



VIGILADA MINEDUCACIÓN

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DE
REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y EL MODELO MULTICRITERIO EN
LA PREDICCIÓN DE LOS VALORES INTEGRALES DE LOS
APARTAMENTOS, EN LA COMUNA 11 – LAURELES, DEL MUNICIPIO DE
MEDELLÍN.

Laura Restrepo González
Juan Manuel Velásquez Correa

Institución Universitaria Esumer
Facultad de Estudios Empresariales y de Mercadeo
Medellín, Colombia
2020

Trabajo de Grado presentado para optar al título de:
Especialista en Valoración Inmobiliaria

Tutor:
Juan Pablo Barrero

Línea de Investigación:
Formulación, evaluación y gestión de proyectos

Institución Universitaria Esumer
Facultad de Estudios Empresariales y de Mercadeo
Medellín, Colombia
2020

Agradecimientos y dedicatoria

Agradecemos a Dios por permitirnos vivir para enfocarnos y dedicarnos a este gremio y a nuestras familias que nos acompañaron durante este proceso de aprendizaje y nos brindaron todo el apoyo moral necesario para culminar este proceso.

Adicionalmente nos gustaría agradecer en este trabajo de grado la colaboración que nos brindaron nuestros colegas y profesores durante el desarrollo de este proyecto; especialmente a nuestro tutor y asesor, Juan Pablo Barrero, por creer en nuestra idea y por orientarnos durante toda la formulación y desarrollo de este trabajo, por dedicarnos diversos espacios para ofrecernos su conocimiento y colaboración.

Finalmente queremos agradecer a la institución Esumer y a la lonja por facilitarnos a los mejores profesores del sector inmobiliario y por ser la sede donde adquirimos y reforzamos los conocimientos necesarios para el desarrollo de este trabajo de grado.

Resumen

En Colombia el mercado inmobiliario está en constante desarrollo, lo que lleva a tomar la decisión de retar los métodos de valoración regulados por la Resolución 620 de 2008 y a profundizar en el tema mediante la ejecución de una comparación entre el método de redes neuronales artificiales y el método multicriterio enfocados en la predicción de los valores integrales de los apartamentos en la comuna 11 - Laureles del municipio de Medellín, continuando con una comparación de ambos métodos con los valores de mercado es este sector, con el objetivo de validar la exactitud de estos dos métodos aplicado a la valoración inmobiliaria.

Al finalizar las comparaciones se determinó que el método de redes neuronales artificiales es el método que más se aproxima a los valores de mercado.

Palabras Clave: Redes Neuronales Artificiales, método multicriterio, mercado inmobiliario, comuna 11 - Laureles, valoración inmobiliaria.

Abstract

In Colombia, the real estate market is in constantly developing, which leads to challenge the assessment methods regulated by Resolution 620 of 2008 and executing a comparison between the artificial neuronal network method and the analytic hierarchy process focused on the prediction of the integral values of the apartments in Commune 11 – Laureles in the municipality of Medellín, followed by a comparison of both methods with the market values in this sector, with the aim of validating the accuracy of these two methods applied to the real estate valuation.

At the end of the comparisons it was determined that the artificial neuronal network method is the best method to make a prediction of the real-estate market values.

Key Word: artificial neural networks, Analytic hierarchy process, real-estate market, commune 11 - Laureles, real estate valuation.

Tabla de contenido

1. Formulación del proyecto	14
1.1 Estado del arte	14
1.2 Planteamiento del problema	20
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivos específicos	21
1.4 Justificación	22
1.5 Marco de referencia	24
1.5.1 Marco teórico	24
1.5.2 Marco conceptual	30
1.5.3 Marco Legal	32
1.6 Marco metodológico	35
1.6.1 Metodología de la investigación	38
1.7 Alcances	39
2. Desarrollo de la investigación	40
2.1 Red neuronal artificial	40
2.1.1 Primer modelo RNA	46
2.1.2 Segundo modelo RNA	49
2.1.3 Tercer modelo RNA	53
2.1.4 Cuarto modelo RNA	56
2.1.5 Quinto modelo RNA	60
2.2 Método analítico jerárquico (AHP) - multicriterio	64
2.2.1 Seleccionar un inmueble a valorar	64
2.2.2 Seleccionar comparables	65
2.2.3 Seleccionar las variables a utilizar para realizar la valoración	65
2.2.4 Plantear el esquema jerárquico	66
2.2.5 Ponderar las variables	67
2.2.6 Ponderar los inmuebles en función de cada variable	69
2.2.7 Multiplicar las matrices resultantes	72
2.2.8 Calcular la ratio de valuación	73
2.2.9 Calcular el valor del inmueble problema	74
2.3 Resultados	76

