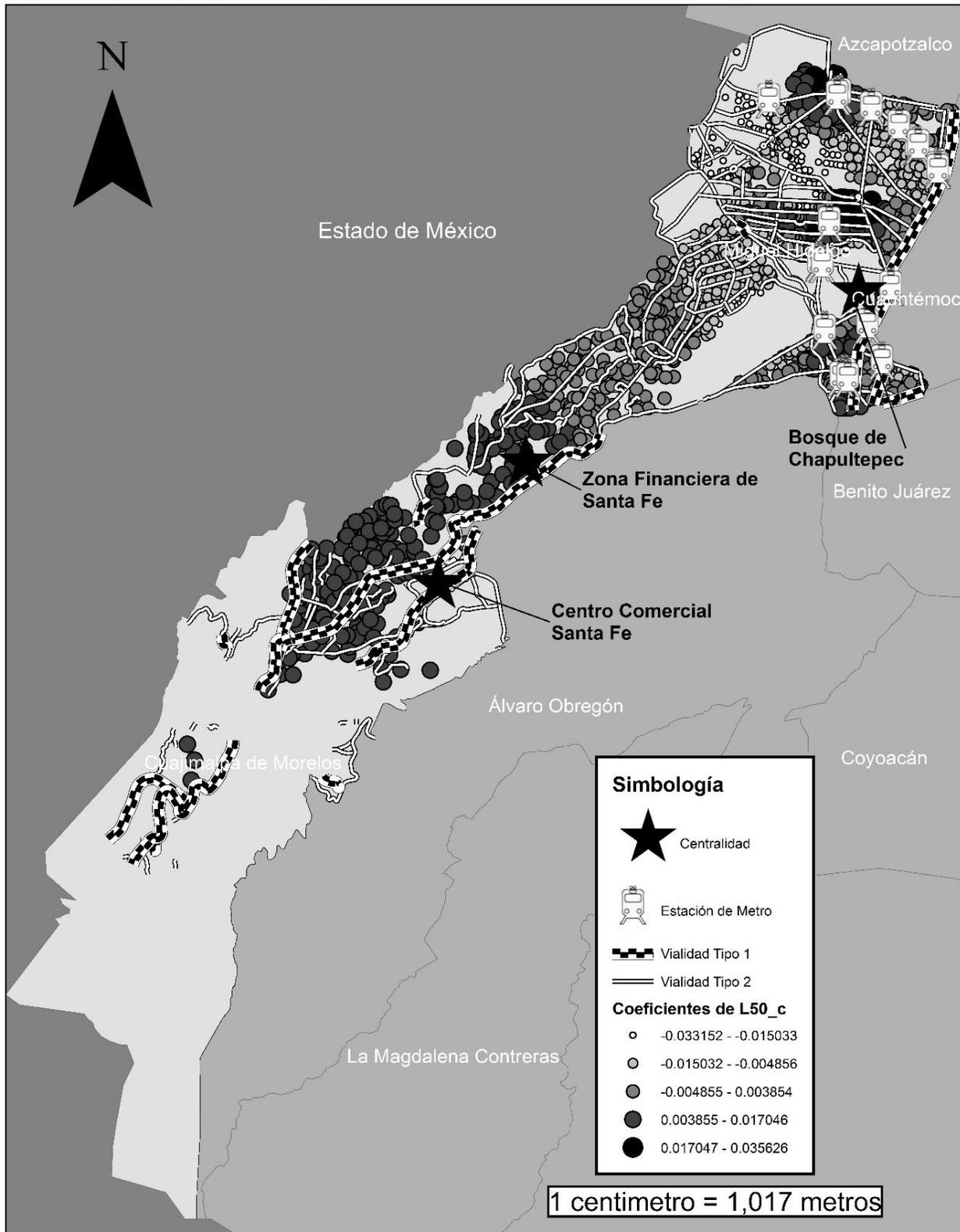
β_{ik} es el coeficiente local de regresión para la k variable independiente en la localización i y ε_i es el error en la localización i .

Para el modelo especificado anteriormente, en el mapa 12 se muestra cómo los valores del estimador del Índice de Ruido ($L50_c$) varían a lo largo del espacio, confirmándose la presencia del efecto espacial de heterogeneidad al que ya se hizo referencia.

De sur a norte, extendidas por toda la DCM y hasta los límites con la DMH, se agrupan las observaciones en las que los coeficientes de $L50_c$ son positivos, cuya interpretación es que por cada aumento unitario en el nivel de decibeles, el precio de la vivienda se incrementa entre .3% y 1.7%. Posteriormente se observa un agrupamiento de viviendas en el sur de la DMH que tienen sensibilidades diversas ante el fenómeno del ruido que van desde -0.48% hasta 0.30%. A la altura de la colonia Lomas de Chapultepec que se encuentra al norponiente del Bosque de Chapultepec los precios de las viviendas expuestas a los aumentos marginales en los niveles de ruido se ven penalizados en un rango que va de -0.38% a -0.48%. En la zona de Tacubaya-Escandón, los impactos son mixtos puesto que hay algunas viviendas en las que los incrementos en niveles de ruido se premian vía precios y otras en las que se penalizan. Los precios de la vivienda en Polanco también reaccionan de forma diversa ante los incrementos del ruido, sin embargo, es en esta zona donde se observan los mayores impactos positivos, que van desde el 1.7% hasta el 3.5%. Hacia el

norte de la delegación Miguel Hidalgo, después de la Avenida Río San Joaquín y en colonias como Tacuba, Pensil y Popotla los efectos también son heterogéneos, pues allí se encuentran impactos de todos los niveles, yendo de negativos a positivos en la medida que se acercan a Azcapotzalco.

Mapa 12. Regresión geográficamente ponderada; coeficientes del Índice de Ruido (L50_c)



Fuente: Elaboración propia.

A partir de la exploración visual de la agrupación de los niveles de los coeficientes locales de regresión estimados mediante la *GWR* se definieron cinco submercados o regímenes espaciales buscando la homogeneidad al interior y heterogeneidad entre estos. Las técnicas instrumentadas nos permitieron identificar la presencia de dependencia espacial en precios, así como un impacto diferenciado del ruido en ellos de forma sistemática.

El criterio más importante para definir a los diferentes regímenes espaciales o submercados fue el de homogeneidad en precios que los indicadores locales de asociación espacial (*LISA*) permitieron identificar, de tal manera que en principio existen tres tipos de sub-mercados claramente diferenciados: uno de precios bajos, otro de precios altos y uno más heterogéneo. La *GWR* permitió confirmar, por ejemplo, que Cuajimalpa es un sub-mercado de precios bajos y en el que se premia el ruido. Al complementar los resultados de los análisis *LISA* y *GWR* se puede deducir, por un lado, que en la medida que se avanza hacia el norte por el poniente, aumentan los precios de las viviendas y el efecto positivo que tiene el ruido sobre ellos va disminuyendo hasta que se vuelve negativo, a la altura de la zona residencial de Lomas de Chapultepec. Por otro lado, al norte del Bosque de Chapultepec se encuentra Polanco, que fue identificado por ser el sub-mercado de precios altos según la clasificación en clústeres de asociación espacial y cuya sensibilidad al ruido es heterogénea, pues hay viviendas en las que se premia el ruido y otras en las que se castiga. Lo mismo sucede con la zona norte y oriente de la delegación Miguel Hidalgo en términos de la diversidad en la magnitud de los impactos del ruido en los precios de la vivienda, aunque se puede observar que al norte se tienen impactos negativos importantes, lo que no sucede en Polanco y en el oriente de la delegación.

3.4. Segmentación del mercado de vivienda en regímenes espaciales

La técnica de regímenes espaciales ha sido utilizada principalmente en los trabajos de ciencia regional para probar la heterogeneidad espacial de los fenómenos sociales. Mediante esta técnica se puede operacionalizar estadísticamente la propuesta teórica microeconómica sobre la existencia de sub-mercados y verificar la pertinencia de estimar más de una función de PH para explicar el comportamiento de los precios de la vivienda de una ciudad. Las diferencias estructurales entre las funciones hedónicas de los precios de la vivienda entre sub-mercados pueden validarse mediante la Prueba de Chow.

La Prueba de Chow permite evaluar las rupturas estructurales y la estabilidad de los parámetros de un modelo de regresión. Un conjunto de datos puede presentar un cambio o ruptura estructural cuando los parámetros de la relación difieren entre diferentes subconjuntos de datos, siendo esto más frecuente cuando se trabaja con datos de diferentes periodos de tiempo en modelos de series de tiempo. Esta prueba supone que se conoce de forma exacta y *a priori* los puntos de cambio estructural, además de otros supuestos como la normalidad, homocedasticidad e independencia de los residuos de las sub-muestras. Esta prueba plantea las siguientes hipótesis (Seddighi, Katos, & Lawler, 2008):

$$H_0: \beta_1=\alpha_1; \beta_2=\alpha_2; \beta_3=\alpha_3; \dots; \beta_n=\alpha_n$$

$$H_1: H_0 \text{ no es cierta}$$

donde:

β_i y α_i son los coeficientes de regresión de cada uno de los subconjuntos.

Con base en los ejercicios exploratorios realizados en secciones anteriores para detectar la existencia de heterogeneidad y dependencia espacial, se definieron cinco regímenes espaciales para probar la inestabilidad estructural de los determinantes del precio de la vivienda, particularmente la del ruido. Sin embargo, no fue únicamente mediante el criterio estadístico que se realizó la segmentación en sub-mercados; los elementos del medio ambiente construido fueron decisivos para la segmentación de los mismos, es decir, las vialidades, áreas verdes y mezcla del uso de suelo fueron considerados para delinear la frontera entre de cada uno de ellos.

