ENTREGABLE: DOCUMENTO DE METODOLÓGICO DE MODELOS ECONOMÉTRICOS

DISTRITO DE CARTAGENA

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO MARCO NO. 059 DE 2021 CON EL DISTRITO TURÍSTICO Y CULTURAL DE CARTAGENA DE INDIAS

ELABORADO: UNIDAD ADMINISTRTIVA ESPECIAL DE CATASTRO DISTRITAL-UAECD

DICIEMBRE DE 2022

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2016, el gobierno nacional se ha propuesto superar problemas y falencias de la información catastral en el país, en sus componentes físico, jurídico, económico e institucional, mediante la formulación e implementación de los CONPES 38591 y 39582 , de 2016 y 2019 respectivamente, los cuales han dado lugar a un marco legal, regulatorio y al diseño de procesos e instrumentos que orientan la implementación de una política de Catastro Multipropósito que se traduce en la comprensión del predio en el contexto del territorio como construcción social.

Con el proceso de actualización catastral se pretende renovar los datos del inventario predial actual en sus aspectos físicos, jurídico y económico, recogiendo los cambios y trasformaciones que experimentan los bienes inmuebles del municipio, incluyendo las transacciones que sobre ellos se realizan o asocian. Uno de los componentes es el proceso de actualización de los aspectos económicos, para hacerlo se requiere que la entidad realice esfuerzos para conocer en detalle el comportamiento de la dinámica inmobiliaria económica o de valor tanto del suelo, como de las construcciones[1] para las zonas y los predios del territorio, esto fundado en investigaciones y análisis de este mercado. En el marco de los procesos de actualización catastral, una vez revisados los aspectos físicos y jurídicos de los predios, deben eliminarse del componente económico las disparidades ocurridas por los cambios físicos y jurídicos (cambios de área, de uso o de destino, incorporaciones de reglamentos de PH, entre otros).

En este marco y con una explicación muy somera, el avalúo catastral obtenido por los procesos masivos de las actualizaciones permanentes (tal y como lo definen las normas), se obtiene tomando en consideración las actividades de pre y reconocimiento predial (actualización física) y las Zonas Homogéneas Físicas-ZHF y las Zonas Homogéneas Geoeconómicas-ZHG, utilizando para ello las investigaciones del mercado y los avalúos comerciales de los puntos muestra determinados estadísticamente. Con esta información se realiza a través de modelos econométricos el cálculo de la estimación del valor integral comercial para predios PH y, por ende, el valor catastral, buscando reflejar la dinámica del mercado inmobiliario.

Bajo este contexto, en el presente documento se abordan los elementos claves para desarrollar el proceso de modelamiento de valores comerciales del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias para la vigencia 2023 en el marco del Catastro Multipropósito, teniendo como referente la metodología que se viene implementado en Bogotá D.C. y en los municipios en los cuales la UAECD ha sido operador o gestor catastral.

En el capítulo 1 se presenta el objetivo que se pretende con el desarrollo de los modelos econométricos, en el 2 se dan algunas definiciones claves para entender lo referente al modelo, en la sección 3 se hace

[1] El artículo 5 de la Resolución 070 de 2001 (expedida por el IGAC), en concordancia con el decreto 3496 de 1983, establece que el aspecto económico corresponde al *"…avalúo catastral, obtenido por la adición de los avalúos parciales practicados independientemente para los terrenos y las edificaciones en él comprendidos"*

un breve resumen de la teoría de modelos lineales generalizados, y de los aditivos generalizados, sobre la cual se sustentan los modelos econométricos. En la sección 4 se exponen las posibles variables que pueden intervenir en el modelo y, finalmente, en el capítulo 6 se presentan los resultados.

Contenido

INTRODUCCIÓN 2

1. Objetivo 4

2. Definiciones 4

3. Marco Conceptual 5

3.1 Modelos generalizados 5

4. Variables 6

4.1 Valor integral 7

4.2 Puntaje 7

4.3 Áreas 11

4.4 Vetustez 11

4.5 Zonas Homogéneas Físicas 11

4.6 Zonas Homogéneas Geoeconómicas 12

4.7 Coordenadas geográficas 12

4.8 Otras variables 13

5. Insumos 13

5.1 Avalúos 13

5.2 Base alfanumérica 15

5.3 Coordenadas 16

6. Modelos Econométricos 16

6.1 Especificación 16

6.2 Agrupaciones 18

6.3 Resultados 19

6.3.1 Análisis descriptivo 19

6.3.2 Estimación de los modelos 27

6.3.3 Revisión de supuestos y ajuste del modelo 31

6.3.4 Predicción dentro de la muestra 40

6.3.5 Predicción fuera de la muestra 40

7. Bibliografía 41

1. Objetivo

Estimar modelos econométricos a partir de los avalúos de puntos de investigación económica (puntos muestra), con el propósito de inferir el valor comercial de los predios urbanos sometidos al régimen de propiedad horizontal del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias.

2. Definiciones

Es importante tener claridad sobre algunas definiciones que son fundamentales en la actividad catastral:

Avalúo catastral: es el valor de un predio, resultante de un ejercicio técnico que, en ningún caso, podrá ser inferior al 60% del valor comercial o superar el valor de este último. Para su determinación no será necesario calcular de manera separada el valor del suelo y el de la construcción.

Valor comercial: es el precio más probable por el cual un predio se transaría en un mercado en donde el comprador y el vendedor actuarían libremente con el conocimiento de las condiciones físicas y jurídicas que afectan el bien.

Puntos de investigación económica (puntos muestra): Los puntos muestra o también llamados puntos de investigación económica, son el insumo para la elaboración de las Zonas Homogéneas Geoeconómicas ZHG y para la determinación de valores unitarios de terreno y/o de construcciones, a los cuales se les realiza un avalúo comercial que es complementado con la investigación directa e indirecta de precios en el mercado inmobiliario.

Ficha predial: es el documento, en medio análogo o digital en el cual se consigna la información correspondiente a cada uno de los predios de la unidad orgánica catastral según el modelo que determine el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

PARÁGRAFO: Una vez diligenciada la ficha predial, se constituye en la constancia de identificación predial.

Propiedad horizontal: De acuerdo con el artículo 17 de la Resolución 70 de 2011, la Propiedad Horizontal es una "Forma especial de dominio en la que concurren derechos de propiedad exclusiva sobre bienes privados y derechos de copropiedad sobre el terreno y los demás bienes comunes."

Uso predominante de un predio: es aquel que ocupa la mayor proporción del área construida total.

3. Marco Conceptual

3.1 Modelos generalizados

Para el desarrollo de la fase de obtención del modelo, se da a continuación una breve explicación de la definición y conceptualización básica de los modelos lineales generalizados y los modelos aditivos generalizados. Para ello, se presentan previamente algunos conceptos de los modelos de regresión normal y los modelos lineales generalizados para luego hacer la extensión hacia esta clase de modelos, los cuales son un poco más avanzados respecto a la estadística tradicional.

Se tiene una variable objetivo de estudio (y), para la cual se asume existe una relación con un grupo de variables a través de una función de las mismas. En los modelos de regresión normal, se asume que la variable de interés se distribuye de forma normal con media μ y varianza σ^2 y el conjunto de variables X son los predictores o variables explicativas. Cada uno de los predictores es multiplicado por un coeficiente β para conformar un predictor lineal, tal como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$y \sim N(\mu, \sigma^2)$$

$$\mu = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_p x_p$$

Este modelo clásico tiene limitaciones en cuanto a la captura de la relación existente entre las variables explicativas y la variable respuesta (de tipo lineal) y el comportamiento de la variable respuesta está restringido a una distribución simétrica y con una forma definida.

Una extensión del modelo anterior corresponde a una familia de modelos que permiten incorporar otro tipo de distribuciones para la variable respuesta e incluyen una función de enlace $g(\cdot)$ que relaciona el valor esperado de y con el predictor $X\beta$. Esta clase más general de modelos se denominan Modelos Lineales Generalizados (MLG).

Esta flexibilidad incorporada al modelo permite trabajar con otro tipo de datos: conteos, proporciones, continuos asimétricos[2], entre otros. Adicionalmente la función de enlace captura relaciones no lineales entre el predictor y la variable de interés.

Otra extensión que flexibiliza aún más los MLG es la incorporación de formas no lineales para los predictores vía Modelos Aditivos Generalizados. En estos modelos, la variable respuesta, al igual que en los MLG, puede ser cualquiera que pertenezca a la familia exponencial, esto es, una variable cuya función de densidad de probabilidad se pueda expresar de la siguiente forma: (Paula 2010)

$$f(y_i; \theta_i, \varphi) = exp[\varphi\{y_i\theta_i - b(\theta_i)\} + c(y_i, \varphi)] \quad (1)$$

[2] Distribuciones que presentan algún sesgo (positivo o negativo) y propiedades particulares, por ejemplo la gamma que solo admite valores positivos y es muy utilizada para la valoración de inmuebles.

Para relacionar el valor esperado de y con el predictor lineal se puede adoptar cualquier función de enlace que se adecuada, pero ahora, este último admite funciones no lineales de tipo paramétrico y no paramétrico para las covariables. En resumen, el modelo puede especificarse como:

$$y \sim Famila\ Exponencial(\mu,\cdot,\cdot)$$

$$\mu = \beta_0 + f(x_1) + \cdots + f(x_p)$$

Las funciones $f(x)$ pueden ser funciones suavizadas de los predictores, las cuales hacen al modelo muy versátil. La siguiente gráfica muestra la forma en que los tres modelos citados anteriormente capturan la relación entre las variables explicativas y la variable de interés.

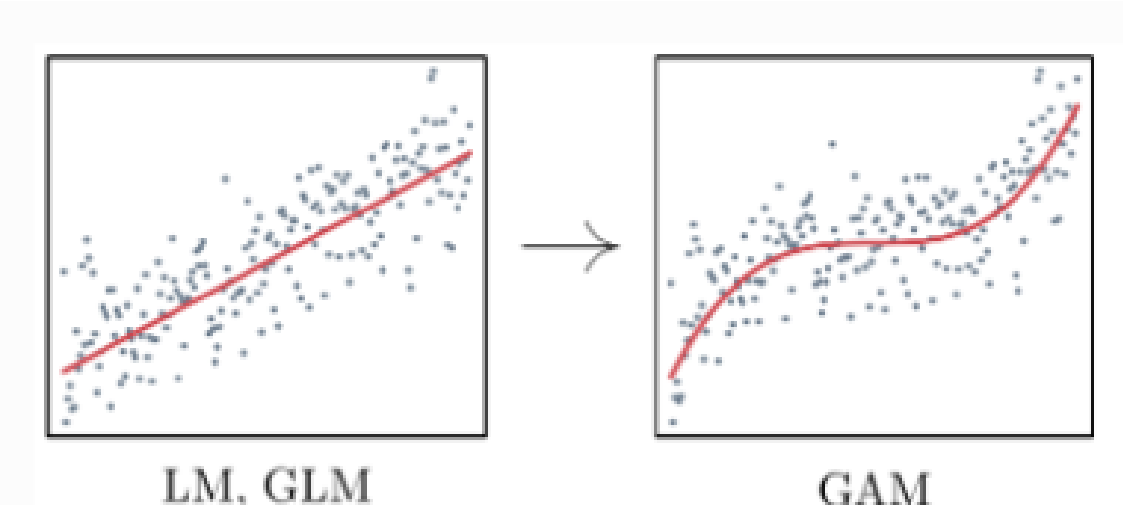


Figura 1. Comparación modelos LM, GLM y GAM

Sin profundizar demasiado en el tema teórico, el proceso de obtención del modelo se desarrolló bajo una combinación de resultados y análisis obtenidos a través del software estadístico R de libre distribución. Se abordaron modelos con distribución normal, normal transformada mediante la función logaritmo y distribución gamma con diferentes funciones de enlace.

Una de las estrategias para la selección del conjunto de variables explicativas que mejor explican el comportamiento de la variable respuesta es la comparación de modelos a través del criterio de información de Akaike (AIC), este representa la distancia que existe entre el modelo saturado, es decir modelo teniendo en cuenta todas las variables explicativas con las cuales se cuenta, y el modelo restringido a un determinado número de variables que se desean incluir. Este criterio permite llegar al mejor modelo desde el punto de vista estadístico para que luego las predicciones hechas por el modelo sean validadas desde los territorios.

4. Variables

Según el Artículo 90 de la Resolución 070 de 2011, los factores que inciden en el avalúo de construcciones y/o edificaciones son:

a) Los materiales de construcción y su calidad.

b) La tipología de la construcción.

c) Las condiciones urbanísticas y arquitectónicas.

d) La normatividad definida en el Plan o Esquema de Ordenamiento Territorial.

e) La edad o vetustez.

4.1 Valor integral

El Artículo 1° del Decreto 148 de 2020 indica que: *"Avalúo catastral, es el valor de un predio, resultante de un ejercicio técnico que, en ningún caso, podrá ser inferior al 60% del valor comercial o superar el valor de este último. Para su determinación no será necesario calcular de manera separada el valor del suelo y el de la construcción".*

Siguiendo la normatividad, la liquidación del avalúo comercial está en función de la siguiente fórmula:

$$Avalúo\ Comercial\ = (\ A_T\ x\ V_T\ ) +\ (\ A_C\ x\ V_C)$$

Donde:

A_T: Área de terreno (m^2)
V_T: Valor m^2 comercial de terreno (ZHG) $ / m^2
A_C: Área de construcción de la edificación m^2
V_C: Valor m^2 comercial de construcción de la edificación $ / m^2

En el caso particular de los predios sometidos al régimen de propiedad horizontal el componente de terreno no se considera.

Y, el valor integral se define como

$$Valor\ integral = \frac{Avalúo\ Comercial(\$)}{Área\ de\ construcción\ (m^2)}$$

4.2 Puntaje

En el reconocimiento predial, se identifican cuatro variables como las más representativas dentro de las características posibles a examinar en las construcciones y las que mejor explican el avalúo de la construcción. Estas son: estructura, acabados principales, baños y cocina.

Dentro de la estructura se consideran estas cuatro características:

1. Armazón: conjunto compuesto por los cimientos, columnas, vigas, entrepisos y demás componentes del esqueleto que soporta las cargas y sostienen la edificación.

2. Muros: son los muros divisorios no considerados como parte del armazón.

3. Cubierta: techo exterior o tejado de la edificación.

4. Estado de conservación: se refiere a las condiciones de mantenimiento, edad de la construcción y buen uso que presenta el ítem en general.

En los acabados principales se consideran estas cuatro características:

1. Fachada: conjunto de elementos que constituyen el frente o parte exterior de una construcción, que da cara a la vía o camino, incluye la puerta de acceso.

2. Cubrimiento de muros: se califica de acuerdo al material y opciones que se presentan en el formulario, teniendo en cuenta el material predominante y la existencia de materiales costosos.

3. Pisos: se califica de acuerdo al material predominante y al más costoso si se encuentra en partes iguales.

4. Estado de conservación: se califica el estado en que se encuentran todos los componentes con base en los materiales, edad y mantenimiento.