2.3.1 Red Neuronal	76
2.3.2 Método analítico jerárquico	117
3. Conclusiones y recomendaciones.....	118
3.1 Conclusiones.....	118
3.2 Recomendaciones.....	119
4. Bibliografía.....	120

Lista de Figuras

Ilustración 1. PE RNA	26
Ilustración 2. RNA.....	26
Ilustración 3. Estructura jerárquica.....	29
Ilustración 4. estructura jerárquica en valoración.....	30
Ilustración 5. rna con metodología multivariable	36
Ilustración 6. r2 inicial 1er modelo rna	47
Ilustración 7. r2 final 1er modelo rna	48
Ilustración 8. 1er modelo rna	49
Ilustración 9. r2 inicial 2do modelo rna	51
Ilustración 10. r2 final 2do modelo rna.....	52
Ilustración 11. 2do modelo rna.....	52
Ilustración 12. r2 inicial 3er modelo rna	55
Ilustración 13. r2 final 3er modelo rna.....	55
Ilustración 14. 3er modelo rna.....	56
Ilustración 15. r2 inicial 4to modelo rna.....	59
Ilustración 16. r2 final 4to modelo rna.....	59
Ilustración 17. 4to modelo rna.....	60
Ilustración 18. r2 inicial 5to modelo rna.....	62
Ilustración 19. r2 final modelo rna.....	63
Ilustración 20. 5to modelo rna.....	63
Ilustración 21. comparables modelo ahp.....	65
Ilustración 22. esquema jerárquico.....	67
Ilustración 23. 1er modelo - valor m2 real vs valor m2 estimado por la red	77
Ilustración 24. 1er modelo - valor m2 residual vs valor m2 estimado por la red.....	77
Ilustración 25. 1er modelo - predicción de perfiles.....	78
Ilustración 26. 1er modelo - valor m2 vs estado y estrato	78
Ilustración 27. 1er modelo – valor m2 vs estado y área privada.....	79
Ilustración 28. 1er modelo – valor m2 vs estado y vetustez	79
Ilustración 29. 1er modelo – valor m2 vs estrato Y área privada	80
Ilustración 30. 1er modelo - valor m2 vs estrato y vetustez.....	80
Ilustración 31. 1er modelo - valor m2 vs área privada y vetustez	81
Ilustración 32. 2do modelo - valor m2 real vs valor m2 estimado por la red.....	82
Ilustración 33. 2do modelo - valor m2 residual vs valor m2 estimado por la red.....	82
Ilustración 34. 2do modelo - predicción de perfiles.....	83
Ilustración 35. 2do modelo - iteración de perfiles	84
Ilustración 36. 2do modelo - valor m2 vs barrio y vetustez	85
Ilustración 37. 2do modelo - valor m2 vs estrato y vetustez.....	85
Ilustración 38. 2do modelo - valor m2 vs estrato y área privada	86
Ilustración 39. 2do modelo - valor m2 vs barrio y área privada.....	86
Ilustración 40. 2do modelo - valor m2 vs barrio y estrato	87
Ilustración 41. 2do modelo - valor m2 vs estrato y vetustez.....	87
Ilustración 42. 2do modelo - valor m2 vs estado y área privada.....	88
Ilustración 43. 2do modelo - valor m2 vs estado y área privada.....	88
Ilustración 44. 2do modelo - valor m2 vs estado y barrio	89