Atendiendo a una definición de sub-mercado con un enfoque mixto, estos se construyeron con base en criterios estadísticos y la exploración visual de la distribución de las variables sobre el territorio que permiten las herramientas de la estadística espacial. Los cinco sub-mercados que se proponen satisfacen las siguientes condiciones:

1. Son homogéneos al interior y heterogéneos entre sí, lo que permite suponer que las viviendas que existen al interior de cada uno de ellos son substitutos cercanos de ese ese sub-mercado, pero no de los otros.
2. Existe contigüidad espacial entre sub-mercados, es decir, ninguno de ellos es interrumpido geográficamente por otro.

Se definieron cinco sub-mercados, véase cuadro 5: Cuajimalpa, Las Lomas, Tacubaya-Escandón, Polanco y Pensil.

Cuadro 5. Estadísticos descriptivos de los sub-mercados

Características del vecindario	Sub-mercados o regímenes espaciales					Promedio
	Cuajimalpa	Las Lomas	Tacubaya-Escandón	Polanco	Pensil	
Precio por m²	\$3,714.6	\$7,372.7	\$5,690.3	\$11,730.3	\$4,983.4	\$6,698.26
Índice de Ruido	65.2	64.8	69.8	65.2	65.9	66.18
Nivel de ruido por densidad poblacional (L50_p)	56.6	51.9	63.1	49.8	51.2	54.52
Nivel de ruido por vialidades (L50_v)	63.2	63.8	67.5	63.5	62.5	64.10
Amenidades urbanas	39.4	30.8	98.9	123.3	105.2	79.52
Segregación socioeconómica (QI)	2.9	4.5	2.5	4.0	1.9	3.16
Áreas verdes	8,883.3	71,736.4	34,643.6	18,189.5	7,700.1	28,230.5
Distancia al área verde más cercana³⁷	803.8	329.6	308.6	259.9	437.0	427.78

Fuente: Elaboración propia.

El primer sub-mercado es el de Cuajimalpa. Comienza en el sur de Cuajimalpa de Morelos y llega hasta el sur de la delegación Miguel Hidalgo. Al sur, al poniente y al oriente está delimitado por otras delegacionales, mientras que al norte y norponiente las fronteras son las avenidas Paseo de las Lilas, Paseo de los Ahuehuetes Sur y Paseo de los Ahuehuetes Norte. Aquí el ruido es valorado positivamente y se concentran propiedades de precios bajos y al mismo se caracteriza por la existencia de clústeres de bajos niveles de ruido, con algunas manzanas expuestas a altos niveles de contaminación sonora, cuya fuente son principalmente las vialidades de acceso controlado. Las

³⁷ Distancia en metros al área verde más cercana.

amenidades de este submercado se localizan en el sur de la delegación de Cuajimalpa, concentrándose alrededor del Centro Comercial Santa Fe.

El segundo submercado de vivienda es el de Las Lomas. Inicia donde termina el de Cuajimalpa, se extiende hacia el norte desde las avenidas Paseo de las Lilas y Paseo de Los Ahuehuetes Sur y Norte; está limitado al norte por el anillo periférico y al poniente por el Bosque de Chapultepec y atravesado por Paseo de la Reforma. No tiene estaciones de Metro y la densidad poblacional es baja. Las colonias que lo componen son Lomas de Reforma, Lomas de Virreyes y Lomas de Chapultepec. Este es un sub-mercado altamente residencial, con la mayor segregación socioeconómica de los cinco y el segundo de precios más altos. Tiene menos oferta de amenidades urbanas que el promedio de los sub-mercados, sin embargo, en la medida que se avanza hacia el norte comienzan a incrementarse tanto como los precios, al acercarse a Polanco.

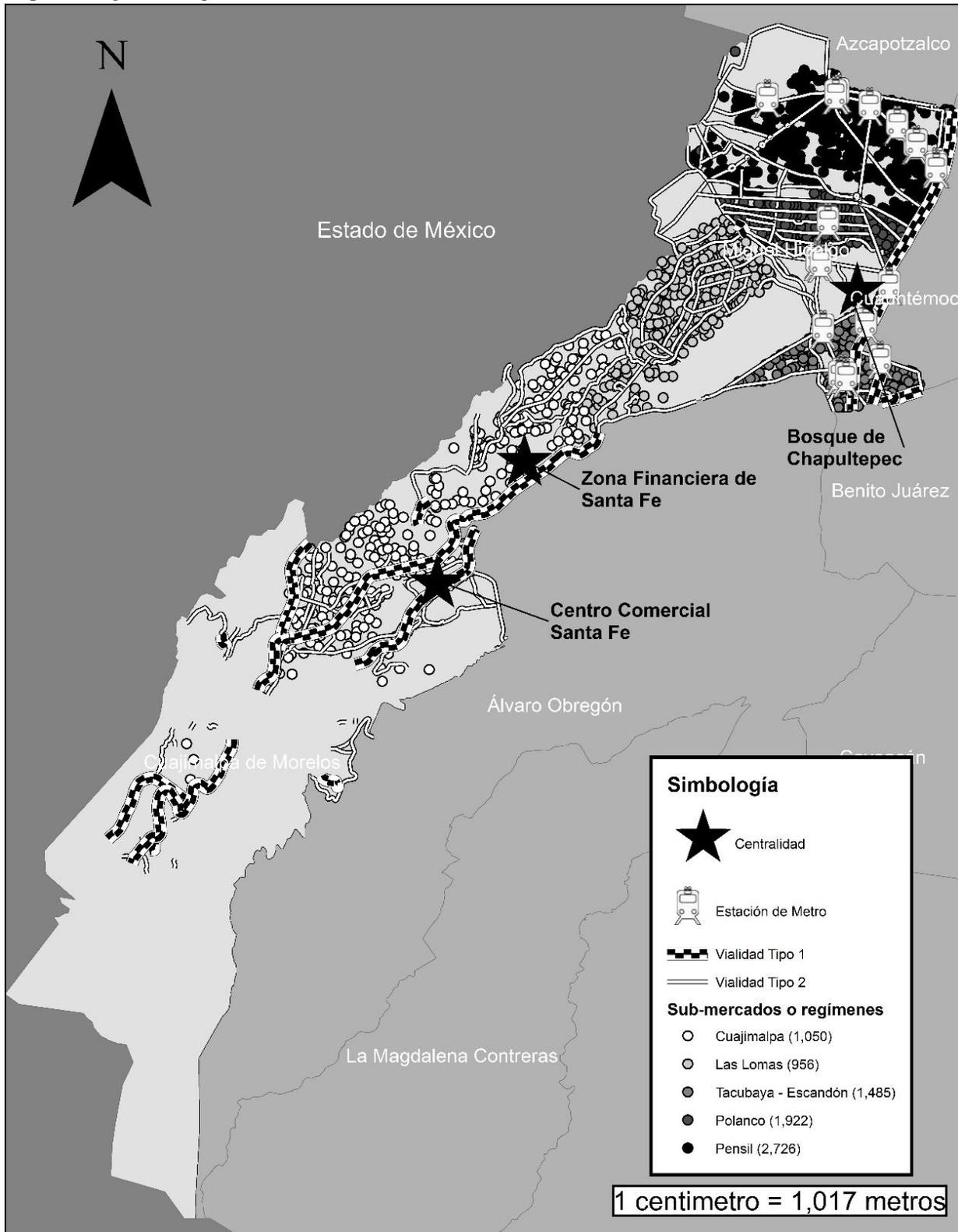
Llamamos Tacubaya-Escandón al tercer submercado. Se encuentra en la delegación Miguel Hidalgo, al sur está delimitado por la delegación Álvaro Obregón, por el oriente tiene como frontera al Bosque de Chapultepec y se extiende hasta el límite con la delegación Benito Juárez y hacia el norte hasta el sub-mercado de Polanco y la delegación Cuauhtémoc. Las colonias que lo componen son principalmente la 16 de septiembre, Daniel Garza, Observatorio, Tacubaya, Escandón y San Miguel Chapultepec. En este existe mucha heterogeneidad en los precios y una concentración de niveles altos de ruido derivada tanto de la densidad poblacional como de su cercanía a las vialidades principales. La disponibilidad de amenidades urbanas es superior al promedio y está conectada a la red del sistema Metro.

El cuarto submercado es el de Polanco, se encuentra entre los submercados de Las Lomas, Pensil y Escandón. Este sub-mercado se definió principalmente por la formación de un clúster de precios altos de vivienda que se encuentra delimitado por Periférico, Paseo de la Reforma, Circuito Interior y Avenida Río San Joaquín y el Boulevard Cervantes Saavedra. El sub-mercado tiene ventajas de localización con respecto a la accesibilidad a las vialidades más importantes y términos de las otras centralidades de la ciudad. En un radio de 500 metros, en este submercado se encuentran más amenidades que en cualquiera de los otros. Los niveles de ruido derivados de la densidad poblacional en este submercado son los más bajos.

El quinto submercado es el de la Pensil, delimitado al sur por el de Polanco mediante la Avenida Río San Joaquín, al oriente por el Estado de México, al poniente por la delegación Cuauhtémoc con la vialidad Circuito Interior y al norte por la delegación Azcapotzalco. Este

mercado tiene el menor nivel de segregación, precios más bajos que el promedio y niveles de ruido también más bajos que el promedio. Su mezcla del uso de suelo es alta y cuenta con la cobertura de Sistema de Transporte Metro. Según los indicadores locales de asociación espacial, en este submercado concurren los clústeres de altos niveles de ruido y bajos precios de vivienda.