Para el tema de los baños y las cocinas, generalmente se toma el principal de cada unidad de avalúo, sin tener en cuenta los secundarios. Los componentes de esta variable son:

1. Tamaño.

2. Enchapes.

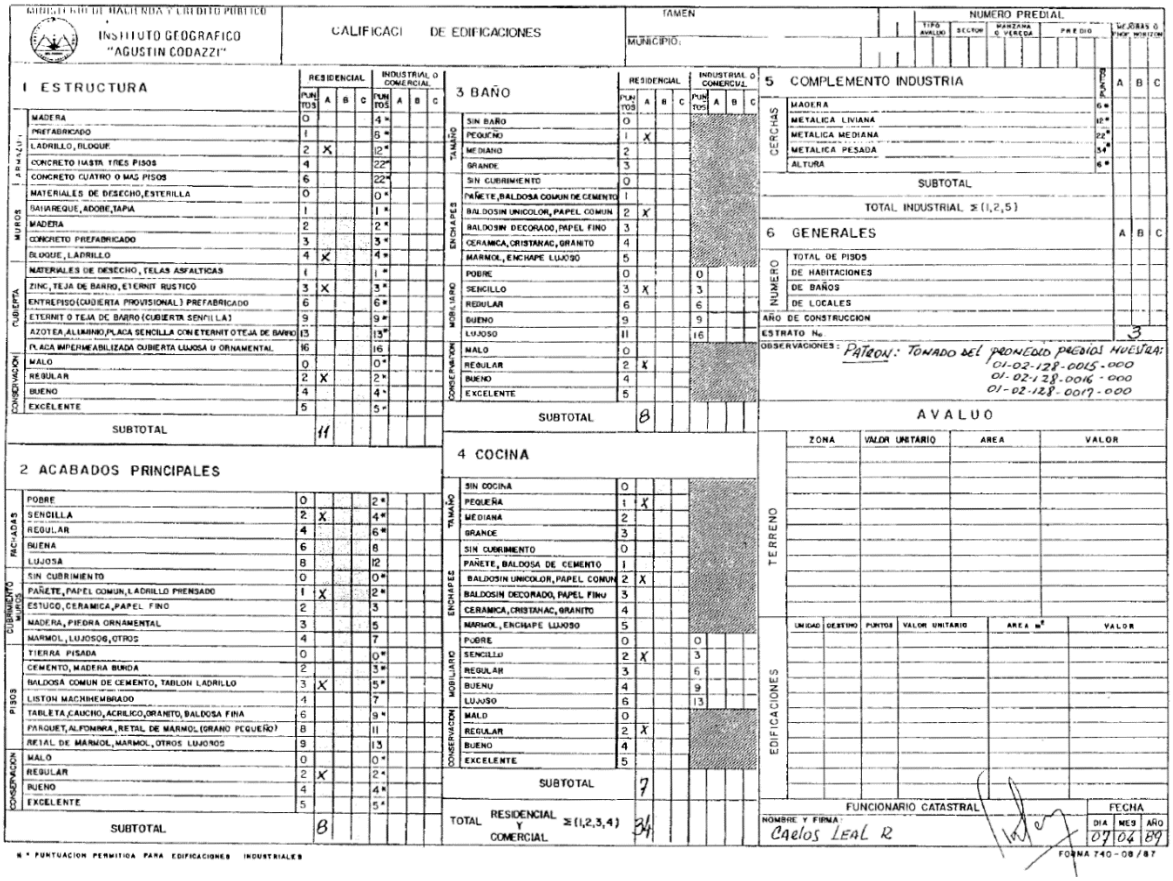
3. Mobiliario.

4. Estado de conservación

También existe una diferenciación y complementación para las edificaciones industriales y comerciales.

Una vez identificadas estas características de las unidades de construcción se procede a sumar el puntaje de acuerdo como se halla identificado en el reconocimiento. La Figura 3. muestra la ficha predial del IGAC.

Figura 3. Ficha predial



MINISTERIO DE HACIENDA Y CREDITO PUBLICO
INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTIN CODAZZI"

CALIFICACI DE EDIFICACIONES

IAMEN — MUNICIPIO:

NUMERO PREDIAL: TIPO AVALUO | SECTOR | MANZANA O VEREDA | PREDIO | MEJORAS O NOV. MORTIZ.

1 ESTRUCTURA		RESIDENCIAL PUNTOS	A	B	C	INDUSTRIAL O COMERCIAL PUNTOS	A	B	C
ESTRUCTURA	MADERA	0				4 *			
	PREFABRICADO	1				8 *			
	LADRILLO, BLOQUE	2	X			12 *			
	CONCRETO HASTA TRES PISOS	4				22 *			
	CONCRETO CUATRO O MAS PISOS	6				22 *			
MUROS	MATERIALES DE DESECHO, ESTERILLA	0				0 *			
	BAHAREQUE, ADOBE, TAPIA	1				1 *			
	MADERA	2				2 *			
	CONCRETO PREFABRICADO	3				3 *			
	BLOQUE, LADRILLO	4	X			4 *			
CUBIERTA	MATERIALES DE DESECHO, TELAS ASFALTICAS	1				1 *			
	ZINC, TEJA DE BARRO, ETERNIT RUSTICO	3	X			3 *			
	ENTREPISO (CUBIERTA PROVISIONAL) PREFABRICADO	6				6 *			
	ETERNIT O TEJA DE BARRO (CUBIERTA SENCILLA)	9				9 *			
	AZOTEA, ALUMINIO, PLACA SENCILLA CON ETERNIT O TEJA DE BARRO	13				13 *			
	PLACA IMPERMEABILIZADA CUBIERTA LUJOSA U ORNAMENTAL	16				16			
CONSERVACION	MALO	0				0 *			
	REGULAR	2	X			2 *			
	BUENO	4				4 *			
	EXCELENTE	5				5 *			
	SUBTOTAL		11						

2 ACABADOS PRINCIPALES									
FACHADAS	POBRE	0				2 *			
	SENCILLA	2	X			4 *			
	REGULAR	4				6 *			
	BUENA	6				8			
	LUJOSA	8				12			
CUBRIMIENTO MUROS	SIN CUBRIMIENTO	0				0 *			
	PAÑETE, PAPEL COMUN, LADRILLO PRENSADO	1	X			2 *			
	ESTUCO, CERAMICA, PAPEL FINO	2				3			
	MADERA, PIEDRA ORNAMENTAL	3				5			
	MARMOL, LUJOSOS, OTROS	4				7			
PISOS	TIERRA PISADA	0				0 *			
	CEMENTO, MADERA BURDA	2				3 *			
	BALDOSA COMUN DE CEMENTO, TABLON LADRILLO	3	X			5 *			
	LISTON MACHIHEMBRADO	4				7			
	TABLETA, CAUCHO, ACRILICO, GRANITO, BALDOSA FINA	6				9 *			
	PARQUET, ALFOMBRA, RETAL DE MARMOL (GRANO PEQUEÑO)	8				11			
	RETAL DE MARMOL, MARMOL, OTROS LUJOSOS	9				13			
CONSERVACION	MALO	0				0 *			
	REGULAR	2	X			2 *			
	BUENO	4				4 *			
	EXCELENTE	5				5 *			
	SUBTOTAL		8						

3 BAÑO		RESIDENCIAL PUNTOS	A	B	C	INDUSTRIAL O COMERCIAL PUNTOS	A	B	C
TAMAÑO	SIN BAÑO	0							
	PEQUEÑO	1	X						
	MEDIANO	2							
	GRANDE	3							
ENCHAPES	SIN CUBRIMIENTO	0							
	PAÑETE, BALDOSA COMUN DE CEMENTO	1							
	BALDOSIN UNICOLOR, PAPEL COMUN	2	X						
	BALDOSIN DECORADO, PAPEL FINO	3							
	CERAMICA, CRISTANAC, GRANITO	4							
	MARMOL, ENCHAPE LUJOSO	5							
MOBILIARIO	POBRE	0				0			
	SENCILLO	3	X			3			
	REGULAR	6				6			
	BUENO	9				9			
	LUJOSO	11				16			
CONSERVACION	MALO	0							
	REGULAR	2	X						
	BUENO	4							
	EXCELENTE	5							
	SUBTOTAL		8						

4 COCINA		RESIDENCIAL PUNTOS	A	B	C	INDUSTRIAL O COMERCIAL PUNTOS	A	B	C
TAMAÑO	SIN COCINA	0							
	PEQUEÑA	1	X						
	MEDIANA	2							
	GRANDE	3							
ENCHAPES	SIN CUBRIMIENTO	0							
	PAÑETE, BALDOSA DE CEMENTO	1							
	BALDOSIN UNICOLOR, PAPEL COMUN	2	X						
	BALDOSIN DECORADO, PAPEL FINO	3							
	CERAMICA, CRISTANAC, GRANITO	4							
	MARMOL, ENCHAPE LUJOSO	5							
MOBILIARIO	POBRE	0				0			
	SENCILLO	2	X			3			
	REGULAR	3				6			
	BUENO	4				9			
	LUJOSO	6				13			
CONSERVACION	MALO	0							
	REGULAR	2	X						
	BUENO	4							
	EXCELENTE	5							
	SUBTOTAL		7						
TOTAL RESIDENCIAL Y COMERCIAL	≥ (1,2,3,4)		34						

5 COMPLEMENTO INDUSTRIA		PUNTOS	A	B	C
CERCHAS	MADERA	6 *			
	METALICA LIVIANA	12 *			
	METALICA MEDIANA	22 *			
	METALICA PESADA	34 *			
	ALTURA	6 *			
	SUBTOTAL				
	TOTAL INDUSTRIAL ≥ (1,2,5)				

6 GENERALES		A	B	C
NUMERO	TOTAL DE PISOS			
	DE HABITACIONES			
	DE BAÑOS			
	DE LOCALES			
AÑO DE CONSTRUCCION				
ESTRATO No.		3		

OBSERVACIONES: PATRON: TOMADO DEL PROMEDIO PREDIOS MUESTRA: 01-02-128-0015-000, 01-02-128-0016-000, 01-02-128-0017-000

AVALUO

TERRENO	ZONA	VALOR UNITARIO	AREA	VALOR

EDIFICACIONES	UNIDAD	DESTINO	PUNTOS	VALOR UNITARIO	AREA m²	VALOR

FUNCIONARIO CATASTRAL — NOMBRE Y FIRMA: Carlos Leal R

FECHA: DIA 07 MES 04 AÑO 89

FORMA 740-08/87

* PUNTUACION PERMITIDA PARA EDIFICACIONES INDUSTRIALES

Fuente: Manual de Reconocimiento Predial IGAC

Note, que existen puntajes por cada característica y realizando un ejemplo de una construcción con la mejor estructura, los mejores acabados, el mejor baño y la mejor cocina, se lograría un puntaje de 100 puntos como se ilustra a continuación:

Estructura		**Puntaje**
Armazón	Concreto de 4 o más pisos	6
Muros	Bloque, Ladrillo	4
Cubierta	Placa Impermeabilizada, cubierta Lujosa u ornamental	16
Conservación	Excelente	5
SubTotal		**31**

Baño		**Puntaje**
Tamaño	Grande	3
Enchape	Mármol, enchape lujoso	5
Mobiliario	Lujoso	11
Conservación	Excelente	5
SubTotal		**24**

Acabados Principales		**Puntaje**
Fachada	Lujosa	8
Cubrimiento de muros	Mármol, lujosos, otros	4
Pisos	Retal de Mármol, Mármol, Otros	9
Conservación	Excelente	5
SubTotal		**26**

Cocina		**Puntaje**
Tamaño	Grande	3
Enchape	Mármol, enchape lujoso	5
Mobiliario	Lujoso	6
Conservación	Excelente	5
SubTotal		**19**

Total	**100**

Y esta construcción con unos niveles muy deficientes:

Estructura		**Puntaje**
Armazon	Madera	0
Muros	Materiales de desecho	0
Cubierta	Materiales de desecho	1
Conservación	Malo	0
SubTotal		**1**

Baño		**Puntaje**
Tamaño	Grande	0
Enchape	Marmol, enchape lujoso	0
Mobiliario	Lujoso	0
Conservación	Excelente	0
SubTotal		**0**

Acabados Principales		**Puntaje**
Fachada	Pobre	0
Cubrimiento de muros	Sin cubrimiento	0

Cocina		**Puntaje**
Tamaño	Grande	0
Enchape	Marmol, enchape lujoso	0

Pisos	Tierra Pisada	0		Mobiliario	Lujoso	0
Conservación	Malo	0		Conservación	Excelente	0
SubTotal		**0**		**SubTotal**		**0**
Total						**1**

4.3 Áreas

Área construida:

Parte edificada que corresponde a la suma de las superficies de los pisos. Excluye azoteas, áreas duras sin cubrir o techar, áreas de las instalaciones mecánicas y puntos fijos, así como el área de los estacionamientos ubicados en semisótanos, sótanos y en un piso como máximo.

Área de uso:

Extensión superficiaria cubierta de cada bien privado en propiedad horizontal, excluyendo los bienes comunes localizados dentro de sus linderos, de conformidad con las normas legales.

4.4 Vetustez

Antigüedad del predio (en años).

4.5 Zonas Homogéneas Físicas

Son espacios geográficos con características similares en cuanto a:

- Influencia vial
- Norma de uso del suelo (área de actividad y tratamientos urbanísticos)
- Servicios públicos domiciliarios
- Tipificación construcción
- Topografía
- Uso actual del suelo

y que, por tanto, permiten diferenciar estas áreas de las adyacentes. La tabla 1. muestra un ejemplo de configuración de ZH.

Tabla 1. Ejemplo de configuración de una ZHF

ESTRUCTURA DE CODGO ZONAS HOMOGÉNEAS FÍSICAS															
VARIABLES LADM_COL										VARIABLES COMPLEMENTARIAS					
I.	II.	III.	IV.	V. - VI.				VII.		VIII	IX	X	XI		
TOPOGRAFÍA	INFLUENCIA VIAL	SERVICIO PÚBLICO	USO ACTUAL DEL SUELO	NORMA USO SUELO URBANO				TIPIFICACIÓN CONSTRUCCIÓN		CLASIFICACIÓN DEL SUELO	ESTADO DE LA VÍA	TIPO DE VIA	TIPIFICACIÓN ESPECÍFICA		
				ÁREA DE ACTIVIDAD		TRATAMIENTO									
1	4	4	2	1	4	0	3	2	2	1	4	2	2	4	
PLANO	PAVIMENTADAS	BASICOS Y COMPLEMENTARIOS	COMERCIAL	RESIDENCIAL TIPO B		TRATAMIENTO DE CONSOLIDACIÓN		COMERCIAL SECTORIAL		SUELO URBANO NO PROTEGIDO	BUENO	VIA LOCAL	METROPOLITANO REGIONAL		

4.6 Zonas Homogéneas Geoeconómicas

Las ZHGE son los espacios geográficos determinados a partir de Zonas Homogéneas Físicas con valores unitarios similares en cuanto a su precio, según las condiciones del mercado inmobiliario. Para el desarrollo de los modelos, más que la zona geoeconómica se utiliza el valor de referencia de cada zona.