Ilustración 45. 2do modelo - valor m2 vs área privada y vetustez	89
Ilustración 46. 3er modelo - valor m2 real vs valor m2 estimado por la red	91
Ilustración 47. 3er modelo - valor m2 residual vs valor m2 estimado por la red.....	91
Ilustración 48. 3er modelo - predicción de perfiles.....	92
Ilustración 49. 3er modelo - iteración de perfiles	93
Ilustración 50. 3er modelo - valor m2 vs estrato y vetustez.....	94
Ilustración 51. 3er modelo - valor m2 vs estrato y área privada	94
Ilustración 52. 3er modelo - valor m2 vs localización y vetustez	95
Ilustración 53. 3er modelo - valor m2 vs localización y área privada	95
Ilustración 54. 3er modelo - valor m2 vs localización y estrato.....	96
Ilustración 55. 3er modelo - valor m2 vs estado y vetustez.....	96
Ilustración 56. 3er modelo - valor m2 vs estado y área privada.....	97
Ilustración 57. 3er modelo - valor m2 vs estado y estrato	97
Ilustración 58. 3er modelo - valor m2 vs estado y localización.....	98
Ilustración 59. 3er modelo - valor m2 vs área privada y vetustez	98
Ilustración 60. 4to modelo - valor m2 real vs valor m2 estimado por la red.....	100
Ilustración 61. 4to modelo - valor m2 residual vs valor m2 estimado por la red	100
Ilustración 62. 4to modelo - predicción de perfiles.....	101
Ilustración 63. 4to modelo - iteración de perfiles	102
Ilustración 64. 4to modelo - valor m2 vs estado y estrato	103
Ilustración 65. 4to modelo - valor m2 vs localización y vetustez	103
Ilustración 66. 4to modelo - valor m2 vs localización y estrato.....	104
Ilustración 67. 4to modelo - valor m2 vs localización y área privada	104
Ilustración 68. 4to modelo - valor m2 VS ESTRATO y vetustez.....	105
Ilustración 69. 4to modelo - valor m2 vs estrato y área privada	105
Ilustración 70. 4to modelo - valor m2 vs estado y vetustez.....	106
Ilustración 71. 4to modelo - valor m2 vs estado y área privada	106
Ilustración 72. 4to modelo - valor m2 vs área privada y vetustez.....	107
Ilustración 73. 4to modelo - valor m2 vs estado y localización	107
Ilustración 74. 5to modelo - valor m2 real vs valor m2 estimado por la red.....	109
Ilustración 75. 5to modelo - valor m2 residual vs valor m2 estimado por la red.....	109
Ilustración 76. 5to modelo - predicción de perfiles.....	110
Ilustración 77. 5to modelo - iteración de perfiles	111
Ilustración 78. 5to modelo - valor m2 vs localización y estrato.....	112
Ilustración 79. 5to modelo - valor m2 vs localización y área privada	112
Ilustración 80. 5to modelo - valor m2 vs estrato y vetustez.....	113
Ilustración 81. 5to modelo - valor m2 vs estrato y área privada.....	113
Ilustración 82. 5to modelo - valor m2 vs estado y vetustez.....	114
Ilustración 83. 5to modelo - valor m2 vs estado y localización.....	114
Ilustración 84. 5to modelo - valor m2 vs estado y estrato	115
Ilustración 85. 5to modelo - valor m2 vs estado y área privada.....	115
Ilustración 86. 5to modelo - valor m2 vs área privada y vetustez	116
Ilustración 87. 5to modelo - valor m2 vs localización y vetustez	116