Mapa 13. Regímenes espaciales o submercados de vivienda



Fuente: Elaboración propia.

3.5. Resultados del Modelo de Precios Hedónicos con regímenes espaciales

Derivado de lo expuesto a lo largo del capítulo y para concluir el ejercicio empírico con un carácter inferencial y confirmatorio se implementó un modelo de regresión lineal en regímenes espaciales para probar la heterogeneidad espacial mediante la Prueba de Chow cuya hipótesis nula es que existe estabilidad estructural en los coeficientes de regresión a lo largo del espacio.

En cuadro 6 se muestran los resultados de la regresión por MCO para cada uno de los regímenes, así como los diagnósticos de los supuestos que garantizan que los estimadores sean los Mejores Estimadores Lineales e Insesgados (MELI); sin embargo, como se esperaba, estos no se cumplen debido a la dependencia espacial entre las observaciones.

Cuadro 6. Resultados de la regresión

Variables Independientes/Significancia de la prueba de Chow	Coeficientes de regresión por régimen				
	Cuajimalpa	Las Lomas	Tacubaya- Escandón	Polanco	Pensil
Y: Logaritmo del precio por m ²					
Constante*	7.3*	9.5*	7.6*	8.9*	10.1*
Año 2007	-0.0004	-.0023	0.0344	0.0284	0.0616*
Año 2008*	-0.07423*	-0.0863*	0.0048	-0.0697*	0.0210
Superficie					
99.15 a 198.92 m ² *	-0.1658*	-0.0801	-0.2638*	-0.2149*	-0.3631*
199.24 a 599 m ² *	-0.1677*	-0.0452	-0.2094*	-0.1985*	-0.2303*
600 a 9,917.35 m ²	-0.1572*	-0.0748*	-0.1230*	-0.1054*	-0.1147*
Clase media baja*	0.1801	0.1306	0.0867*	0.3008*	-0.0470
Clase media	-0.0203	0.0526	0.0629	0.1940	-0.0191
Clase media alta	0.1221*	0.0502	-0.0017	0.2213	0.0674
Clase alta*	0.1898*	0.0551	-0.0124	0.2988*	-0.1490*
Localización*	-0.00005*	0.00005*	0.00003	0.00003	-0.0001*
Amenidades urbanas*	0.0016*	0.0019*	0.0004	0.0008*	0.0002
Segregación socioeconómica*	0.1034*	-0.0242	0.0756*	0.1353*	0.1064*
Áreas verdes*	0.000002*	0.0000003*	-0.0000003	-0.0000005	-0.000007*
Índice de ruido*	0.0089*	-0.0130*	0.0096*	-0.0071*	-0.0197*
	Diagnósticos de la regresión				
R-cuadrada ajustada	0.5168	0.0843	0.1512	0.1555	0.3051
Estadístico F	81.1*	7.2*	19.8*	26.2*	86.4*

Jarque Bera	19.3*	37,749*	11,846*	2,339.6*	2,916.1
Breusch-Pagan	38.6*	265.5*	181.9*	85.7*	93.1*
Número de condición de multicolinealidad	62.5	87.3	121.6	154.6	90.3

El * indica significancia estadística con un valor $p < .05$.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Prueba de Chow se rechaza la hipótesis nula de estabilidad estructural de los parámetros a lo largo de los regímenes. Esta prueba resultó estadísticamente significativa a un nivel de confianza de 95% para los coeficientes de las variables A_2008, C_supcat2, C_supcat3, Clase_mb, Clase_a, Localiza, Sect7172, Ql_e16ymas, A_verde y L50_c, lo que indica que es en los parámetros de estas variables donde existe una ruptura estructural entre los diferentes regímenes propuestos. En términos de esta investigación, se rechaza que el ruido tenga el mismo impacto en los precios de la vivienda de distintos sub-mercados, como se esperaba.

Si bien los coeficientes de determinación (*R* cuadrada ajustada) de los diferentes regímenes resultaron estadísticamente significativos, la proporción de la variabilidad explicada por los modelos lineales ajustados para cada régimen resultó relativamente baja.

También se esperaba que el ruido fuera internalizado en los precios en aquellos de precios altos, tal como sucedió. Resulta útil para el análisis la comparación entre los submercados de distintos niveles de precios. Por un lado, se tienen los sub-mercados de precios bajos: Cuajimalpa y Pensil. Encontramos que son los que mejor se ajustan a la función hedónica estimada, aunque los efectos van en sentido contrario. Por un lado, en Cuajimalpa las viviendas se aprecian un 0.89% por cada aumento unitario en el nivel de ruido, mientras que en la Pensil estas se deprecian en -1.9%. Ambos submercados son similares en términos de sus niveles de precios y de segregación socioeconómica. Sin embargo, hay dos diferencias importantes: el nivel de accesibilidad y la disponibilidad de amenidades. En el submercado de Cuajimalpa los estimadores de la *GWR* son homogéneos y positivos, mientras que en el de la Pensil son heterogéneos, yendo desde los impactos más negativos hasta los más positivos. Esto podría explicarse si suponemos que las vialidades son una externalidad positiva para la mayoría de las viviendas que componen al sub-mercado de Cuajimalpa debido a que resuelve las desventajas de localización y accesibilidad a las amenidades y a otras centralidades. En contraposición tenemos al sub-mercado al que llamamos Pensil, en el que según los estimadores de la *GWR* los efectos que tiene el ruido son heterogéneos y van desde los más negativos hasta los más positivos, sin embargo, probablemente predominan

los negativos porque a diferencia del de Cuajimalpa, ya se tiene una excelente localización en la ciudad y accesibilidad a otras centralidades, así como una disponibilidad de amenidades superior al promedio, por lo que no se valora estar cerca de una vialidad importante.

Por otro lado, están los submercados de precios altos: Las Lomas y Polanco. Como se esperaba para los submercados con estas características, sucede una penalización en los precios por la mala calidad del medio ambiente sonoro, reflejando una estructura de preferencias pro-ambiental en el consumo de vivienda. Por el aumento marginal de cada decibel, en Las Lomas las viviendas se deprecian en un -1.3% mientras que en Polanco en un -0.71%. Una posible explicación de estos resultados es el carácter residencial de Las Lomas, reflejado en el modelo con la baja disponibilidad de amenidades urbanas, en relación con el resto de los sub-mercados. Además, en estos submercados no se valora positivamente estar cerca de las vialidades porque ya tienen ventajas locacionales y de accesibilidad a otras centralidades la ciudad.

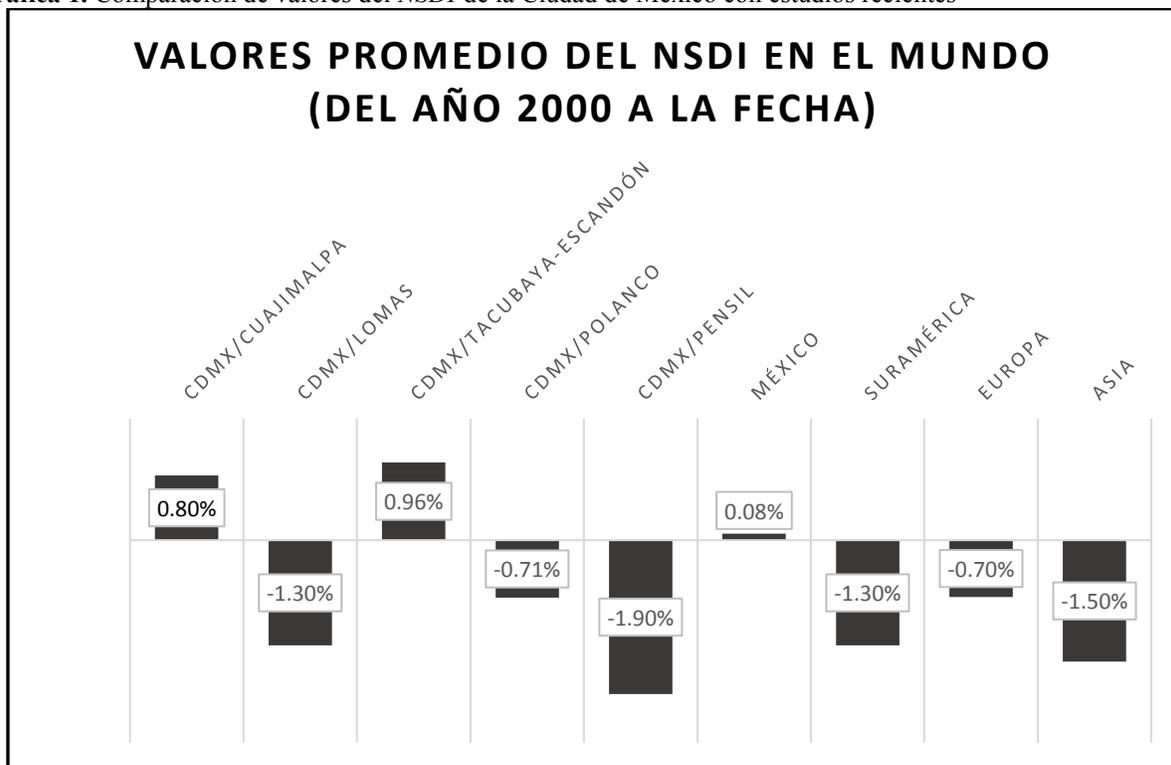
Finalmente, tenemos al submercado Tacubaya-Escandón, que pudo caracterizarse mediante los análisis de autocorrelación espacial univariada y bivariada como un submercado de precios bajos en el que las viviendas están rodeadas de altos niveles de ruido. Aquí la contaminación sonora tiene un impacto positivo en los precios de la vivienda, pues por cada aumento marginal en los niveles de ruido esta se aprecia en un 0.96%. Las posibles explicaciones no emergen tan fácilmente si comparamos a este sub-mercado con los de su tipo según precios (Cuajimalpa y Pensil), sin embargo, podemos inferir que las razones para que tenga un efecto positivo son distintas a las de Cuajimalpa debido a su localización. Una vez descartada la misma explicación para los submercados de Cuajimalpa y Tacubaya-Escandón resta realizar una comparación con el submercado Pensil que es de precios bajos y en el cual se hace una valoración negativa del ruido.