4.7 Coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas son un sistema de referencia que permite que cada ubicación en la tierra sea especificada por una combinación de la latitud y la longitud, siendo definidas a partir de la red que forman los paralelos y meridianos (Ibañez, Gisbert, & Moreno, 2010), tal como se muestra a continuación:

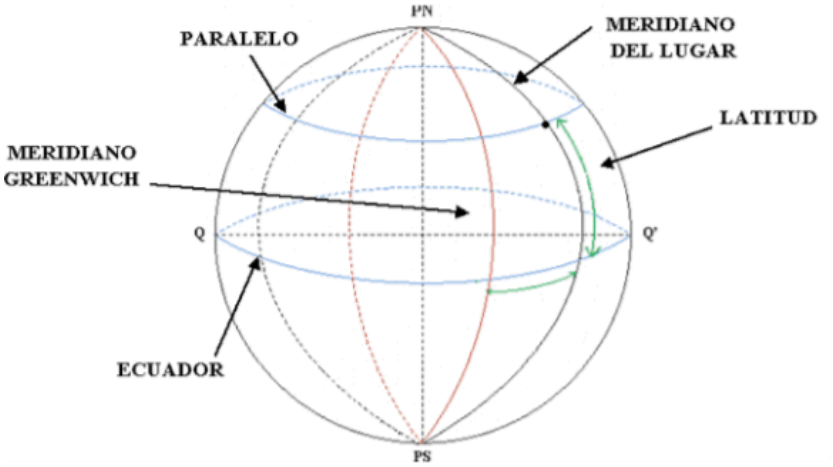


Figura 2. Meridianos y paralelos/Longitud y latitud

Siguiendo a Yrigoyen (2003) se puede definir la longitud y la latitud como:

- Longitud: La coordenada de longitud es una medida de localización geográfica, que suele medirse en grados hacia el este/oeste del meridiano cero o de Greenwich. Sobre un mapa es posible

dibujar las líneas de longitud como líneas verticales (meridianos), perpendiculares al ecuador y con intersección en ambos polos (no paralelas, dada la forma esférica de la Tierra), con un recorrido de 0,0° (meridiano cero) a +180,0° y –180,0°. Suele ser denominada coordenada X por determinar, en un eje horizontal, la localización este-oeste de un punto.

- Latitud: La coordenada de latitud es una medida de localización geográfica, que suele medirse en grados sobre o bajo el ecuador. En un mapa es posible dibujar las líneas de latitud como líneas horizontales (paralelos) con un recorrido de 0,0° (ecuador) a +90,0° (polo norte) y –90,0° (polo sur). Suele ser denominada coordenada Y por determinar, en un eje vertical, la localización norte-sur de un punto.

Contar con las coordenadas (latitud y longitud) para cada uno de los predios permite incorporar el aspecto espacial dentro de los modelos a desarrollar, lo cual permite tener en cuenta la correlación y heterogeneidad espacial que puede darse en el avalúo entre predios vecinos, estableciéndose así como un aspecto fundamental dentro de la estrategia de modelamiento.

4.8 Otras variables

Dentro del modelo se puede considerar cualquier variable que mejore el ajuste del modelo. Esto incluye interacciones entre variables o términos de tipo polinomial cuando las variables sean de naturaleza continua.

5. Insumos

El ajuste de los modelos parte de la construcción de una base de datos que contiene cada uno de los predios en condición de PH cuyo uso se liquida masivamente mediante la aplicación de los modelos. Esta base combina la información de los avalúos y la información física alfanumérica.

5.1 Avalúos

Para los modelos econométricos, estos valores se obtienen a partir de dos formas:

- **Puntos muestra:**

Se selecciona una muestra probabilística[3] de predios que pertenezcan a un grupo de usos que puedan posteriormente ser objeto de un modelamiento econométrico, dadas sus características y similitud en su comportamiento; esta muestra es valorada por el equipo de avaluadores de Go Catastral, quienes con base en las ofertas del mercado y las tipologías constructivas establecen un avalúo puntual para cada caso.

[3] Todos y cada uno de los predios, tienen una probabilidad conocida y superior a cero de ser seleccionada. Solamente, con muestras probabilísticas, es posible hacer estimaciones a un universo definido y conocer su nivel de precisión (error de estimación) y confiabilidad.

La base contiene los campos que se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Campos de la base de avalúos puntos muestra

NUMERO_DEL_PREDIO	Número de predio de 30 dígitos
AVALUO_TOTAL	avalúo total del predio
USO_1	Corresponde al código que identifica el uso de la unidad 1.
AREA_CONSTRUIDA_1	Corresponde al valor en metros cuadrados de la extensión de la unidad 1
AVALUO_1	Corresponde al avalúo de la de unidad 1. (Sin signo pesos).
USO_2	Corresponde al código que identifica el uso de la unidad 2.
AREA_CONSTRUIDA_2	Corresponde al valor en metros cuadrados de la extensión de la unidad 2
AVALUO_2	Corresponde al avalúo de la de unidad 2. (Sin signo pesos).
USO_3	Corresponde al código que identifica el uso de la unidad 3
AREA_CONSTRUIDA_3	Corresponde al valor en metros cuadrados de la extensión de la unidad 3
AVALUO_3	Corresponde al avalúo de la de unidad 3. (Sin signo pesos).

- **Ofertas de mercado inmobiliario:**

Go Catastral, a través del Observatorio Técnico Catastral, se encarga de recolectar ofertas inmobiliarias de fuentes directas e indirectas, para lo cual ha desarrollado convenios con los principales portales web dedicados a la publicación de inmuebles para venta y arriendo. A continuación, se detalla el proceso de recolección de cada una de las fuentes:

- ✓ Directas: La captura se realiza recorriendo manzana a manzana todo el territorio sujeto a la actualización catastral. Los anuncios y ofertas encontradas se registran en un dispositivo móvil de captura soportado sobre el aplicativo Survey123, posteriormente se hace el contacto telefónico para completar la información sobre el predio y en una última instancia el avaluador depura la información para llegar a unos valores acertados de metro cuadrado de terreno y construcción.

✓ Indirectas: El OTC a través de sus convenios recibe mensualmente la información de anuncios publicados en los portales inmobiliarios. Esta información se especializa y es sujeta a un control de calidad para garantizar su utilidad en el proceso de actualización catastral. Las ofertas son enviadas a los avaluadores quienes las depuran y utilizan como insumo para la realización de los avalúos puntos muestra y la construcción de las zonas geoeconómicas.

La base contiene los campos que se observan en la Tabla 3.

Tabla 3. Campos de la base de ofertas del mercado inmobiliario

NUMERO_DEL_PREDIO	Número de predio de 30 dígitos
AREA_CONSTRUIDA	Corresponde al valor en metros cuadrados de la extensión de la unidad
USO	Corresponde al código que identifica el uso de la unidad
VALOR_FINAL	Valor depurado de la construcción. (Sin signo pesos).

5.2 Base alfanumérica

Para obtener la información del puntaje, las áreas, usos, vetustez, ZHF y ZGE se requiere una base de datos a nivel de predio con la estructura que se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Base alfanumérica con información física

NUMERO_DEL_PREDIO	Número de predio de 30 dígitos
MATRICULA_INMOBILIARIA	Matricula inmobiliaria
MUTACION	Indica si el predio tiene alguna marca o no
CLASE	Si son NPH, PH
DESTINO_ECONOMICO	Letra según corresponda
AREA_TERRENO	Área total del terreno en metros cuadrados
AREA_CONSTRUIDA	Área total de la construcción en metros cuadrados
VETUSTEZ	Vetustez del predio. Aplica para los predios que cuentan con construcción, para los lotes se consigna el valor 0
ZONA_FISICA_1	Corresponde al código de la zona homogénea física
ZONA_ECONOMICA_1	Corresponde al código de la zona homogénea geoeconómica
VALOR_REFERENCIA_1	Para PH corresponde a valor integral, para NPH corresponde a valor de m2 de terreno
ZONA_FISICA_2	Corresponde al código de la zona homogénea física
ZONA_ECONOMICA_2	Corresponde al código de la zona homogénea geoeconómica
VALOR_REFERENCIA_2	Para PH corresponde a valor integral, para NPH corresponde a valor de m2 de terreno
AREA_TERRENO_1	Corresponde al área del terreno de la ZONA_FISICA_1 en metros cuadrados
AREA_CONSTRUIDA_1	Corresponde al valor en metros cuadrados de la extensión de la unidad 1
USO_1	Corresponde al código que identifica el uso de la unidad 1.
PUNTAJE_1	Corresponde al puntaje de la unidad 1.

AREA_CONSTRUIDA_2	Corresponde al valor en metros cuadrados de la extensión de la unidad 2
USO_2	Corresponde al código que identifica el uso de la unidad 2.
PUNTAJE_2	Corresponde al puntaje de la unidad 2.
AREA_CONSTRUIDA_3	Corresponde al valor en metros cuadrados de la extensión de la unidad 3
USO_3	Corresponde al código que identifica el uso de la unidad 3.
PUNTAJE_3	Corresponde al puntaje de la unidad 3.
AVALUO_CATASTRAL	Avalúo catastral de la vigencia 2021. (Sin signo pesos).

5.3 Coordenadas

Las coordenadas son dispuestas con la estructura que se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Campos de la base de coordenadas geográficas

NUMERO_DEL_PREDIO	Número de predio de 30 dígitos
LONGITUD	Longitud
LATITUD	Latitud

6. Modelos Econométricos

6.1 Especificación

El modelo que se propone para el ajuste respectivo, en forma general es el siguiente:

$$E(Valor\ Integral) = f(I_i, U_i, C_{i_i}; \beta)$$

Siendo $E(Valor\ Integral)$, el valor esperado del valor integral para el predio i, el cual se asume que está determinado por los argumentos de la función f. Estos argumentos corresponden a grupos de atributos clasificados en tres categorías:

I: características inherentes de la unidad residencial

U: características determinadas por la ubicación del inmueble

C: Coordenadas X e Y

β: conjunto de parámetros cuyos coeficientes van a relacionar cada variable con la variable respuesta que en este caso es el valor integral (en el caso de las variables que son modeladas paramétricamente). Las estimaciones van a depender del conjunto de variables incluidas en los grupos (I, U, C).

Autores como Montero, Mínguez & Fernández (2018) y Montero, Mínguez & Durbán (2012) incorporan funciones bidimensionales de las coordenadas geográficas para mejorar la capacidad predictiva de los modelos $f(x_{long}, y_{lat})$, así como para tener en cuenta la dependencia y heterogeneidad espacial que existen en los datos. Algunos trabajos como el de Toloza, Melo & Azcarate (2021) han aplicado esta metodología en Bogotá, encontrando resultados destacables en términos de la predicción, respecto a otras formas funcionales más tradicionales.

De esta forma, se ajustan modelos de la forma:

$$E(Valor\ Integral) = \beta_0 + f\left(x_{long}, y_{lat}\right) + \beta_1 Edad + \cdots + \beta_p Puntaje$$

O, según lo evidencie el comportamiento de los datos, un modelo donde las variables explicativas se incluyan como funciones suavizadas, así:

$$E(Valor\ Integral) = \beta_0 + f_1\left(x_{long}, y_{lat}\right) + f_2(Edad) + \cdots + f_3(Puntaje)$$

o

$$E(Valor\ Integral) = \beta_0 + f_1\left(x_{long}\right) + f_2\left(y_{lat}\right) + f_3(Edad) + \cdots + f_4(Puntaje)$$

La estimación de los valores β se hace asumiendo que el valor integral tiene una distribución gamma o normal[4] (estas distribuciones son convenientes ya que el valor integral asume únicamente valores positivos y la distribución empírica es sesgada a la derecha).

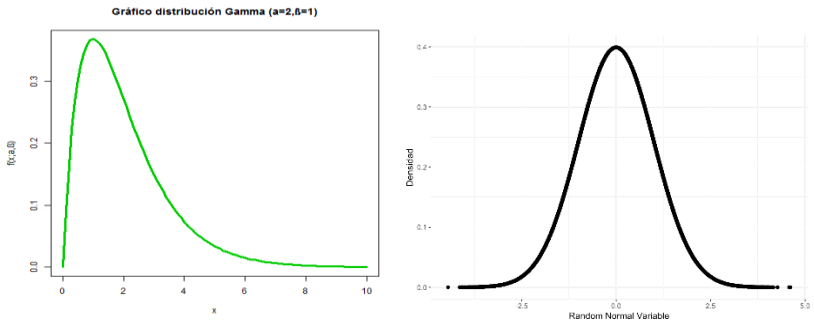


Figura 4. Distribución gamma (izquierda) y distribución normal (derecha).

El modelo con las anteriores especificaciones está inmerso dentro de los modelos aditivos generalizados expuestos en la sección 3.1.

[4] Una vez se le aplica logaritmo ya que la distribución original de los datos puede ser log-normal.

Una vez ajustado el modelo, el valor estimado del valor integral para cada predio no puede ser generado a partir de una ecuación, este debe ser hallado mediante la aplicación de la correspondiente función del software estadístico R a la base de predicción.

Así, una vez obtenido uno o varios modelos base, el análisis y aprobación de los modelos se enfoca en la consistencia del efecto de las variables explicativas de acuerdo con los efectos esperados (por ejemplo, a mayor puntaje mayor valor integral) y la verificación de supuestos, para que posteriormente se analice detalladamente el resultado de las predicciones y de esa forma poder llegar a encontrar patrones de comportamiento o características semejantes dentro de las observaciones que presentan una mayor variación entre el valor observado y el valor pronosticado.