Lista de Tablas

Tabla 1. modelos rna más usados	37
Tabla 2. tiempo desarrollo trabajo de grado	39
Tabla 3. muestras rna.....	42
Tabla 4. ippr	42
Tabla 5. clasificación atributos de los apartamentos	43
Tabla 6. parámetros predeterminados rna	45
Tabla 7.1er modelo rna	46
Tabla 8. parámetros 1er modelo rna	46
Tabla 9. 2do modelo rna	49
Tabla 10. barrios 2do modelo rna.....	50
Tabla 11. parámetros 2do modelo rna.....	50
Tabla 12. 3er modelo rna.....	53
Tabla 13. localización 3er modelo rna	53
Tabla 14. parámetros 3er modelo rna	54
Tabla 15. 4to modelo rna.....	56
Tabla 16. barrios 4to modelo rna.....	57
Tabla 17. parámetros 4to modelo rna.....	57
Tabla 18. muestra 4to modelo rna.....	58
Tabla 19. 5to modelo rna.....	60
Tabla 20. localización 5to modelo rna	60
Tabla 21. parámetros 5to modelo rna.....	61
Tabla 22. muestra 5to modelo rna.....	62
Tabla 23. ponderación variables primarias	67
Tabla 24. matriz variables primarias.....	67
Tabla 25. ponderación características del edificio.....	68
Tabla 26. matriz características del edificio	68
Tabla 27. ponderación características de la vivienda.....	68
Tabla 28. matriz características de la vivienda	68
Tabla 29. ponderación final.....	69
Tabla 30. barrio suramericana - localización.....	69
Tabla 31. matriz barrio suramericana - localización	69
Tabla 32. barrio suramericana - vetustez.....	70
Tabla 33. barrio suramericana - estado.....	70
Tabla 34. matriz barrio suramericana - estado	70
Tabla 35. barrio suramericana - estrato.....	70
Tabla 36. matriz barrio suramericana - estrato	71
Tabla 37. barrio suramericana - parqueadero.....	71
Tabla 38. matriz barrio suramericana - parqueadero	71
Tabla 39. barrio suramericana - cuarto útil.....	71
Tabla 40. matriz barrio suramericana - cuarto útil	72
Tabla 41. barrio suramericana - superficie.....	72
Tabla 42. matrices barrio suramericana	72
Tabla 43. multiplicación de matrices barrio suramericana	73
Tabla 44. calculo ratio suramericana	73

Tabla 45. ratio medio suramericana	74
Tabla 46. ratio global suramericana	74
Tabla 47. ratio medio final suramericana.....	75
Tabla 48. ratio global final suramericana	75
Tabla 49. resultados multicriterio	117

Introducción

El mercado inmobiliario se define como la oferta y la demanda de inmuebles comerciales, residenciales, industriales, de servicios, entre otros; incluyendo también la promoción inmobiliaria y la financiación que permite la adquisición o el desarrollo de un proyecto inmobiliario. Adicionalmente cabe mencionar que todas las acciones que se relacionan con la compra y/o venta de inmuebles conforman el sector inmobiliario.

El mercado inmobiliario afecta directamente la economía de un país, lo que nos lleva a considerar que el cambio de los valores inmobiliarios influyen el desarrollo económico y pueden beneficiar o perjudicar la economía dependiendo del manejo de estos. (“¿Qué es el mercado inmobiliario? | Realía,” n.d.)

A lo largo de la historia del ser humano ha existido la valoración, en un principio se intercambiaban bienes en función del valor que cada persona le otorgaba a estos, este valor era altamente influenciado por el sentimentalismo, la utilidad y la demanda de estos.

Valorar significa asociar a un bien o a un derecho determinado una cantidad de dinero, basado en sus características y como consecuencia de una situación de mercado específica; de igual forma, la valoración inmobiliaria se define como una actividad que requiere múltiples disciplinas para su desarrollo, los profesionales inmobiliarios deben conocer la oferta y la demanda, las tendencias, los precios y los ciclos del mercado, adicionalmente deben tener estudios y conocimientos específicos para determinar el valor de un bien inmueble. (“La Valoración Inmobiliaria - Google Libros,” 2005)

La valoración inmobiliaria es la valoración más presente en el día a día, está presente en el pago de impuestos, la compra y venta de un inmueble, la solicitud de un préstamo hipotecario; asimismo es la base de algunos gravámenes que recaen sobre bienes inmuebles, entre otras.