El submercado Tacubaya-Escandón goza de las mismas ventajas locacionales y de accesibilidad que los de Las Lomas, Polanco y Pensil, por lo que estar cerca de las vialidades no representa una externalidad positiva importante sino una desventaja ambiental, sin embargo, existe una diferencia en el sentido valoración que se hace de la calidad del ambiente sonoro. Una explicación posible a éste comportamiento atípico puede elaborarse desde la propuesta teórica de los submercados, partiendo de que las viviendas al interior de cada uno de ellos no son sustitutos cercanos y las estructuras de las preferencias de los consumidores son distintas y atribuyéndole a otras características del vecindario la premiación del ruido en los precios de la vivienda, por

ejemplo, la existencia de un *trade-off* entre ruido y segregación socioeconómica, es decir, que aquí se prefiera estar en un barrio cualitativamente mejor, en términos de tener vecinos con mayores niveles de educación aunque se tenga que sacrificar la calidad ambiental sonora debido a su cercanía con las vialidades y a la densidad poblacional. En otras palabras, los consumidores que viven en el submercado Tacubaya-Escandón no podrían hacerlo en los de Las Lomas y Polanco porque son de precios altos; aunque sí en el de Pensil que es de precios bajos y tendría condiciones similares de localización, accesibilidad y amenidades urbanas pero diferentes en términos de nivel socioeconómico, sobreponiéndose como una externalidad positiva a pesar de la mala calidad medio ambiental.

Los resultados de esta investigación son comparables con otros realizados en el mundo, en la gráfica 1 se muestran los niveles más recientes del *NSDI*.

Gráfica 1. Comparación de valores del *NSDI* de la Ciudad de México con estudios recientes



Fuente: Elaboración propia.

Los niveles de depreciación de la vivienda debido a los aumentos en los niveles de ruido a los que están expuestas están en los rangos encontrados a nivel mundial. Por un lado, En la mayoría de los estudios realizados se han encontrado impactos negativos del ruido en el precio de la vivienda, por ejemplo, la depreciación en el submercado de Las Lomas se encuentra a nivel de la depreciación

en Sudamérica y la de Polanco al nivel de lo hallado para Europa. El submercado más sensible, a los incrementos en la contaminación sonora es el de Pensil, incluso en a nivel mundial según los estudios más recientes. Por otro lado, también se han detectado efectos positivos en ciudades mexicanas, concretamente en San Nicolás de los Garza, Monterrey (Fitch, Soto, & Garza, 2012), para los que se ha propuesto la explicación de las ventajas de accesibilidad que ofrecen las vialidades.

Los resultados obtenidos contribuyen al estudio de las externalidades espaciales y del impacto decreciente en función de la distancia (*distance-decay*) de las “instalaciones nocivas” como la infraestructura de transporte. En la medida que las viviendas se alejan de estos elementos del ambiente construido, la externalidad negativa pasa a ser positiva. Los aeropuertos y las vialidades importantes son un buen ejemplo de este fenómeno; las personas prefieren tener un aeropuerto a una distancia relativamente cercana pero no tanto, por lo que puede ser una externalidad negativa para quienes viven a unos metros del mismo pero positiva para la población dentro de un radio de algunos kilómetros; se prefiere vivir cerca de las avenidas importantes pero no sobre las mismas, a menos de que contribuyan a eficiente los costos de transporte como sucede en Cuajimalpa.

CONCLUSIONES

El sonido es un fenómeno físico inherente a la existencia del mundo, incluso sin la presencia del hombre en la tierra, ésta suena. Los sonidos provienen de distintas fuentes que han sido agrupadas por la ecología acústica, existen las geofonías, las biofonías y las antropofonías: el aire, los relámpagos, la lluvia, las aves, los animales, el fuego y los humanos suenan. Así como aprendieron a manipular el fuego, los hombres aprendieron a utilizar el sonido para desarrollar formas de comunicación como el habla y la música. Sin embargo, no todos los sonidos producidos por el ser humano son intencionalmente producidos, muchos de ellos se derivan de las actividades de producción, consumo y transporte, es decir, son residuales.

Hay tres conceptos estrechamente relacionados y que difícilmente pueden ser comprendidos si son disociados: el sonido, el ruido y la contaminación sonora; que integra a los anteriores. El sonido, en tanto energía, permite una definición cuantitativa de la contaminación sonora a partir de sus características físicas, trascendiendo la dimensión perceptual y subjetiva del ruido, que ha sido definido llanamente como un sonido indeseable, sin embargo; existen ruidos cuyo nivel de presión sonora es muy bajo como el tic-tac de un reloj que impide a alguien conciliar el sueño y al que no podemos llamar contaminación sonora.

Al hablar en términos de contaminación sonora situamos la discusión en el plano del ambiente sonoro y nos distanciamos del concepto de paisaje sonoro, que suelen utilizarse de manera indistinta. El paisaje sonoro hace referencia a la composición de sonidos formada por los sonidos de fondo, las señales sonoras y las marcas sonoras a la que las personas le dan un valor estético y simbólico; siendo simplistas podríamos decir que el paisaje sonoro es la mirada cualitativa y positiva del ambiente sonoro. Algunas implicaciones que tiene posicionarse en el marco conceptual de la contaminación sonora y por lo tanto hablar del ambiente sonoro es la homogeneización de los sonidos, quitándoles la carga simbólica que tienen e ignorando lo que representan para la comunidad que los produce. Entonces, cuando hablamos de contaminación sonora no importa si los sonidos que se enmascaran provienen de la naturaleza o de la tradición sino el daño ocasionado dada su magnitud física.

En la revisión de la literatura sobre la contaminación sonora realizada, se encontró que el ruido por tráfico vehicular es la fuente emisora más importante en las ciudades modernas, por lo que se buscaron maneras de aproximarse a los niveles de emisión por esta fuente. Se encontraron dos formas de hacerlo: una a partir de la densidad poblacional y otra a partir de las vialidades. La

densidad poblacional se ha utilizado como predictor de la contaminación sonora y se ha comprobado el deterioro del ambiente acústico con la incursión humana y la urbanización. Sin embargo, también ha sido puesto en tela de juicio que la relación entre densidad poblacional y contaminación sonora sea lineal por lo que se complementó la estimación con los niveles de ruido asociados a los distintos tipos de vialidades que hay en la ciudad.

Además de la densidad poblacional, se han encontrado mayores niveles de presión sonora en las zonas con usos de suelo mixtos y en usos de suelo industriales, comerciales y de transporte mientras que los menores niveles se han identificado en usos de suelo residencial y educativo.

A excepción del Primer Mapa de Ruido de la Zona Metropolitana del Valle de México que estima los niveles de ruido a partir del flujo vehicular por los distintos tipos de vialidades, no existen estudios que nos permitan saber con qué variables se relaciona la contaminación sonora.

Si bien se han estudiado los impactos ecológicos de la contaminación sonora, estas investigaciones son escasas y ha prevalecido una visión antropocéntrica del problema. Se ha estudiado, por ejemplo, cómo afecta el ruido a los ecosistemas marinos o a las aves en el medio urbano. Sin embargo, ha predominado el interés por conocer los impactos que tiene para la calidad de vida del ser humano, principalmente aquellos relacionados con el daño a la salud y con la molestia que provoca.

Las molestias y los efectos causados por la contaminación sonora han sido una preocupación social desde la antigüedad que se ha ido formalizando a la par del desarrollo científico, tecnológico y político. Actualmente, existe un consenso nivel internacional principalmente alrededor de los impactos negativos en la salud basado en las investigaciones académicas y las propuestas de organismos supranacionales como la Organización Mundial de la Salud o la Unión Europea y a nivel de cada país expresado normalmente en las legislaciones ambientales federales o locales.

Además de la atención que han recibido los impactos en la salud, se han investigado los impactos que tiene el ruido en el bienestar económico en los individuos, en los hogares y en niveles agregados. En este rubro la contaminación ha sido estudiada desde la teoría de las externalidades ambientales desde la cual se busca conocer la magnitud de la socialización de los costos derivados de acciones que repercuten en beneficios privados, dando paso al cálculo de la pérdida de bienestar económico y a la corrección de esta falla del mercado basada en impuestos o compensaciones.

Los Modelos de Precios Hedónicos (MPH) son uno de los métodos más utilizados para conocer la existencia y la magnitud de las externalidades ambientales, se dice que es un método de preferencias reveladas o de valoración indirecta ya que se conoce el valor que las personas le dan a un bien que no tiene mercado como el ambiente sonoro a través del consumo de otros bienes, como la vivienda.