6.2 Agrupaciones

Difícilmente un único modelo logrará una buena predicción del valor integral para todos los tipos de predios, por lo tanto, se genera una división de los mismos que dé cuenta de la diferencia inherente a cada uno de los distintos tipos de predios que se ofrecen en el mercado inmobiliario, y para cada tipo se ajustaría un modelo econométrico. Se aclara que para aquellos usos que hayan sido censados en el proceso de la valuación de los puntos muestra no aplica el ajuste de modelos econométricos, ni tampoco para aquellos que, aunque sean PH, se considere más adecuado el uso de tablas de valor o avalúos puntuales. Los siguientes son los modelos aplicados para el municipio:

Modelo	Uso
Modelo comercio	Comercial.Comercio
	Comercial.Comercio_Colonial
	Comercial.Comercio_en_PH
Modelo comercio hoteles	Comercial.Hotel_Colonial
	Comercial.Hoteles
	Comercial.Hoteles_en_PH
Comercial oficinas y restaurantes	Comercial.Oficinas_Consultorios_Coloniales
	Comercial.Oficinas_Consultorios_en_PH
	Comercial.Restaurante_Colonial
	Comercial.Restaurantes
Industrial bodegas	Industrial.Bodega_Casa_Bomba
	Industrial.Bodegas_Casa_Bomba_en_PH
Residenciales apartamentos en edificios de 4 y 5 pisos Cartagena	Residencial.Apartamentos_En_Edificio_4_y_5_Pisos_Cartagena
Residenciales apartamentos de más de 4 pisos	Residencial.Apartamentos_Mas_De_4_Pisos
Residencial vivienda hasta 3 pisos	Residencial.Vivienda_Hasta_3_Pisos

Centro histórico	Comercial.Comercio_Colonial Comercial.Comercio_en_PH Comercial.Hotel_Colonial Comercial.Hoteles Comercial.Hoteles_en_PH Comercial.Oficinas_Consultorios_Coloniales Comercial.Oficinas_Consultorios_en_PH Comercial.Restaurante_Colonial Comercial.Restaurantes Industrial.Bodega_Casa_Bomba Industrial.Bodegas_Casa_Bomba_en_PH Residencial.Apartamentos_En_Edificio_4_y_5_Pisos_Cartagena Residencial.Apartamentos_Mas_De_4_Pisos Residencial.Vivienda_Hasta_3_Pisos

6.3 Resultados

Para la estimación de los modelos econométricos se formuló una estrategia en cuatro pasos, los cuales se presentan a continuación:

6.3.1 Análisis descriptivo

Antes de iniciar con la estimación de cualquier modelo, se realiza un análisis descriptivo de las variables involucradas, esto con el fin de establecer posibles relaciones y detectar datos atípicos que podrán afectar el proceso de modelamiento. A continuación, se presentan algunos de los resultados obtenidos, los cuales dan cuenta del procedimiento realizado.

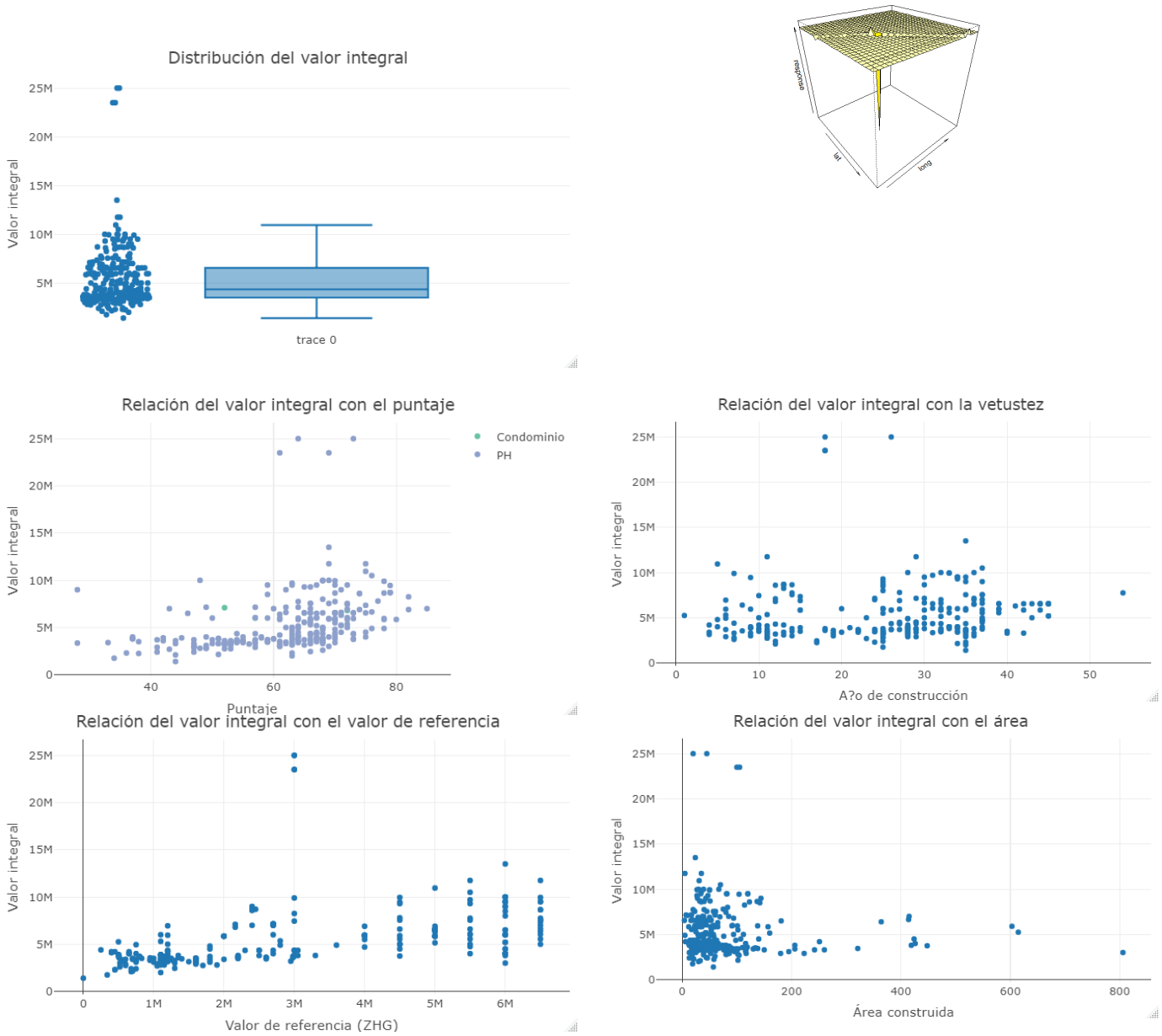


Figura 5. Análisis descriptivo para el modelo comercial comercio.

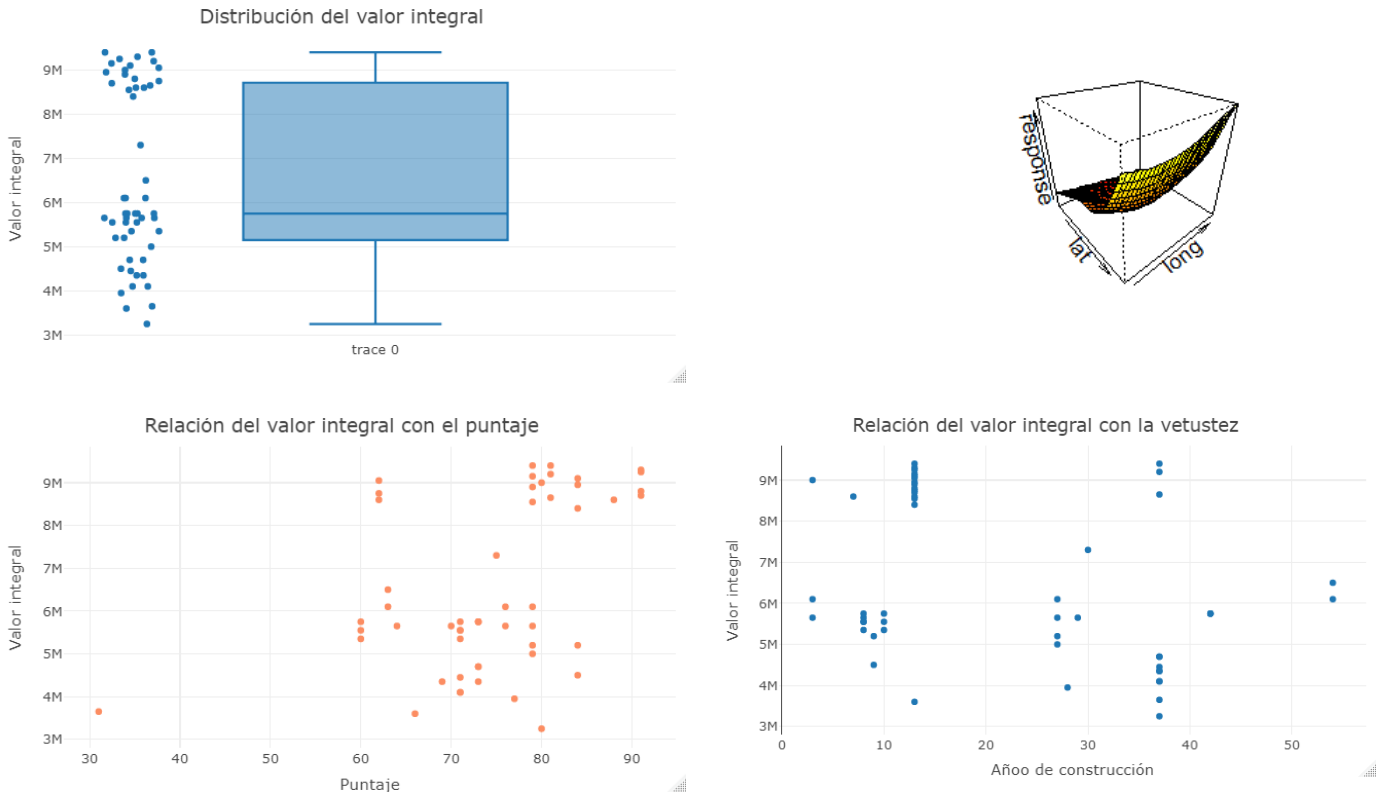
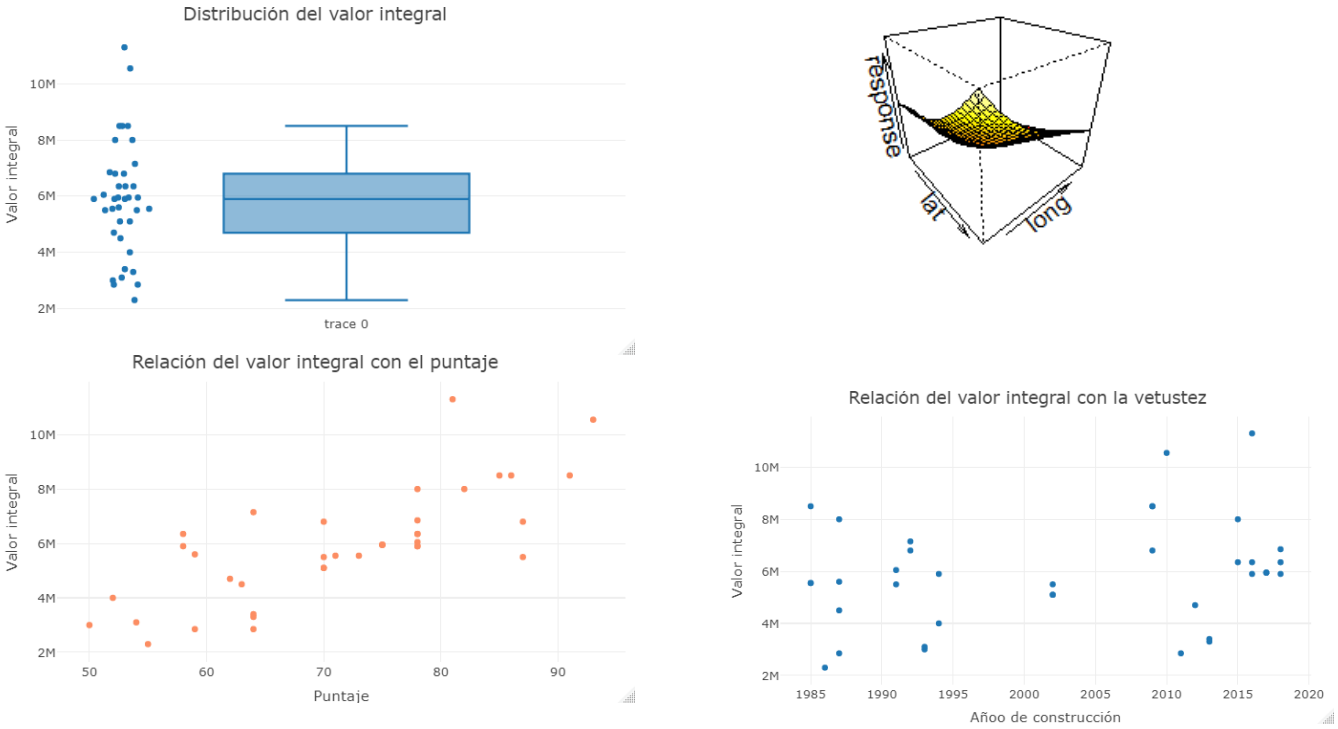


Figura 6. Análisis descriptivo para el modelo hoteles



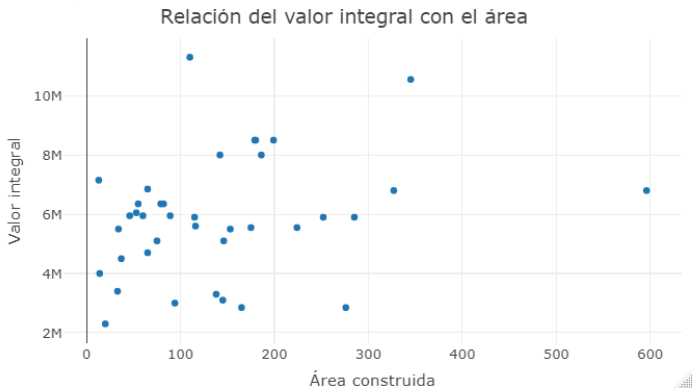
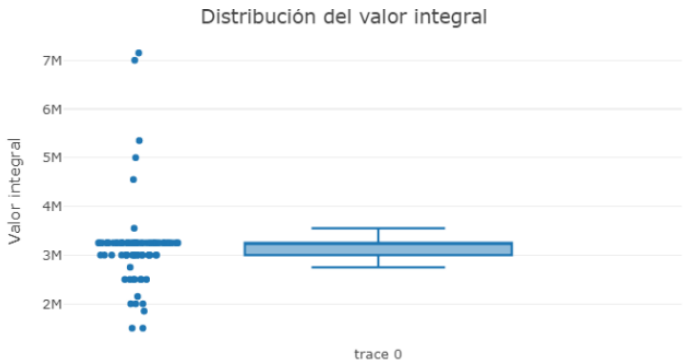
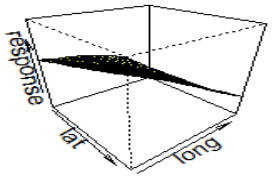
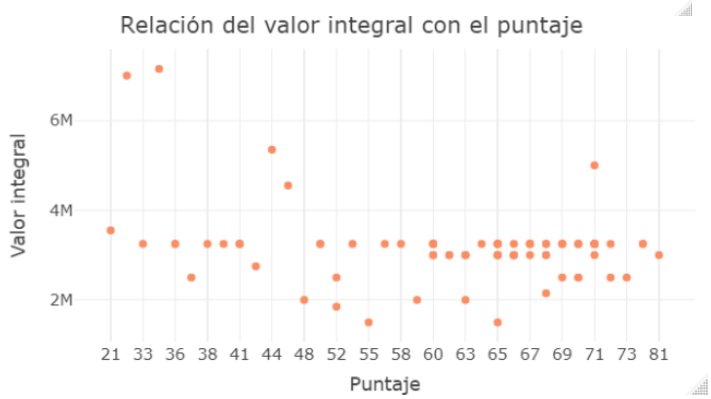
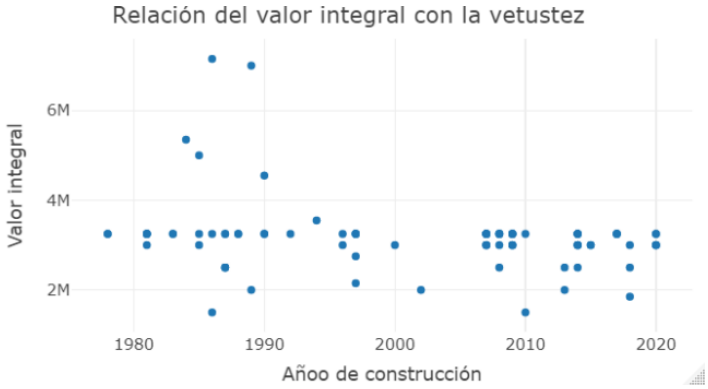