Actualmente en Colombia existen cuatro métodos de valoración regulados por la resolución 620 de 2008, conocidos como el método de mercado, el método de capitalización de rentas, el método de costo de reposición y el método residual; estos métodos son los más utilizados actualmente en el país debido a su alta aceptación por parte de empresas, particulares,

tribunales, etc.; a pesar de que a lo largo del tiempo han demostrado su gran utilidad y asertividad, estos métodos se ven influenciados por la subjetividad, lo que lleva a los profesionales del sector a implementar alternativas basadas en datos estadísticos e inteligencia artificial como las redes neuronales para la predicción de valor o el método multicriterio aplicado a los inmuebles. (González Alonso & Pérez González, 2015)

El primer modelo de las redes neuronales se dio en el año 1943, este fue propuesto por McCulloch y Pitts, fue un modelo binario que sirvió como base para modelos posteriores; con esto se dio inicio a las redes neuronales artificiales que tienen como objetivo el procesamiento de datos no lineales y paralelos para generar la autoorganización, la adaptabilidad y el constante aprendizaje (*Introducción a las redes neuronales aplicadas Conceptos básicos*, n.d.); desde el inicio se buscó que la red fuera capaz de aprender de la experiencia, para aplicar sus conocimientos a nuevos datos, con este proceso también se esperó que la red fuera capaz de llevar a cabo ciertas tareas automáticamente por medio de los aprendizajes obtenidos en el proceso de entrenamiento y prueba (“Ventajas de las redes neuronales - Inteligencia Artificial,” n.d.).

Para el desarrollo de este trabajo de grado se generó una red neuronal con valores integrales de inmuebles de la comuna 11 - Laureles e información relevante de las características de cada inmueble con el fin de que esta fuera capaz de predecir valores de inmuebles a partir de sus características.

De igual forma nos enfocaremos en el método multicriterio el cual fue desarrollado en 1980 por Thomas L. Saaty para resolver problemas complejos de criterios múltiples. Este modelo requiere de evaluaciones subjetivas sobre la importancia relativa y la preferencia de cada criterio (de Proveedores Toskano Hurtado & Bruno, n.d.).

Con respecto a la valoración inmobiliaria, el método multicriterio determina el valor del inmueble mediante la utilización de comparables similares al inmueble a valorar, sin embargo, se debe tener la información cuantificada del precio de la transacción de inmuebles similares y de las variables explicativas del inmueble que se tendrán en cuenta.

El presente estudio tiene como objetivo el desarrollo de una red neuronal para la valoración inmobiliaria, con el fin de contrastarla con el método multicriterio para así, comparar ambos métodos con los valores del mercado de apartamentos en la comuna 11 – Laureles, Medellín y determinar cuál de los dos métodos tiene más asertividad en la valoración inmobiliaria.

1. Formulación del proyecto

1.1 Estado del arte

El mercado inmobiliario es muy dinámico y es esencial para la economía de un país, se define como una agrupación de bienes inmuebles con oferta y demanda, adicionalmente la definición de mercado inmobiliario incluye todas las operaciones que se generen relacionadas con la venta y la compra de estos bienes; estos bienes inmuebles se agrupan en subgrupos como residencial, comercial, industrial, urbano, entre otros (“¿Qué es el mercado inmobiliario? | Realia,” n.d.).

El mercado inmobiliario se ve afectado por diversas variables mencionadas a continuación:

- **Demanda inmobiliaria:** cantidad de bienes inmuebles que se solicitan en un mercado determinado a un precio específico (“Oferta y demanda - Enciclopedia | Banrepcultural,” n.d.)
- **Oferta inmobiliaria:** cantidad de bienes inmuebles que se ofrecen en un mercado bajo unas condiciones determinadas (“Oferta y demanda - Enciclopedia | Banrepcultural,” n.d.)
- **Interrelación entre oferta y demanda:** actúan como fuerzas para determinar los precios de los bienes inmuebles, cuando los vendedores y compradores se alinean se denomina punto de equilibrio, entendiéndose como el punto donde se unen la oferta y la demanda (“Oferta y demanda - Enciclopedia | Banrepcultural,” n.d.)
- **Tasa de interés:** con unas bajas tasas de interés el mercado se dinamiza por la facilidad de pago de deudas, caso contrario con altas tasas de interés (“Factores económicos que influyen en el mercado inmobiliario,” 2018)
- **Inflación:** al igual que las tasas de interés, la adquisición de bienes inmuebles se ve altamente influenciada por la inflación; entendiéndose como inflación la disminución del poder adquisitivo de la moneda (“| Banco de la República (banco central de Colombia),” n.d.)