Los Modelos de Precios Hedónicos han sido utilizados en dos campos: en la economía ambiental y de la valuación inmobiliaria. Por un lado, la economía ambiental supone que la sociedad valora los bienes y servicios ambientales porque le permiten la producción de otros bienes de mercado, porque valora su consumo en sí mismos y porque desempeñan funciones de equilibrio ecológico. Por otro lado, la valoración inmobiliaria está interesada en conocer cómo son valorados los distintos atributos de la vivienda. Desde cualquiera de los dos enfoques se busca conocer cuán importante es un medio ambiente sonoro de calidad libre de ruido para el bienestar de las personas.

Con la finalidad de conocer cómo se internalizan las externalidades ambientales se trabajó con datos de transacciones de compra-venta de viviendas georreferenciados en dos delegaciones de la Ciudad de México que permitieron asociar los niveles de ruido al precio de la vivienda. La precisión de esta información fue importante ya que el ruido es un contaminante que no permanece ni se traslada grandes distancias en el espacio, sino que está muy localizado. Además de los precios y el ruido, en el MPH se incluyeron variables sobre las características estructurales de la vivienda, sobre la localización de la misma y sobre las características del vecindario en el que está ubicada.

Un pilar importante de esta investigación fue el supuesto de que la valoración que se hace de los atributos de la vivienda no es homogénea a lo largo del espacio, sino que varía por submercados formados por viviendas que al interior son sustitutos cercanos pero no entre submercados. Para comprobar tal supuesto se construyeron cinco submercados contiguos espacialmente según precios mediante las técnicas de estadística espacial como la regresión geográficamente ponderada (GWR) y los indicadores locales de asociación espacial (LISA).

Se obtuvieron cinco submercados por niveles de precios: dos de precios altos y tres de precios bajos. Los del primer grupo fueron Las Lomas y Polanco, al norte y al poniente del Bosque de Chapultepec. Los del segundo grupo fueron los de Cuajimalpa, Tacubaya-Escandón y Pensil. Los coeficientes del ruido en todos ellos resultaron significativos, con lo que podemos concluir que el ruido es importante en la estructura de preferencias de los consumidores. Sin embargo, su

internalización varía en dirección y magnitud por submercado, en concordancia con la hipótesis general de esta tesis.

En los submercados de Cuajimalpa y Tacubaya-Escandón el ruido se encuentra positivamente asociado al precio de la vivienda; contrario a lo que la tesis más general sobre amenidades ambientales sugeriría. Esta asociación puede indicar que los consumidores de ambos submercados valoran la accesibilidad, pero está se asocia a mayores niveles de ruido. En Cuajimalpa ello puede reflejar las dificultades de conectividad que se tienen en la zona, llevando a los consumidores a localizarse cerca de vialidades principales. En Tacubaya-Escandón, la accesibilidad está vinculada al tráfico vehicular y densidades poblacionales más altas, asociadas a su localización y amenidades urbanas.

En los submercados de Las Lomas, Polanco y Pensil el ruido se valora negativamente. Los resultados para los dos primeros submercados son consistentes con la hipótesis de que la calidad ambiental sonora es un bien de lujo, ya que estos son de submercados de precios altos y los consumidores pagan por estar libres de ruido. En el submercado Pensil, pese a tener valores inmobiliarios notoriamente más bajos que estos dos, también se valora negativamente la exposición al ruido posiblemente porque estar sobre o muy cerca de las vialidades principales no aporta valor en términos de accesibilidad porque el submercado ya está bien localizado en relación a las centralidades de la ciudad.

Una comparación que ayudaría a entender las variaciones del impacto del ruido en los precios de la vivienda es la de los submercados Pensil y Tacubaya-Escandón. Tienen en común que ambos son submercados de precios bajos, sin embargo, en Pensil el ruido impacta negativamente mientras en Tacubaya-Escandón lo hace positivamente. En una situación hipotética los consumidores de vivienda de ambos submercados tienen condiciones de localización, accesibilidad y amenidades urbanas similares. Sin embargo, hay una diferencia sustancial en términos del nivel socioeconómico que tiene cada uno de los dos submercados, siendo mayor el de Tacubaya-Escandón que el de Pensil. Esta diferencia en el nivel socioeconómico podría llevar a los consumidores del submercado Tacubaya-Escandón a aceptar un *trade-off* con el ruido. Los consumidores de vivienda del submercado Tacubaya-Escandón pueden ignorar e incluso valorar positivamente el estar expuestos a altos niveles de ruido debido a otras características del barrio que no se pueden conseguir en otros submercados de precios bajos cercanos.

El impacto de la calidad ambiental en los precios de la vivienda varía a lo largo del espacio debido a la heterogeneidad tanto de la oferta como de la demanda, sin embargo, estas variaciones son sistemáticas y pueden explicarse por segmentos del mercado que son homogéneos ya sea en términos de preferencias, de las características del grupo demandante, de las amenidades urbanas o de la localización. Esta tesis avanza la investigación en estas hipótesis, aunque un análisis más a profundidad requeriría por un lado, de datos con mayor detalle sobre las características de las viviendas así como de los compradores.

El índice de ruido que se propuso en esta investigación es una buena aproximación a la calidad ambiental urbana porque recupera dos dimensiones: la densidad poblacional y el uso del automóvil. A su vez, estos dos elementos son los principales causantes de otros problemas de contaminación y degradación del medio ambiente: atmosférica, hídrica, generación de residuos sólidos urbanos, etc.

La agenda de investigación sobre amenidades ambientales y mercados inmobiliarios, es todavía incipiente en México. Este trabajo busca contribuir a esta línea, a partir de primero, ofrecer una propuesta de medición del ruido; segundo, presentar una metodología para definir submercados de vivienda definidos territorialmente; tercero, examinar cómo varían los impactos del ruido en los precios de vivienda. Entender la relación entre amenidades y precios de vivienda es importante, no sólo para propósitos de valuación sino para comprender mejor la calidad de vida en las ciudades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adair, A., Hutchinson, B., MacGregor, S., McGreal, S., & Nanthakumaran, N. (1996). An analysis of valuation variation in the UK commercial property market. Hager and Lord revisited. *Journal of Property Valuation and Investment*, 14, 34-47.
- Aguilar. (1987). Urban Planning in the 1980s in Mexico City. *Habitat International*, 11(3), 23-28.
- Aguilar, A. (1987). La política urbana y el Plan Director de la ciudad de Mexico, ¿ proceso operativo o fachada política? *Estudios Demográficos y Urbanos*, 273-299.
- Aiello, L., Schifanella, R., Quercia, D., & Aletta, F. (2016). Chatty maps: constructing sound maps of urban areas from social media data. *The Royal Society Open Science*, 3(3).
- Alfie, M., & Salinas, O. (2017). Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 36(1), 65-96.
- Alonso, W. (1964). *Location and land use. Toward a general theory of land rent*.
- Amérigo, M., & Aragonés, J. (1997). Residential satisfaction in council housing. *Journal of Environmental Psychology*, 10(4), 313-325.
- Amphoux, P. (1993). *L'identité sonore des villes européennes*. Grenoble: IREC-CRESSON.
- Anselin. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 93-115.
- Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Anselin, L. (1999). *Spatial Data Analysis with SpaceStat™ and ArcView*. Illinois: University of Illinois.
- Ariza-Villaverde, A., Jiménez-Hornero, F., & Gutiérrez, E. (2014). Influence of urban morphology on total noise pollution: multifractal description. *Science of the Total Environment*, 472, 1-8.
- Arriagada, C., & Rodríguez, J. (2003). *Segregación en grandes áreas metropolitanas de América Latina*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Augoyard, J., & Torgue, H. (2005). *Sonic experience, a guide to everyday sounds*. Montreal: McGill-Queen's University Press.
- Bailly, A. (1978). *La organización urbana. Teorías y modelos*. Madrid: Instituto de estudios de administración local.
- Ball, M., & Kirwan, R. (1977). Accessibility and Supply Constraints in the Urban Housing Market. *Urban Studies*, 14(1), 11-32.
- Ballinger, W. (2006). The Economic Valuation of Train Horn Noise: A US Case Study. *Transportation Research, Part D. Transport and Environment*, 11, 310-314.
- Baloye, D., & Palamuleni, L. (2015). A Comparative Land Use-Based Analysis of Noise Pollution Levels in Selected Urban Centers of Nigeria. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12225-12246.