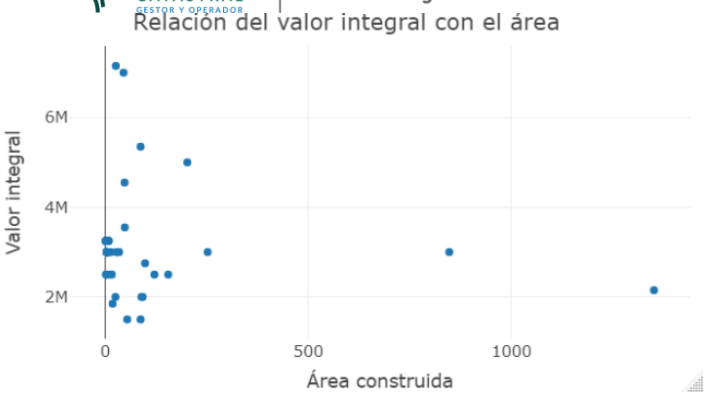
Figura 7. Análisis descriptivo para el modelo de oficinas y restaurantes











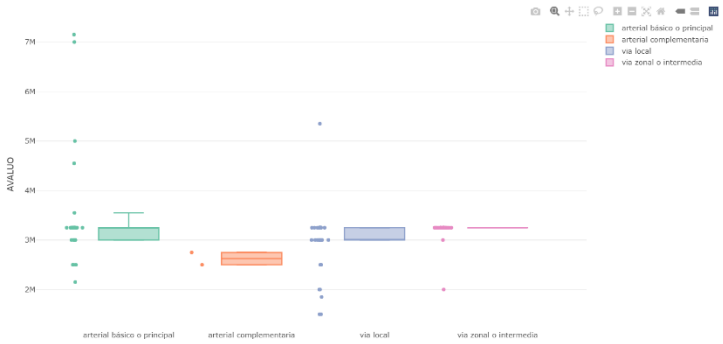
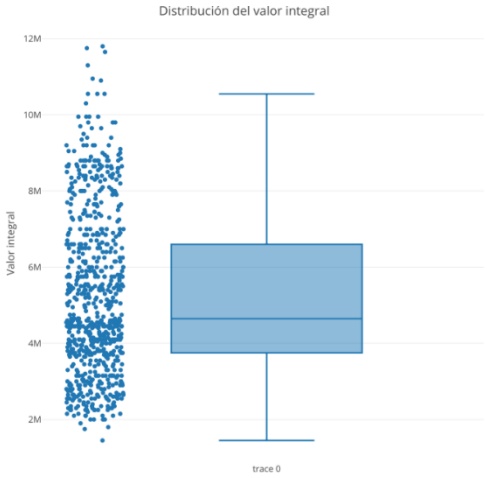
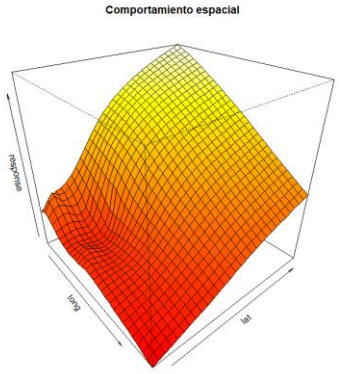


Figura 8. Análisis descriptivo para el modelo de bodegas





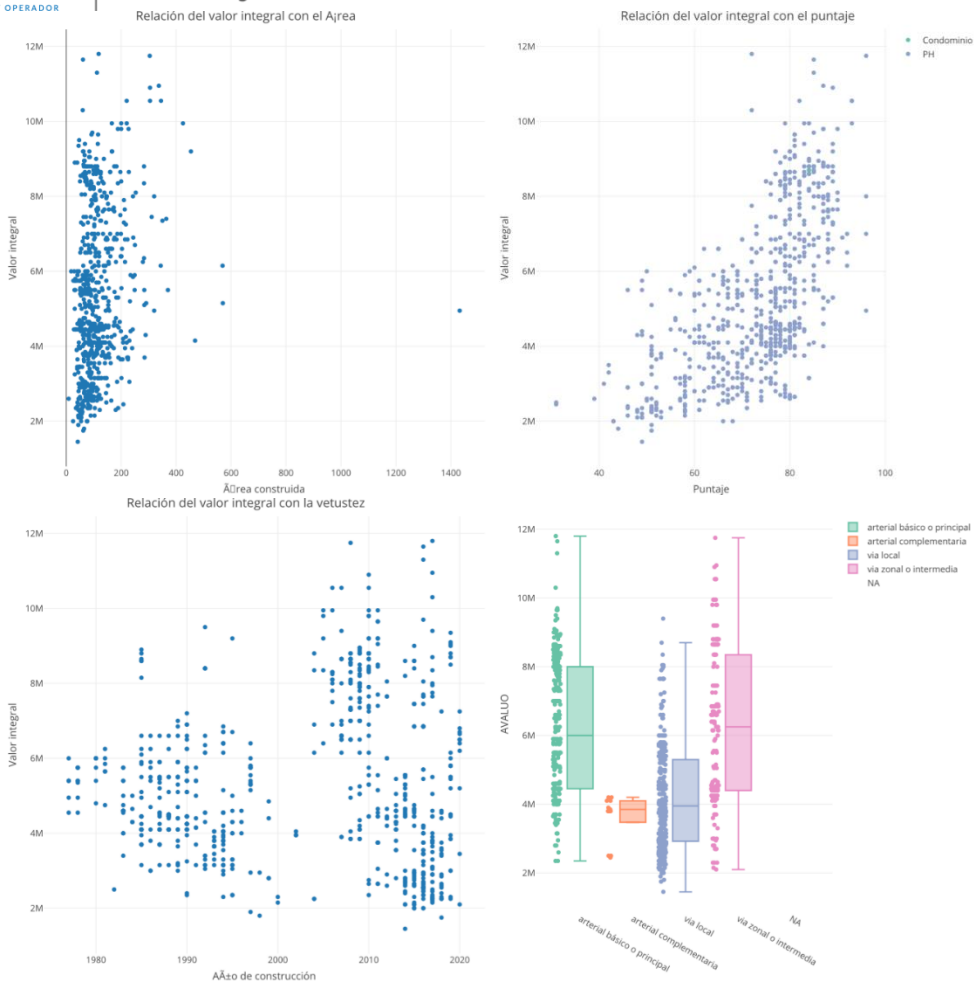


Figura 9. Análisis descriptivo para el modelo de apartamentos 4 pisos y más en PH

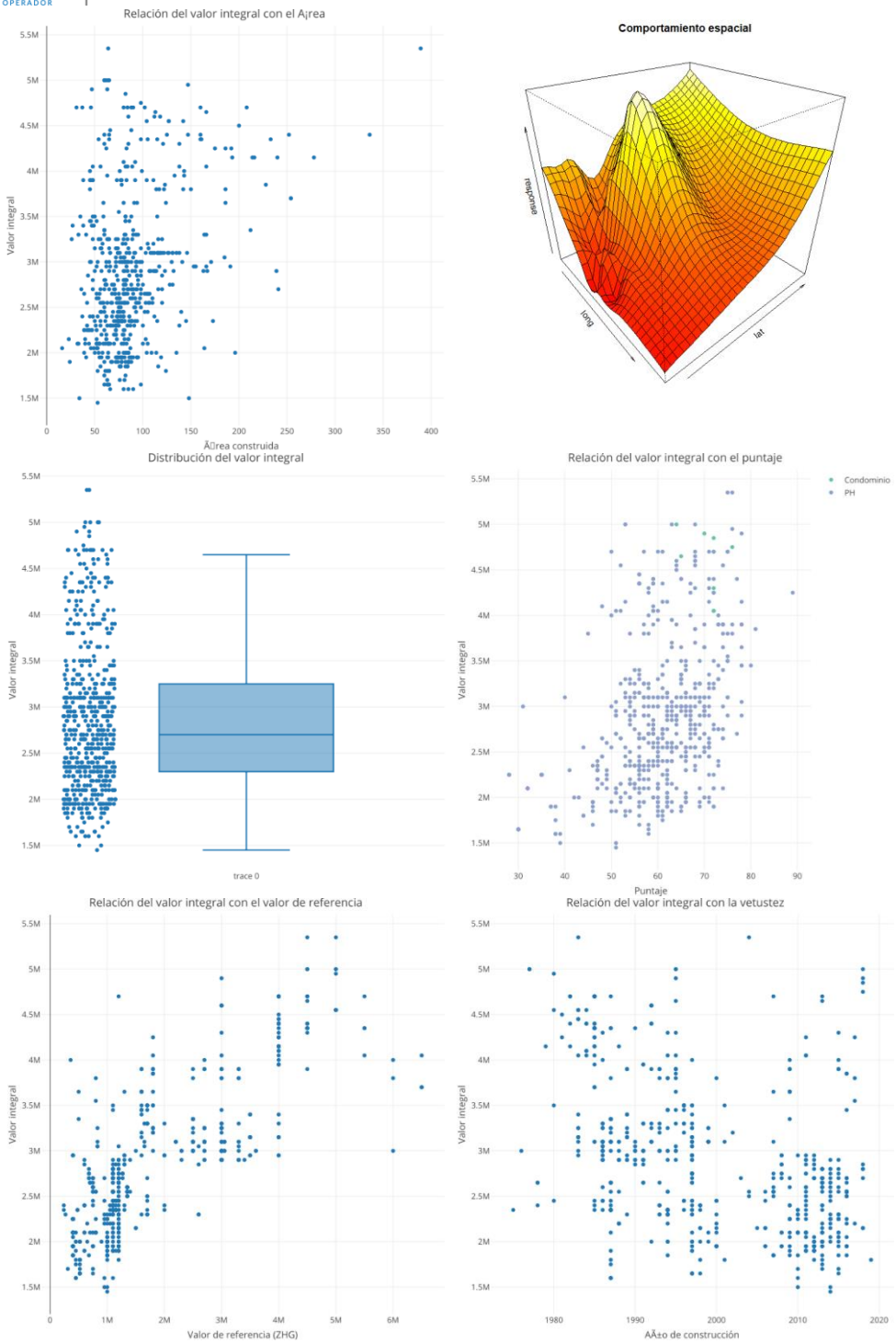


Figura 10. Análisis descriptivo para el modelo de apartamentos 4 y 5 pisos Cartagena

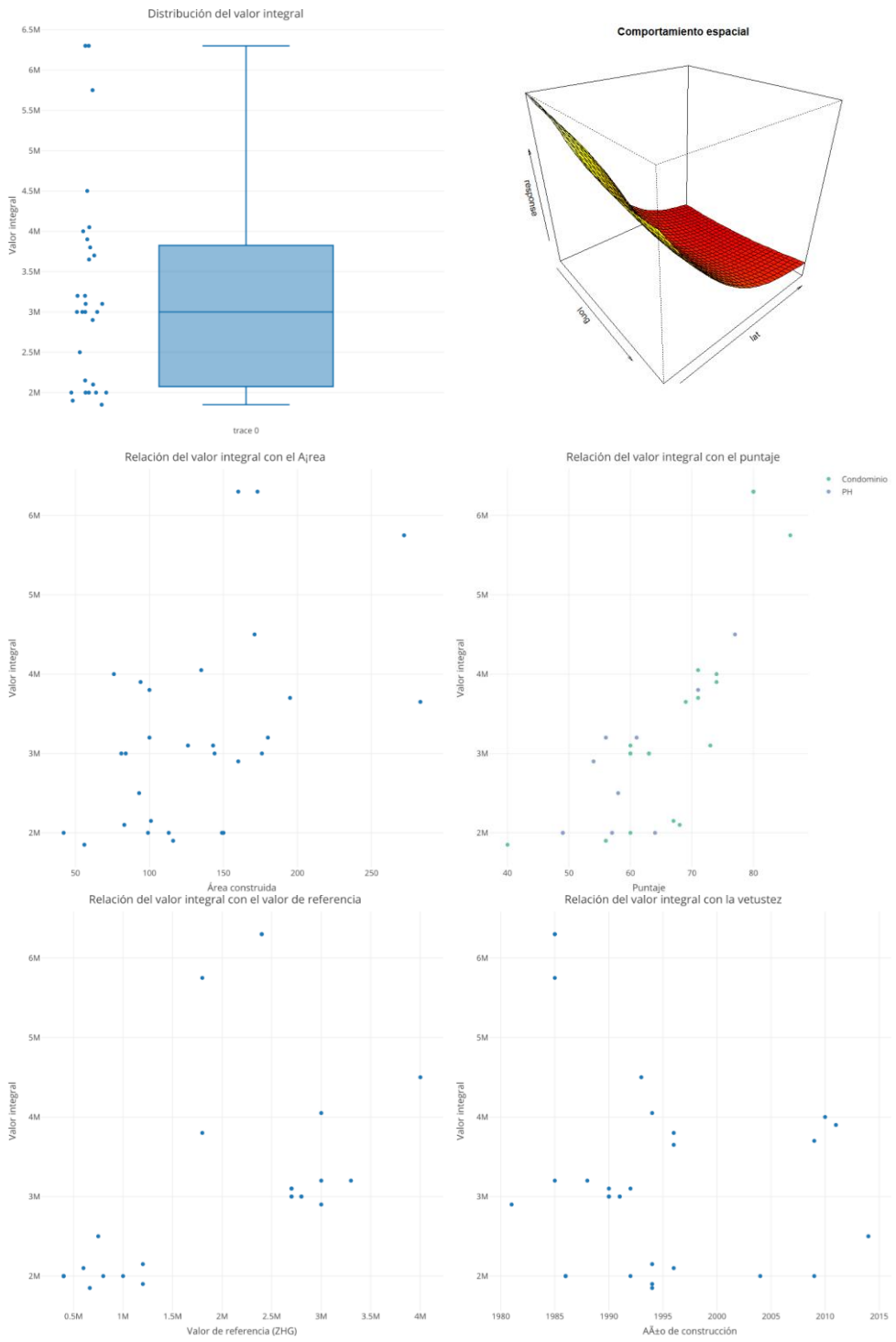


Figura 11. Análisis descriptivo para el modelo de vivienda hasta 3 pisos

Los gráficos presentados previamente hacen parte del análisis descriptivo que se realiza a los datos. En este sentido, se presentan diagramas de caja que permiten evidenciar la presencia de datos atípicos en las variables de interés, lo cual facilita la identificación de estos y permite tomar decisiones acerca de su omisión o no dentro de la estimación.

Adicionalmente, se presenta el gráfico de la distribución del valor integral y gráficos bivariados entre este y algunas variables explicativas como el puntaje y el área construida, los cuales permiten identificar relaciones (positivas, negativas, no lineales) entre las variables.

Por último, se presenta un plot-3D del valor integral con respecto a las coordenadas el cual permite tener una aproximación inicial a la distribución de los datos espacialmente, pudiendo evidenciar si una función bivariada de las coordenadas es necesaria dentro del modelo.

6.3.2 Estimación de los modelos

El proceso de estimación se llevó a cabo en el software libre R Core Team (2020) utilizando la librería mgcv, la cual permite ajustar modelos aditivos generalizados.

Así, para el modelo estimado se realiza el análisis de significancia de los términos paramétricos y no paramétricos. Además, se ajustan diferentes formas funcionales y distribuciones, buscando siempre aquel que sea más parsimonioso. A continuación, se presentan los modelos finales obtenidos:

```
Family: Gamma
Link function: inverse

Formula:
AVALUO ~ s(long, lat, k = 50) + PUNTAJE + VETUSTEZ + PUNTAJE *
    VETUSTEZ + VALOR_ZGE + s(AREA_CONSTRUIDA)

Parametric coefficients:
                            Estimate            Std. Error t value            Pr(>|t|)
(Intercept)       0.000000566516766755  0.000000067608804880   8.379 0.00000000000000591 ***
PUNTAJE          -0.000000004383105717  0.000000000995915770  -4.401 0.00001668138345510 ***
VETUSTEZ         -0.000000005635182666  0.000000002407365367  -2.341             0.02012 *
VALOR_ZGE        -0.000000000000028056  0.000000000000004715  -5.951 0.00000001021911524 ***
PUNTAJE:VETUSTEZ  0.000000000093534603  0.000000000035302159   2.650             0.00864 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Approximate significance of smooth terms:
                      edf Ref.df     F              p-value
s(long,lat)        36.851 43.310 8.048 < 0.0000000000000002 ***
s(AREA_CONSTRUIDA)  5.514  6.564 3.219              0.00354 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

R-sq.(adj) =  0.649   Deviance explained = 75.8%
GCV = 0.080951  Scale est. = 0.065767  n = 271
```

Figura 12. Modelo estimado para el comercio.

```
Family: Gamma
Link function: log

Formula:
AVALUO ~ s(lat, long, k = 4) + PUNTAJE + VETUSTEZ + ZONA

Parametric coefficients:
             Estimate Std. Error t value             Pr(>|t|)
(Intercept) 16.178442   0.221687  72.979 < 0.0000000000000002 ***
PUNTAJE      0.004507   0.002207   2.042               0.0468 *
VETUSTEZ    -0.003541   0.001569  -2.256               0.0287 *
ZONAUrbano  -1.183493   0.239503  -4.941            0.0000103 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df   F  p-value
s(lat,long) 2.025   2.05 7.9 0.000798 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

R-sq.(adj) =  0.824   Deviance explained = 80.7%
GCV = 0.022592  Scale est. = 0.021392  n = 53
```

Figura 13. Modelo estimado para hoteles

```
Family: gaussian
Link function: identity

Formula:
log(AVALUO) ~ AREA_CONSTRUIDA + PUNTAJE + EDAD + s(long, lat,
    k = 20)

Parametric coefficients:
                  Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)     14.6172298  0.3944772  37.055   <2e-16 ***
AREA_CONSTRUIDA -0.0002627  0.0003588  -0.732   0.4706
PUNTAJE          0.0146075  0.0052520   2.781   0.0099 **
EDAD            -0.0051208  0.0032829  -1.560   0.1308
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df     F p-value
s(long,lat) 7.826   10.2 2.304  0.0411 *
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

R-sq.(adj) =  0.739   Deviance explained = 81.5%
-REML = 17.446  Scale est. = 0.035966  n = 38
```

Figura 14. Modelo estimado para oficinas y restaurantes

```
Family: Gamma
Link function: log

Formula:
(AVALUO) ~ AREA_CONSTRUIDA + PUNTAJE + EDAD + s(VALOR_ZGE) +
    s(long, lat) + as.factor(TIPO.DE.VIA)

Parametric coefficients:
                                            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)                                1.516e+01  1.204e-01 125.916  < 2e-16 ***
AREA_CONSTRUIDA                           -8.503e-05  1.883e-04  -0.452  0.65326
PUNTAJE                                   -5.259e-04  1.527e-03  -0.344  0.73182
EDAD                                      -1.671e-03  1.837e-03  -0.909  0.36701
as.factor(TIPO.DE.VIA)arterial complementaria -1.292e-01  1.863e-01  -0.694  0.49065
as.factor(TIPO.DE.VIA)via local           -2.715e-01  8.319e-02  -3.264  0.00188 **
as.factor(TIPO.DE.VIA)via zonal o intermedia  -1.211e-01  6.560e-02  -1.846  0.07022 .
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Approximate significance of smooth terms:
               edf Ref.df     F  p-value
s(VALOR_ZGE)  2.71  2.968 6.616  0.00039 ***
s(long,lat)  23.39 25.928 6.697 1.31e-13 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

R-sq.(adj) =  0.819   Deviance explained = 88.8%
-REML = 1325.3  Scale est. = 0.010675  n = 89
```

Figura 15. Modelo estimado para bodegas.

```
Family: Gamma
Link function: log

Formula:
AVALUO ~ s(long, lat, k = 40) + ZONA_R + PUNTAJE + VETUSTEZ +
    s(AREA_CONSTRUIDA) + Tipo_via

Parametric coefficients:
                                  Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)                     14.7414524  0.2002581  73.612  < 2e-16 ***
ZONA_RUrbano                     0.3901096  0.2167579   1.800  0.07234 .
PUNTAJE                          0.0081912  0.0007808  10.490  < 2e-16 ***
VETUSTEZ                        -0.0126717  0.0007381 -17.167  < 2e-16 ***
Tipo_viaarterial complementaria  0.0257471  0.0644364   0.400  0.68959
Tipo_viavia local               -0.0866904  0.0270647  -3.203  0.00142 **
Tipo_viavia zonal o intermedia  -0.0315358  0.0327613  -0.963  0.33609
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Approximate significance of smooth terms:
                      edf Ref.df      F  p-value
s(long,lat)        32.028  36.52 41.931  < 2e-16 ***
s(AREA_CONSTRUIDA)  4.574   5.63  7.512 2.15e-07 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

R-sq.(adj) =   0.82   Deviance explained = 86.5%
GCV = 0.02512  Scale est. = 0.023863  n = 726
```

Figura 16. Modelo estimado para apartamentos 4 piso y más PH

```
Family: Gamma
Link function: log

Formula:
AVALUO ~ s(long, lat) + PUNTAJE + VETUSTEZ + s(AREA_CONSTRUIDA) +
    s(VALOR_ZGE) + s(AREA_TERRENO)

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 14.5989393  0.0420667 347.043  < 2e-16 ***
PUNTAJE      0.0049891  0.0005888   8.473  < 2e-16 ***
VETUSTEZ    -0.0028606  0.0006819  -4.195 3.17e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
                      edf Ref.df      F  p-value
s(long,lat)        27.213 28.714 18.987  < 2e-16 ***
s(AREA_CONSTRUIDA)  3.209  4.047  6.539 3.53e-05 ***
s(VALOR_ZGE)        5.047  6.164  8.956 1.78e-09 ***
s(AREA_TERRENO)     3.817  4.800  3.452  0.00733 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) =  0.869   Deviance explained = 86.2%
GCV = 0.011901  Scale est. = 0.011117  n = 604
```

Figura 17. Modelo estimado para apartamentos 4 y 5 pisos Cartagena

```
Family: Gamma
Link function: log

Formula:
AVALUO ~ s(long, lat, k = 5) + PUNTAJE + VETUSTEZ + s(VALOR_ZGE) +
    ZONA_R

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  15.544222   0.272794  56.982  < 2e-16 ***
PUNTAJE       0.003727   0.001507   2.472  0.02851 *
VETUSTEZ     -0.013189   0.003874  -3.404  0.00489 **
ZONA_RUrbano -0.647245   0.152553  -4.243  0.00103 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
               edf Ref.df     F  p-value
s(long,lat)  3.429  3.717 50.13 2.33e-06 ***
s(VALOR_ZGE) 8.964  8.990 11.40 8.32e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) =  0.992   Deviance explained = 99.5%
GCV = 0.0033666  Scale est. = 0.0014673  n = 29
```

Figura 18. Modelo estimado para vivienda hasta 3 pisos

```
Family: Gamma
Link function: log

Formula:
AVALUO ~ s(long, lat) + MODELO + s(PUNTAJE) + s(VETUSTEZ) + s(AREA_CONSTRUIDA) +
    VALOR_ZGE

Parametric coefficients:
                                                                  Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)                                                      1.629e+01  8.597e-02 189.486  < 2e-16 ***
MODELOComercial.Hoteles                                         -3.763e-01  5.591e-02  -6.730 1.68e-09 ***
MODELOComercial.Oficinas_Restaurantes                           -3.023e-01  5.305e-02  -5.698 1.60e-07 ***
MODELOIndustrial.Bodegas                                        -1.638e+00  1.084e-01 -15.112  < 2e-16 ***
MODELOResidencial.Apartamentos_En_Edificio_4_y_5_Pisos_Cartagena -5.297e-01  4.822e-02 -10.986  < 2e-16 ***
MODELOResidencial.Apartamentos_Mas_De_4_Pisos                   -5.204e-01  6.267e-02  -8.303 1.14e-12 ***
VALOR_ZGE                                                        3.110e-08  9.712e-09   3.202   0.0019 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Approximate significance of smooth terms:
                      edf Ref.df      F p-value
s(long,lat)        18.924 23.049 12.598  <2e-16 ***
s(PUNTAJE)          5.588  6.459  2.706  0.0127 *
s(VETUSTEZ)         4.089  4.831  2.899  0.0313 *
s(AREA_CONSTRUIDA)  6.714  7.732 23.175  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

R-sq.(adj) =  0.872   Deviance explained = 92.6%
GCV = 0.03139  Scale est. = 0.020246  n = 130
```

Figura 19. Modelo estimado para centro histórico

6.3.3 Revisión de supuestos y ajuste del modelo

Antes de usar el modelo para predecir, se debe realizar una validación para establecer si los datos si se ajustan correctamente. A continuación, se presentan los diagnósticos y el análisis de predicción para cada uno de los modelos.

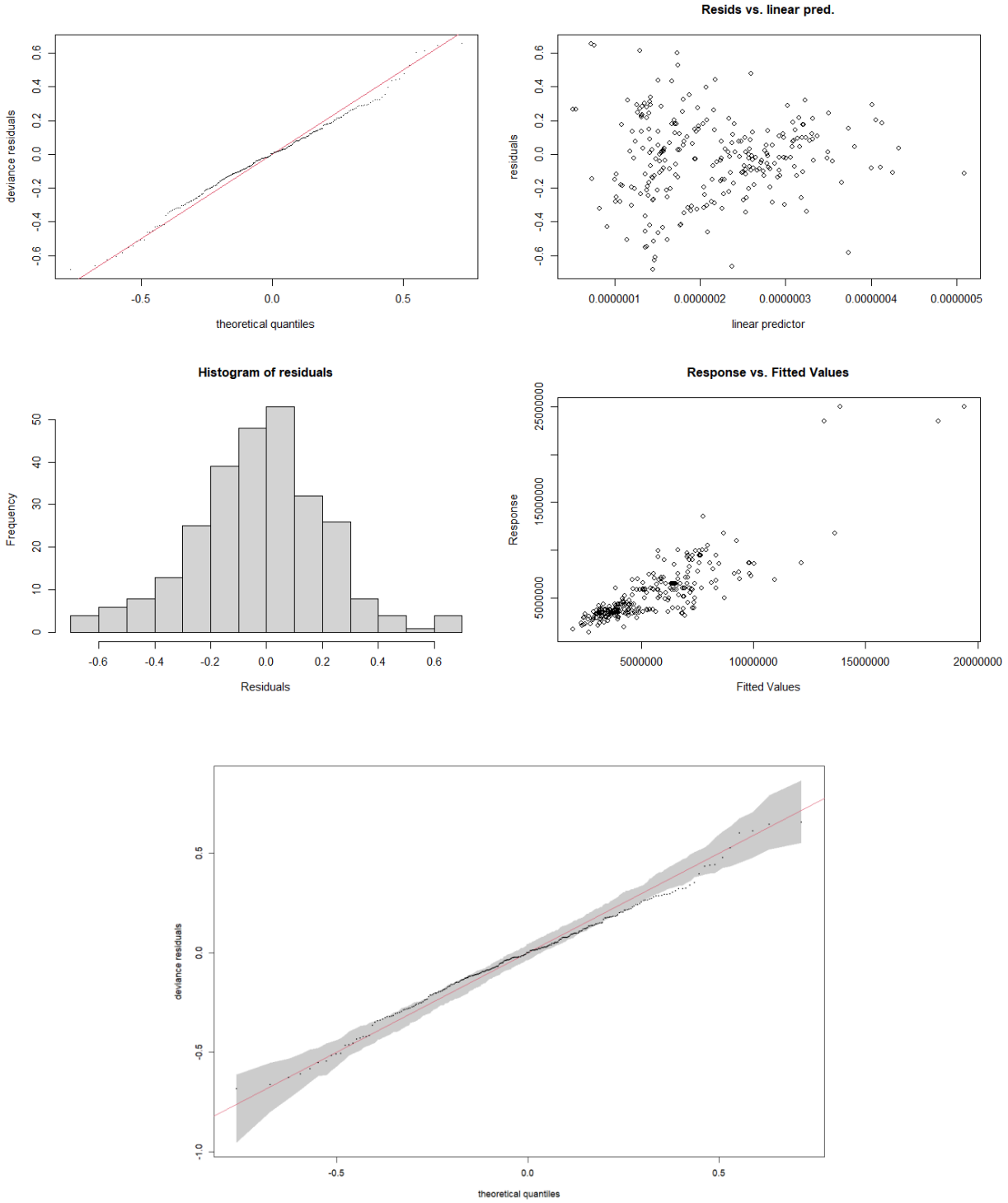
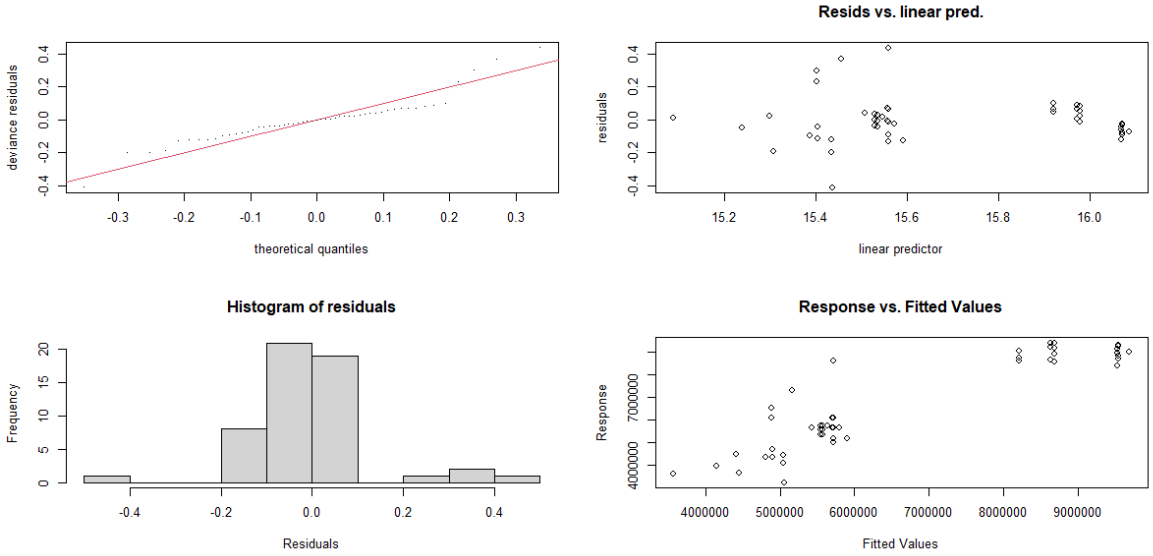


Figura 20. Diagnóstico para el modelo de comercio.