- Baron, R. (1973). *La Tiranía del Ruido*. Fondo de Cultura Económica.
- Barrigón-Morillas, J., Gómez, V., Rey, G., Vílchez-Gómez, R., Trujillo, J., Méndez, J., . . . Montes, D. (2013). El método de categorización. Ventajas y desventajas de un muestreo estratificado. *TecniAcústica*.
- Barrigón-Morillas, J., Trujillo, J., Vílchez, M., Gómez, V., & Méndez, J. (2002). An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *Applied Acoustics*, 63, 1061-1070.
- Barti, R. (2010). *Acústica Medioambiental*. Alicante: Editorial Club Universitario.
- Bateman, I., Day, B., & Lovett, A. (2001). The Effect of Road Traffic on Residential Property Values: A Literature Review and Hedonic Pricing Study. *Study for Scottish Executive Development*.
- Bateman, I., Day, B., Lovett, A., & Lake, I. (2000). *Assigning a Monetary value to Noise reduction benefits; an example from the UK, London*. Center for Social and Economic Research on the Global Environment University of East Anglia and University College.
- Baumont, C. (2004). *Spatial Effects in Housing Price Models. Do Housing Prices Capitalize Urban Development Policies in the Agglomeration of Dijon?* France: Université de Bourgogne.
- Bengochea, A. (2003). A hedonic valuation of urban green areas. *Landscape and Urban Planning*, 35-41.
- Berglund, B., Lindvall, D., & Dietrich, H. (1999). *Guidelines for Community Noise*. World Health Organization.
- Berry, B., & Porter, N. (2004). Review and analysis of published research into the adverse effects of industrial noise, in support of the revision of planning guidance. *Proceedings of Institute of Acoustics*. Oxford.
- Berry, B., Goheen, P., & Goldstein, H. (1968). Metropolitan area definition: A reevaluation of concept and statistical practice. *Working paper 28*. Washington, D.C., U.S.A.: Bureau of the Census.
- Borst, R., & McCluskey, W. (2008). Using geographically weighted regression to detect housing submarkets: modeling large-scale spatial variations in value. *Journal of Property Tax Assessment & Administration*, 5(1), 21.
- Botteldooren, D., Coensel, B., Van Renterghem, T., Dekoninck, L., & Gillis, D. (2008). The urban soundscape: a different perspective. *Sustainable mobility in Flanders: The livable city*.
- Bourassa, S., Hamelink, F., & MacGregor, B. (1999). Defining housing submarkets. *Journal of Housing Economics*, 8(2), 12-28.
- Bourne, L. (1981). *The geography of housing*. London: Winston & Sons.
- Brasington, D., & Hite, D. (2005). Demand for environmental quality: a spatial hedonic analysis. *Regional Science and Urban Economics*, 35(1), 57-82.
- Bravo, M., Tarrero, A., Segurado, R., & Viñuela, N. (2003). Estudio psicosocial en la población de Valladolid. Evaluación coste-beneficio. *Tecniacústica*.
- Bristow, A. (2010). Valuating Noise Nuisance .

- Brown, A., & Lam, K. (1987). Urban noise surveys. *Applied Acoustics*, 20, 23-39.
- Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S. (2008). Ruido Ambiental.
- Burgess, E., Park, R., & McKenzie, R. (1925). *The City*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Caraballo, L., & Mendieta, J. (2008). *Economía de la Contaminación y la Degradación Ambiental*. Venezuela: Fondo Editorial Simón Rodríguez.
- Carrión, I. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Edicions UPC.
- Chasco, C. (2003). Métodos gráficos del análisis exploratorio de datos espaciales. *Propuesta para su evaluación como ponencia*. (I. L.-D. Aplicada, Ed.) Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/256174755_Metodos_graficos_del_analisis_exploratorio_de_datos_espaciales
- Chay, K., & Greenstone, M. (2005). Does Air Quality Matter? Evidence from the Housing Market. *Journal of Political Economy*, 113(2), 376-424.
- Coase, R. (1960). The Problem of Social Cost. *Journal of Law and Economics*, 3, 1-44.
- Comisión Europea. (1993). Fifth Environmental Action Programme of the European Community.
- Comisión Europea. (1996). Green Paper on Future Noise Policy.
- Comisión Europea. (1996). Libro Verde de la Comisión Europea .
- Comisión Europea. (2002). *Directiva 49/CE*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.
- Conte, M. (2001). Una primera aproximación a la valuación hedónica de la contaminación en Buenos Aires. *UCEMA*.
- Corbin, A. (1998). *Village Bells*.
- Coro, C. (2004). Modelos de heterogeneidad espacial. *IDEAS/RePEc*.
- Correa, F., & Osorio, J. (2010). *Valoración económica de los impactos ambientales asociados a la emisión de ruido de las instalaciones de EPM Telecomunicaciones S.A. E.S.P.* Medellín: Mimeo. Informe final proceso de contratación.
- Correa, F., Osorio, J., & Patiño, B. (2011). Valoración económica del ruido: una revisión analítica de estudios. *Semestre Económico*, 14(29), 53-75.
- Cruz, C. (2016). *Una aproximación al valor social y ambiental de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México*. Aguascalientes: CIDE.
- Cuadrado-Roura, J., & Fernández Güell, J. (2005). Las áreas metropolitanas frente al desafío de la competitivas. En E. Rojas, J. Cuadrado-Roura, & J. Fernández Güell, *Gobernar la metrópolis*. Whashington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Dale-Johnson, D. (1982). An alternative approach to housing market segmentation using hedonic price data. *Journal of Urban Economics*, 11(3), 311-332.

- Dassen, T. (2002). *A brief overview of the Dutch policy and research on the area of quiet zones*. Bilthoven: RIVM.
- Daumal, F. (2002). *Arquitectura acústica, poética y diseño*. Barcelona: Ediciones UPC.
- De Gortari, J. (2010). *La revalorización de los sonidos y la calidad sonora ambiental del Barrio Gótico, Barcelona*. Barcelona: ETSAB-UPC.
- De la Cámara, G. (2008). *Guía para decisores, análisis económico de externalidades ambientales*. Santiago de Chile: CEPAL.
- De la Iglesia, A. (2005). El ruido y los derechos fundamentales. Consideraciones al hilo de la reciente jurisprudencia del Tribunal Constitucional Español. *Revista Mexicana de Derecho Constitucional*, 12, 233-274.
- Delegación Miguel Hidalgo. (2016). *Programa de Desarrollo Delegacional*. Ciudad de México: Delegación Miguel Hidalgo.
- DENUE. (2010). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2016, de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Ejea, G. (2014). Mercados, territorios y forma urbana. Una aproximación al enfoque neoclásico. *Análisis económico*, 29(70), 27-55.
- Ejea, G. (2014). Pobreza y desigualdad socioterritorial en la ciudad de México: el problema estructural y los límites de la política social. *Sociológica*, 29 no.83 México sep./dic. (83).
- Elhorst, P. (2014). *Spatial Econometrics*. Springer.
- Environmental Protection Agency. (1972). Noise Control Act of 1972.
- Environmental Protection Agency. (1978). Quiet Community Act.
- Epp, D., & Al-Ani, K. (1979). The Effect of Water Quality on Rural Nonfarm Residential Property Values. *American Journal of Agricultural Economics*, 61(3), 529-534.
- Evans, A. (1974). Economic Influences on Social Mix. *Urban Studies*, 13, 247-260.
- Faburel, G. (2001). *Le bruit des avions: évaluation du coût social*. Paris: Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
- Farina, A. (2014). *Soundscape Ecology*. Urbino: Springer.
- Fidell, S., Barber, D., & Schultz, T. (1991). Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 89, 221-233.
- Fields, J. (1984). The Effect of Numbers of Noise Events on people's Reactions to Noise: An Analysis of Existing Survey Data. *Journal of the Acoustical Society of America*, 75, 447-467.
- Finegold, L., Harris, C., & Von Gierke, H. (1992). Applied Acoustical Report: Criteria for Assessment of Noise Impacts on People. *Submitted to Journal of Acoustical Society of America*.

- Fitch, J. (2010). *Emulación del Valor Inmobiliario y Dinámica Territorial*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Fitch, J., Soto, K., & Garza, R. (2012). Valuación de la calidad urbano-ambiental. Una modelación hedónica: San Nicolás de los Garza, México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 28(2), 383-428.
- Fotheringham, A., Brundson, C., & Charlton, M. (2002). *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. UK: John Wiley & Sons.
- Galiani, S., Seira, E., & Magaloni, B. (2012). *Impacto del crimen en el precio de las viviendas*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Galilea, P., & Ortúzar, J. (2005). Valuing noise level reductions in a residential location context. *Transportation Research*, 305-322.
- Galloway, W., Eldred, K., & Simpson, M. (1974). *Population distribution of the united states as a function of outdoor noise level*. Washington, D. C. : U.S. Environmental Protection Agency.
- Galster, G. (2001). On the Nature of Neighbourhood. *Urban Studies*, 38(11), 2111-2124.
- García-López, M., & Muñiz, I. (2007). ¿Policentrismo o dispersión? Una aproximación desde la nueva economía urbana. *Investigaciones regionales*, 25-43.
- German, M. (2009). *Análisis del ambiente sonoro y de la reacción humana al ruido en espacios urbanos de la Ciudad de México*. Ciudad de México: UNAM.
- German, M., Barrigón, J., & Orozco, A. (2011). Estudio del ruido ambiental en dos zonas de la Ciudad de México a través del método de categorización vial. *TecniAcústica*.
- Gjestland, T. (2008). *Background noise levels in Europe*. Noruega: SINTEF.
- Gonzalez, F., Leipnik, M., & Mazumder, D. (2013). How much are urban residents in Mexico willing to pay for cleaner air? *Environment and Development Economics*, 18, 354-379.
- Goodman, A., & Thibodeau, T. (1998). Housing market segmentation. *Journal of Housing Economics*, 7, 121-143.
- Goodman, A., & Thibodeau, T. (2007). The spatial proximity of metropolitan area housing submarkets. (232, Ed.) *Real Estate Economics*, 35(2), 209.
- Goudreau, S., Plante, C., Fournier, M., Brand, A., Roche, Y., & Smargiassi, A. (2014). Estimation of Spatial Variations in Urban Noise Levels with a Land Use Regression Model. *Environment and Pollution*, 3(4).
- Graizbord, B. (2008). *Geografía del transporte en el área metropolitana de la Ciudad de México*. Ciudad de México: El Colegio de México, A.C.
- Graizbord, B., & Acuña, B. (2007). Movilidad residencial en la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 22(2), 291-335.
- Graizbord, B., & Scheingart, M. (1998). *Vivienda y vida urbana en la Ciudad de México. Los conjuntos habitacionales del Infonavit*. Ciudad de México: El Colegio de México.