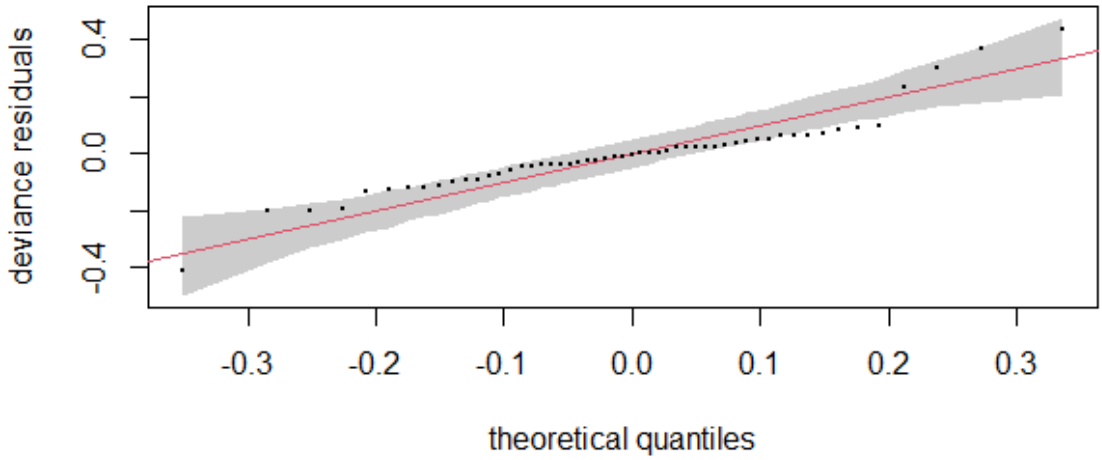


Figura 21. Diagnóstico para el modelo de hoteles

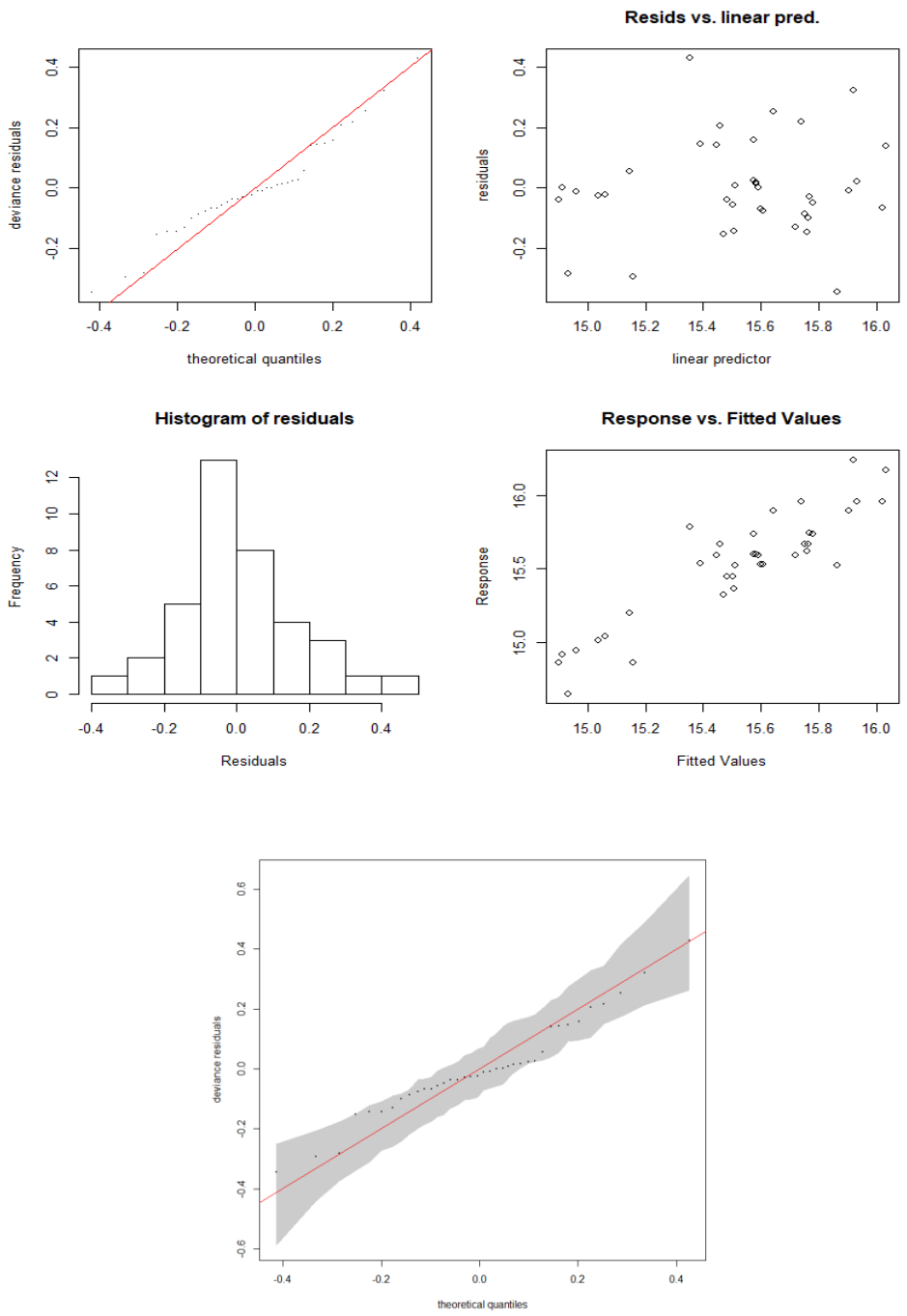
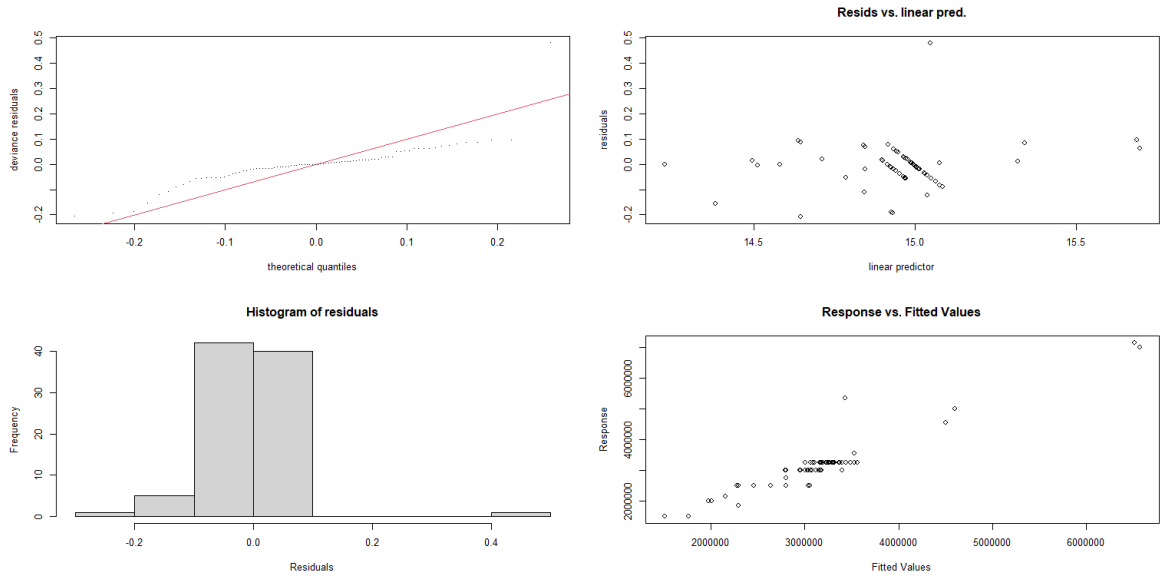


Figura 22. Diagnóstico para el modelo restaurantes y oficinas



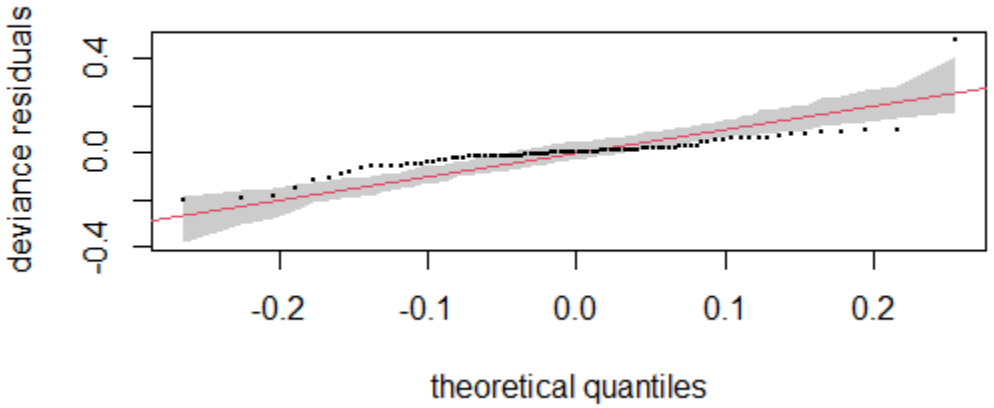


Figura 23. Diagnóstico para el modelo de industria

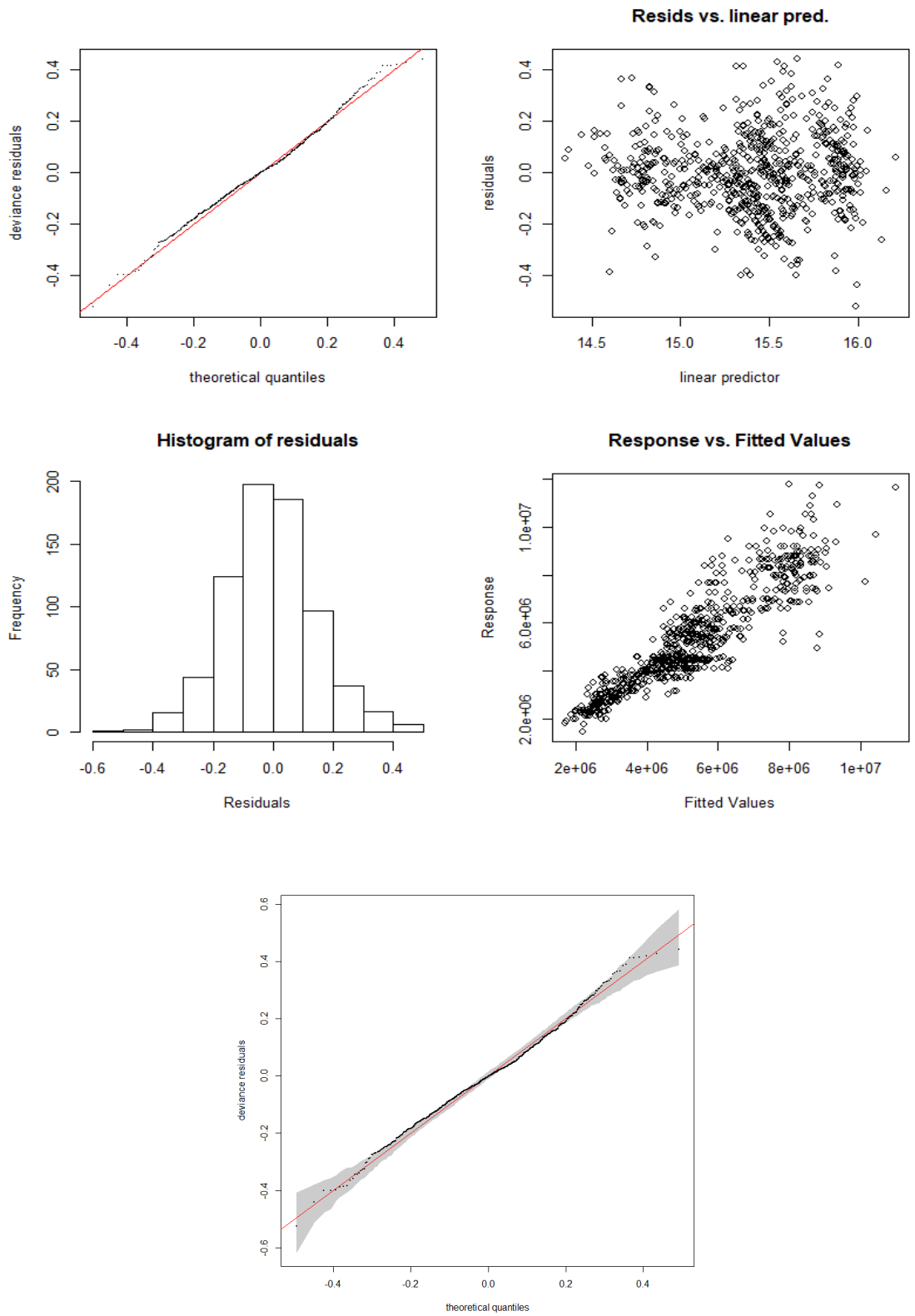


Figura 24. Diagnóstico para el modelo de apartamentos más de 4 pisos PH

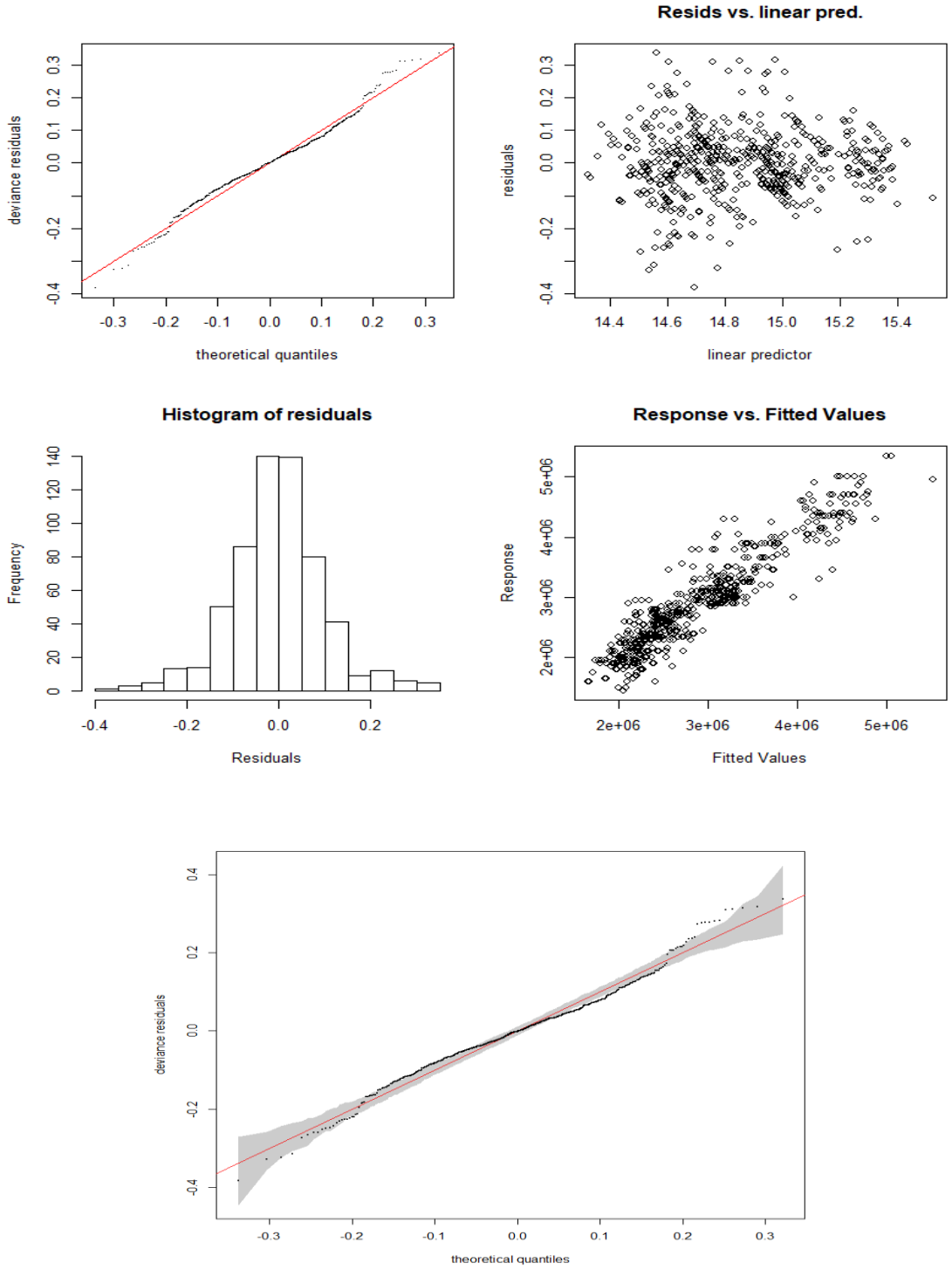


Figura 25. Diagnóstico para el modelo de apartamentos de 4 y 5 pisos Cartagena

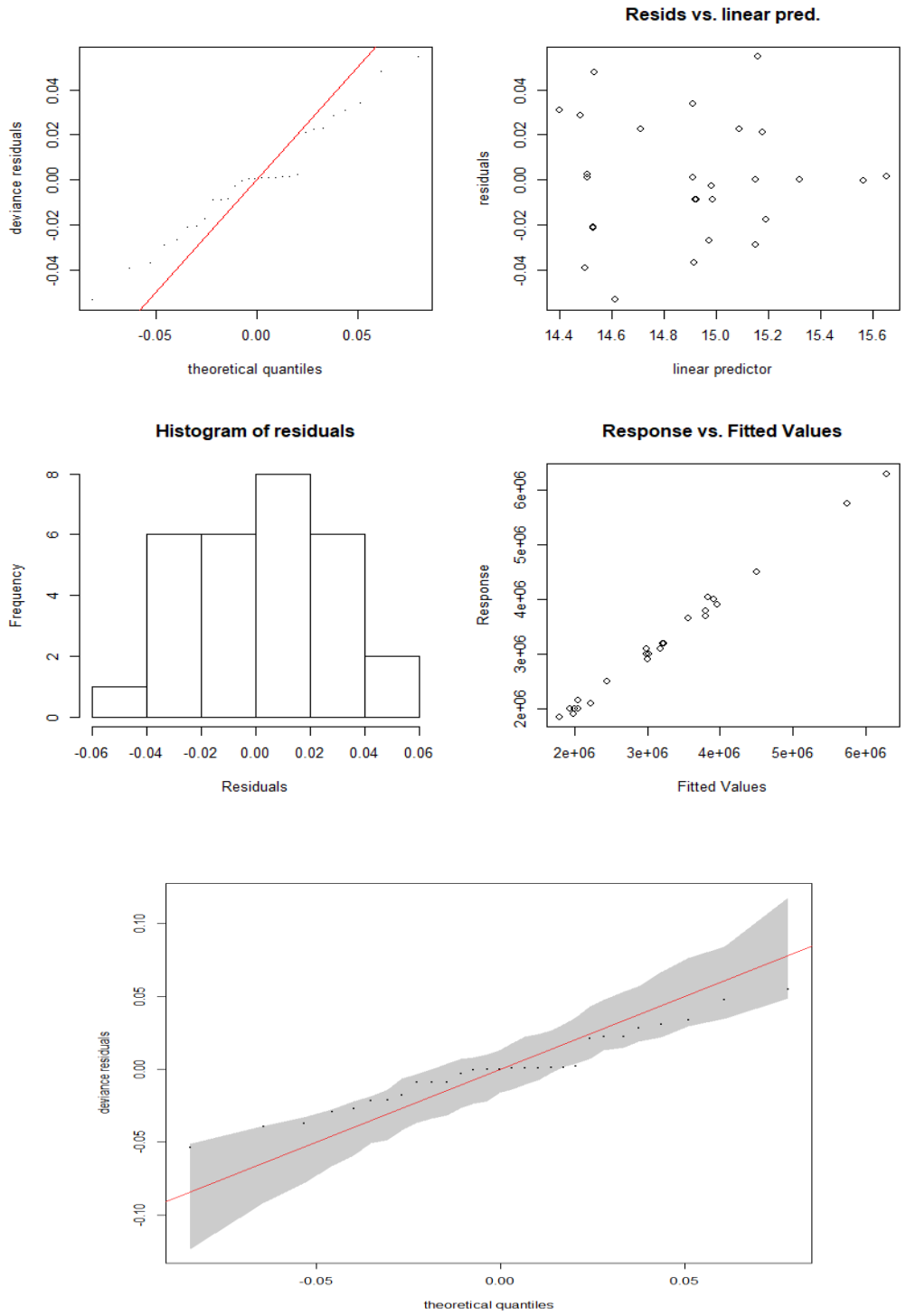
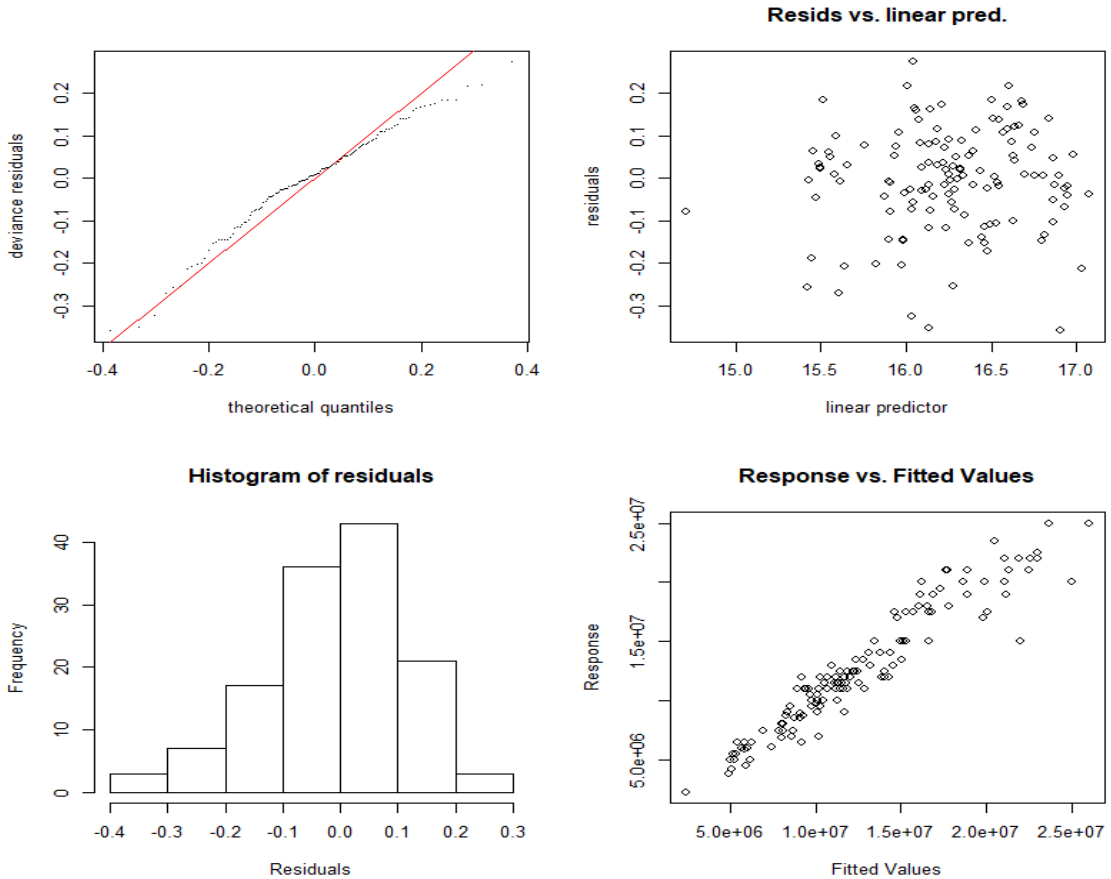


Figura 26. Diagnóstico para el modelo de vivienda hasta 3 pisos



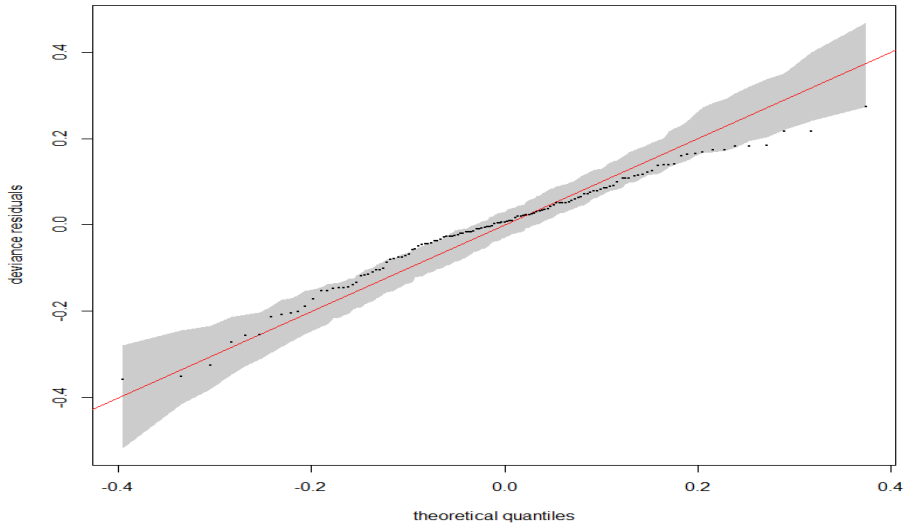


Figura 27. Diagnóstico para el modelo de usos en centro histórico

A partir de los gráficos anteriores se tiene lo siguiente: el qq-plot indica que los residuos del modelo están alineados con los teóricos de la distribución normal, evidenciando así que la distribución seleccionada es una buena alternativa para la estimación. Asimismo, el histograma tiende a una función normal y los residuos no están relacionados con el predictor. Por último, se aprecia una relación lineal positiva bastante marcada entre los datos observados y las predicciones del modelo, lo cual es consistente con los R^2 por encima de 70% que evidenciaron todos los modelos, garantizando así que estos servirán para predecir los demás predios del territorio.

6.3.4 Predicción dentro de la muestra

Como medida global de referencia de la precisión en la predicción se calcula el error absoluto porcentual medio, los resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Error porcentual absoluto medio para cada modelo

Modelo	ECM
Vivienda hasta 3 pisos en PH	1.9%
Apartamentos de 4 o más pisos	11.5%
Comercio en PH	17.0%
Oficinas y restaurantes	11.7%
Bodegas	4.5%
Apartamentos 4 y 5 pisos Cartagena	7.5%
Hoteles	8.8
Centro histórico	9.0%

Se evidencia que el error medio es inferior a 17%, mostrando que en general dentro de la muestra los modelos tienen un desempeño satisfactorio.

6.3.5 Predicción fuera de la muestra

Una vez se han validado los modelos, se construye una base de datos con todos los predios PH sujetos a este tipo de valoración y se obtiene el valor integral estimado para cada uno de ellos, de acuerdo con los diferentes usos constructivos y modelos. De esta forma, el equipo avaluador revisa los resultados para identificar situaciones donde el modelo puede no estar funcionando y debe realizarse un avalúo especial.

7. Bibliografía

- Determinantes del precio de la vivienda nueva en Bogotá: una aproximación a través de un modelo semiparamétrico de regresión espacial - Jurgen Daniel Toloza Delgado, Oscar Orlando Melo Martínez, Juan Sebastián Azcarate Romero – Revista Ingeniería y Ciencia.

- *Modelos Lineares Generalizados Em Experimentação Agronômica*. Demétrio, Clarice Garcia Borges. 2001. USP/ESALQ.

- Caracterización del Territorio - Municipio Santa Rosa de Cabal. UAECD. 2021

- Estimación del Valor Unitario y Valor Integral de los Predios de la Ciudad de Bogotá - Vigencia 2019. UAECD. 2020

- Generalized Additive Models. Simon Wood. 2017. Chapman and Hall.

- Procedimiento Determinación de Valor por Modelos Econométricos con Enfoque Multipropósito. UAECD. 2020

- Valoración Masiva a partir de Modelos Econométricos. IGAC. 2020