- Granö, J. (1929). *Reine Geographie*. Turum Yliopisto.
- Griffiths, T., & Langdon, F. (1968). Subjective response to road traffic noise. *J. Sound Vibr*, 8(1), 16-33.
- Grigsby, W. (1963). *Housing Markets and Public Policy*. United States of America: University of Pennsylvania Press.
- Griliches, Z. (1961). Hedonic Prices Indexes for Automobiles: An Econometric Analysis of Quality Change. En R. o. Committee, *The Price Statistics of the Federal Government* (págs. 173-196). Chicago: NBER.
- Guarironi, M., Ganzleben, C., Murphy, E., & Jurkiewicz, K. (2012). *Towards a comprehensive noise strategy*. Brussels: European Union.
- Ham, Y., Maddison, D., & Elliott, R. (2013). The valuation of landfill disamenities in Birmingham. *Ecological Economics*, 85, 116-129.
- Hancock, K. (1991). The determination of housing submarkets: case studies using Scottish data. *Unpublished paper*. (C. f. Research, Ed.) Glasgow: University of Glasgow.
- Havard, S., Reich, B., Bean, K., & Chaix, B. (2011). Social inequalities in residential exposure to road traffic noise: an environmental justice analysis based on the RECORD Cohor Study. *Occupational and Environmental Medicine*, 68(5), 366-374.
- Hirsch, W. (1973). *Urban economic analysis*. New York; Montreal: McGraw-Hill.
- Hirsch, W. (1977). *Análisis de economía urbana*. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- Hoyt, H. (1939). *The Structure and Growth of Residential Neighborhoods in American Cities*. Washington: Federal Housing Administration.
- Jasper, D., & Straaten, W. (2008). Monetary valuation of aircraft Noise: A hedonic analysis around Amsterdam airport. *Journal of Ecological Economics*, 11, 2850-2858.
- Jauregui, A., & Hite, D. (2010). The impact of real estate agents on house prices near environmental disamenities. *Housing Policy Debate*, 20(2), 295-316.
- Job, R., Hatfield, J., Carter, N., Peplow, P., Taylor, R., & Morrell, S. (1999). Reaction to noise: the roles of soundscape, enviroscape and psychscape. En *Proceedings of the 1999 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*. Florida.
- Kang, J. (2013). En R. Yao, *Design and management of sustainable built environments*. Springer.
- Kang, J., Aletta, F., Gjestland, T., Brown, L., Botteldooren, D., Schulte-Fortkamp, B., . . . Lavia, L. (2016). Ten questions on the soundscapes of the built environment. *Building and Environment*, 108, 284-294.
- Kephalopoulos, S., Paviotti, M., & Leede, F. (2012). *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*. Italy: Publications Office of the European Union.
- Keskin, B., & Watkins, C. (2016). Defining spatial housing submarkets: Exploring the case for expert delineated boundaries. *Urban Studies*.

- Kiel, K., & Zabel, J. (2008). Location, location, location: The 3L Approach to house price determination. *Journal of Housing Economics*, 175-190.
- King, G., Roland-Mieszkowski, M., Jason, T., & Rainham, D. (2012). Noise Levels Associated with Urban Land Use. *Journal of Urban Health*.
- Krause, B. (1987). Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. *Whole Earth Review*, 57, 14-18.
- Kunz, G. (09 de Junio de 2017). *La constitución urbana y espacial de la ZEDEC Santa Fe: origen y desarrollo producto de la reestructuración urbana, y símbolo del proyecto neoliberal mexicano*. Obtenido de Universidad Iberoamericana: <http://www.bib.uia.mx/ciudad/siglo21/Kunz.pdf>
- Lakes, T., Bückner, M., & Krämer, A. (2013). Development of an environmental justice index to determine socio-economic disparities of noise pollution and green space in residential areas in Berlin. *Journal of Environmental Planning and Management*.
- Lambert, J., & Champlovier, F. (2001). Valuing benefits of road traffic noise abatement program: A contingent valuation study. *Paper presented at the 17th international congress on acoustics*. France: INRETS-LTE.
- Lambert, J., Simonnet, F., & Vallet, M. (1984). Patterns of Behaviour in Dwellings Exposed to Road Traffic Noise. *Journal of Sound and Vibration*, 92, 159-172.
- Lancaster, K. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of political economy*, 74(2), 132-157.
- Lercher, P., Evans, G., Meis, M., & Kofler, W. (2002). Ambient neighbourhood noise and children's mental health. *Occupational and Environmental Medicine*, 59.
- Lezama, J. (2014). *Teoría social, espacio y ciudad*. Ciudad de México: El Colegio de México.
- Lynch, E., & Frstrup, K. (2011). An assessment of noise audibility and sound levels in U.S. National Parks. *Landscape Ecology*, 26(9), 1297-1309.
- MacLennan, D., & Tu, Y. (1996). Economic perspectives on the structure of local housing systems. *Housing Studies*, 11(3), 387-406.
- Manganelli, B., Pontrandolfi, P., Azzato, A., & Murgante, B. (2014). Using geographically weighted regression for housing market segmentation. *International Journal of Business Intelligence and Data Mining* 13, 9(2), 161-177.
- Margaritis, E., & Kang, J. (2017). Relationship between green space-related morphology and noise pollution. *Ecological Indicators*, 72, 921-933.
- Marmolejo, C. (2008). La incidencia de la percepción del ruido ambiental sobre la formación espacial de los valores residenciales: un análisis para Barcelona. *Revista de la Construcción*, 7(1), 4-19.
- Martínez, A. (2005). Ruido por tráfico urbano: conceptos, medidas descriptivas y valoración económica. *Revista de economía y administración*.
- Mattos, C. (2010). Globalización y metamorfosis urbana en América Latina. *Revista de Geografía Norte Grande*(47), 81-104.

- Mattos, de, C. (2010). *Globalización y metamorfosis urbana en América Latina*. OLACCHI.
- Meadowcroft, J. (2004). Externalities and the proper role of government. *Economic Affairs*, 24, 77.
- Megbolugbe, I., Hoek-Smit, M., & Linneman, P. (1996). Understanding Neighbourhood Dynamics: A Review of the Contributions of William G. Grigsby. *Urban Studies*, 33(10), 1787.
- Mendelsohn, R., Hellerstein, D., Huguenin, M., Unsworth, R., & Brazee, R. (1992). Measuring Hazardous Waste Damages with Panel Models. *Journal of Environmental Economics and Management*, 22, 259-271.
- Michaels, R., & Smith, V. (1999). Market Segmentation and Valuing Amenities with Hedonic Models: The Case of Hazardous Waste Sites. *Journal of Urban Economics*, 28, 223-242.
- Miedema, H. (2007). Annoyance Caused by Environmental Noise: Elements for Evidence-Based Noise Policies. *Journal of Social Issues*, 63, 41-57.
- Miedema, H., & Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *The Journal of Acoustical Society of America*, 104, 3432-3445.
- Mill, J. (1848). *Principles of Political Economy with Some of their Applications to Social Philosophy*. London: John W. Parker.
- Miller, N. (2004). Transportation noise and the value of natural quiet. *Proc. GWS/National Park Service Joint Conference*.
- Morley, D., De, H., Fetch, D., Fabbri, F., Bell, M., Goodman, P., . . . Gulliver, J. (2015). International scale implementation of the CNOSSOS-EU road traffic noise prediction model for epidemiological studies. *Environmental Pollution*, 206, 332-341.
- Munro, M. (1986). Testing for segmentation in the private housing market in Glasgow. (C. f. Research, Ed.) *DP 8*.
- Muñiz, I., Sánchez, V., & García-López, M. (2015). Estructura espacial y densidad de población en la ZMVM 1995-2010: evolución de un sistema urbano policéntrico. *EURE*, 41(122), 75-102.
- Murphy, E., & King, E. (2014). *Environmental Noise Pollution*. San Diego: 2014.
- Navrud, S. (2000). *Valuation Techniques and Benefit Transfer Methods: Strengths, Weaknesses and Policy Utility*. OECD.
- Navrud, S. (2002). *The State of the Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to European Commission DG Environment April 14th*. Oslo: Department of Economics and Social Sciences of the Agricultural University of Norway.
- Navrud, S., & Strand, J. (2011). Using Hedonic Pricing for Estimating Compensation Payments for Noise and Other Externalities Valuation. En J. Bennett, *The International Handbook on Non-Market Environmental Valuation* (págs. 14-36). Cheltenham, Reino Unido: MPG Book Group, UK.
- Nellthorp, J., Bristow, A., & Day, B. (2007). Introducing Willingness-to-pay for Noise Changes into Transport Appraisal: An Application of benefit transfer of. *Transport Reviews*, 27(3), 327-353.

- Nelson, A., Genereux, J., & Genereux, M. (1992). Price Effects of Landfills on House Values. *Land Economics*, 68(4), 359-365.
- Nelson, J. (1978). Residential Choice, Hedonic Prices, and the Demand for Urban Air Quality. *Journal of Urban Economics*, 5, 357-369.
- Netusil, N. (2005). The effect of environmental zoning and amenities on property values. *Land Economics*, 81(2), 227.
- Orford, S. (1988). Valuing Location in an Urban Housing Market. *the Proceedings of the 3rd International Conference on GeoComputation* (págs. 56-58). Bristol: University of Bristol.
- Organización Mundial de la Salud. (1999). Guidelines for Community Noise.
- Organización Mundial de la Salud. (2002). 6th Environmental Action Programme of the European Community.
- Organización Mundial de la Salud. (2009). Night Noise Guidelines for Europe.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Burden of Disease from Environmental Noise.
- Oscanoa, H. (1999). *Valoración económica de los beneficios por la disminución del nivel de ruido por tráfico aéreo en Santa Fé de Bogotá*. Colombia: Universidad de Los Andes.
- Ostrom, E. (2003). Toward a Behavioral Theory Linking Trust, Reciprocity and Reputation. En E. Ostrom, & J. Walker, *Trust and Reciprocity: Interdisciplinary Lessons for Experimental Research* (págs. 19-79). New York: Russell Sage.
- O'Sullivan, A. (1996). *Urban Economics*. Irwin.
- Ouis, D. (2002). Annoyance Caused by Exposure to Road Traffic Noise: An Update. *Noise & Health*, 4(15), 69-79.
- Palm, R. (1978). Spatial segmentation of the urban housing market. *Economic Geography*, 54(3), 210-221.
- Pantaleón, N. (2012). *Segregación residencial en la Zona Metropolitana del Valle de México 2000-2010, un análisis espacial*. Ciudad de México: FLACSO.
- PAOT. (2005). *Contaminación por ruido y vibraciones: Implicaciones en la salud y calidad*. Ciudad de México: PAOT. Obtenido de www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd65/ruido02.pdf
- PAOT. (2005). *Contaminación por ruido y vibraciones: Implicaciones en la salud y calidad de vida de la población*.
- PAOT. (2016). *Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de http://www.paot.org.mx/contenidos_graficas/delegaciones/reporte_completo.php
- Papageorgiou, G. (1976). *On Spatial Consumer Equilibrium, Essays in Mathematical Land Use Theory*. Lexington: Lexington Books.

- Parlamento Europeo. (2012). Towards a Comprehensive Noise Estrategy).
- Pearce, D. (1976). *Environmental Economics*. London; New York: Longman.
- Pearce, D., & Turner, K. (1995). *Economics of natural resources and the environment*. London: Harvester.
- Pérez, J. (2006). Econometría espacial y ciencia regional. *Investigación Económica*, 55(258), 129-160.
- Pigou, A. (1920). *The Economics of Welfare*. London: Macmillan and Co.
- Pinch, S. (1985). *Cities and Services: The Geography of Collective Consumption*. London: Routledge Taylor & Francis Group.
- Pommerehne, W. (1988). Measuring environmental benefits: a comparison of hedonic techniques and contingent valuation. *Welfare and Efficiency in Public Economics*, 424.
- Radicchi, A. (2013). Radicchi, A. Emotional geography & soundscape studies: beyond the cognitive approach in (sound) mapping urban spaces. *Experiential Simulation: the sensorial perception of the built environment*. Firenze, Italy.
- Ramírez, A., & Domínguez, E. (2011). El ruido vehicular urbano: problemática agobiante de los países en vías de desarrollo. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 35(137), 509-530.
- Richardson, H. (1977). On the possibility of positive rent gradients. *Journal of Urban Economics*, 4.
- Ridker, R., & Henning, J. (1967). The Determinants of Residential Property Values with Special Reference to Air Pollution. *The Review of Economics and Statistics*, 49(2), 246-257.
- Roberts, G. (1996). The NCAA, antitrust, and consumer welfare. *Tulane Law Rev*, 70, 2631-2674.
- Robinson, D. (1971). Towards a Unified System of Noise Assessment. *Journal of Sound and Vibration*, 14, 279-298.
- Rodríguez, F. (2015). Ruido ambiental, comunicación y normatividad en la Ciudad de México. *Razón y Palabra*, 91.
- Rodríguez, F. (2016). *Espacio, sonido y arquitectura*. Ciudad de México: LIMUSA.
- Rojas, E., Cuadrado-Roura, J., & Fernández, J. (2005). *Gobernar las metrópolis*. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Romo-Orozco, J. (2013). *Evaluación de los costes y beneficios de la implementación del aislamiento acústico en el mercado residencial de nueva planta en Barcelona*. Barcelona: UPC.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of political economy*, 34-55.
- Ross, S., & Yinger, J. (1999). Sorting and voting: A review of literature on urban public finance. *Handbook of regional and urban economics*, 3, 2001-2060.
- Rubalcava, R., & Schteingart, M. (2012). *Ciudades divididas*. Ciudad de México: El Colegio de México.

- Sabatini, F. (2003). *The Social Spatial Segregation in the Cities of Latin America*. Washington: Inter-American Development Bank .
- Salazar, S. (2004). Tráfico rodado y efectos externos: Valoración económica del ruido. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*(57), 46-67.
- Sanchez, L. (2012). ¿Viviendo cada vez más separados? Un análisis multigrupo de la segregación residencial en la Ciudad de México, 1990-2005. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 27(1), 57-93.
- Schafer, M. (1969). *The new soundscape: a handbook for the modern music teacher*. Canada: BMI.
- Schnare, A., & Struyk, R. (1976). Segmentation in urban housing markets. *Journal of urban economics*, 3, 146-166.
- Schultz, T. (1978). Synthesis of social survey on noise annoyance. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 377-405.
- Seddighi, H., Katos, A., & Lawler, K. (2008). *Econometrics: a practical approach*. London: Routledge.
- Sobotta, R., Campbell, H., & Owens, B. (2007). Aviation Noise and Environmental Justice: The Barrio Barrier. *Journal of Regional Science*, 47(1), 125-154.
- Sobrinho, J. (2007). Patrones de dispersión intrametropolitana en México. *Estudios demográficos y urbanos*, 583-617.
- Sobrinho, J. (2014). Housing prices and submarkets in Mexico City: A hedonic assessment. *Estudios Económicos*, 57-84.
- Soguel, N. (1994). *Evaluation monétaire des atteintes a l'environnement: Une étude hedoniste et contingente sur l'impact des transports*. Francia: Imprimerie de L'évêque SA Neuchatel.
- Southworth, M. (1967). *The Sonic Environment of Cities*. United States: Massachusetts Institute of Technology.
- Stewart, C., Russel, W., & Luz, G. (1999). Can population density be used to determine ambient noise levels? *Can population density be used to determine ambient noise levels?* Berlin.
- Strand, J., & Vagnes, M. (2001). The relationship between property values and railroad proximity: A study based on hedonic prices and real estate brokers appraisals. *Transportation*, 28(2), 137-156.
- Straszheim, M. (1975). *An econometric analysis of the urban housing market*. New York: National Bureau of Economic Research.
- Symonds. (2003). *Definition, Identification and Preservation of Urban & Rural Quiet Areas*. United Kingdom: Symonds Group Limited.
- Terrazas, R. (2010). La ciudad que hoy es centro. En R. Terrazas, *La ciudad que hoy es centro* (págs. 9-26). Ciudad de México: UAM-Azcapotzalco-Conacyt.
- Thebe, M. (2004). Planes, Trains, and Automobiles: The Impact of Traffic Noise on House Prices. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 28, 209-234.

- Thune-Larsen, H. (1995). Flystøyavgifter basert på. *Transportøkonomisk*.
- Troy, A., & Grove, J. (2008). Property values, parks, and crime: a hedonic analysis in Baltimore. *Landscape and Urban Planning*, 87(3), 233-245.
- Tu, Y., Sun, H., & Yu, S. (2007). Spatial autocorrelations and urban housing market segmentation. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 34(3), 385-406.
- Uimonen, H. (2008). Pure Geographer. Observations on J.G. Granö. *Soundscapes*, 8(1), 14-18.
- Vainio, M. (2001). Comparison of Hedonic Prices and Contingent Valuation Methods in Urban Traffic Noise Context. *International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*. Finland: Transport Research Laboratory.
- Valdivia, M. (2014). Presencia e impacto espacial de los sectores creativos en las zonas metropolitanas de México. *Estudios fronterizos*, 15(30).
- Varian, H., & Repcheck, J. (2010). *Intermediate microeconomics: a modern approach*. New York: WW Norton & Company.
- Von Thünen, J. (1826). *El Estado Aislado en relación con la agricultura y la economía nacional*. Hamburgo: DE.
- Walters, A. (1975). *Noise and Prices*. London: Oxford University Press.
- Warren, P., Katti, M., Ermann, M., & Brazel, A. (2006). Urban bioacoustics: it's not just noise. *Animal Behaviour*, 71(3), 491-502.
- Watkins, C. (2001). The definition and identification of housing submarkets. *Environment and Planning A*, 33, 2,235-2,253.
- Wilhelmsson, M. (2000). The Impact of Traffic Noise on the Values of Single-Family Houses. *Journal of Environmental Planning and Management*, 43(6), 779-815.
- Wingo, L. (1961). An economic model of the utilization of urban land. *An economic model of the utilization of urban land. Papers in Regional Science*, 7(1), 191-205.
- World Health Organization. (2011). *Burden of disease from environmental noise*.
- Wu, C., & Sharma, R. (2012). Housing submarket classification: The role of spatial contiguity. *Applied Geography*, 32, 746-756.
- Xiao, Y. (2016). *Urban Morphology and Housing Market*. Shanghai, China: Tongji University Press.
- Yamada, H. (1972). On the Theory of Residential Location: Accessibility, Space, Leisure and Environmental Quality. *Papers of the Regional Science Association*, 29.
- Yang, W., & Kang, J. (2005). Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. *Applied acoustics*, 66, 211-229.

- Yinger, J. (1979). Prejudice and discrimination in the urban housing market. En P. Mieszkowski, & M. Straszheim , *Current Issues in Urban Economics* (págs. 430-468). Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press.
- Young, C. (1984). Perceived Water Quality and the Value of Seasonal Homes. *Water Resources Bulletin*, 20(2).
- Zubicaray, G. (2015). *Precio de la vivienda y accesibilidad al empleo en el Distrito Federal, 2012*. Ciudad de México: El Colegio de México.