La valoración inmobiliaria es un término que se refiere a la asignación de valor de una determinada propiedad, a partir del análisis de los elementos y características de la propiedad y de su entorno. Para ejecutar la acción de valorar inmuebles es necesario contar con estudios y conocimientos en el ámbito inmobiliario.

Es importante considerar que la valoración es un cálculo del valor económico, establecido bajos metodologías y técnicas de valuación (Garcia Almirall, 2007).

Teniendo en cuenta lo anterior y las variables que afectan el mercado inmobiliario, se puede determinar el valor del inmueble basado en las metodologías mencionadas en la Resolución 620 de 2008.

- Método de comparación o de mercado: técnica de valoración que determina el valor comercial de un inmueble por medio del estudio de ofertas y transacciones reales recientes, de inmuebles comparables y similares al inmueble a valorar (*INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Sistema Gestión de Calidad Certificado*, 2008).
- Método de capitalización de rentas o ingresos: técnica de valoración que establece el valor comercial de un inmueble basado en las rentas o ingresos que se puedan obtener del mismo bien, o inmuebles semejantes y comparables, es necesario tener en cuenta los ingresos generados en la vida remanente del bien objeto de avalúo, con una tasa de capitalización o interés (*INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Sistema Gestión de Calidad Certificado*, 2008).
- Método de costo de reposición: técnica de valoración que determina el valor comercial de un inmueble por medio de la estimación del costo total de construcción a valores de hoy con la disminución de la depreciación acumulada y la adición del valor correspondiente al terreno (*INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Sistema Gestión de Calidad Certificado*, 2008).
- Método (técnica) residual: técnica de valoración que determina el valor comercial de un inmueble (por lo general un terreno) por medio de la estimación de las valor de las ventas totales para un proyecto de construcción,

teniendo en cuenta la reglamentación urbanística vigente y un factibilidad en ventas (*INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Sistema Gestión de Calidad Certificado*, 2008).

Adicional a los métodos mencionados anteriormente, desde los años 80's se inició el desarrollo de una metodología complementaria de valoración llamada Método Multicriterio, la cual surge del constante interés por buscar alternativas que ayuden en la toma decisiones, para el caso de la valoración inmobiliaria es una técnica que se basa en una distribución en función de unas prioridades y jerarquías, para ayudar a determinar el valor ajustado de un bien inmueble ("Modelo AHP: toma de decisiones mediante su desglose : PDCA Home," n.d.).

Para determinar los valores de un inmueble por medio del método multicriterio se deben emplear los siguientes pasos (Bellver et al., 2012):

- PASO 1. Determinar los inmuebles comparables y similares al inmueble a valorar; asimismo establecer las variables explicativas que se tendrán en cuenta.
- PASO 2. Establecer el peso de cada variable explicativa por medio de la construcción de matrices de comparaciones pareadas, todas las variables seleccionadas son explicativas del precio, pero no todas tienen la misma importancia. Se debe comprobar la consistencia de las matrices.
- PASO 3. Realizar una ponderación de los inmuebles comparables con respecto a cada variable explicativa, con el fin de determinar el vector propio de cada matriz. Se debe comprobar la consistencia de las matrices. Se debe validar que la correlación de la ponderación de los comparables con los precios es alta (>50%), de lo contrario la variable no es explicativa del valor del inmueble.
- PASO 4. Se tendrán dos matrices, una matriz columna con el peso o la importancia de cada variable explicativa y un conjunto de vectores que indican la ponderación de los comparables y el inmueble a valorar con respecto a la variable correspondiente; la cantidad de vectores depende de la cantidad de variables explicativas que se tengan en cuenta.

- PASO 5. Establecer el producto de ambas matrices, buscando determinar la ponderación de los comparables y el inmueble a valorar, en función de las variables explicativas determinadas y su importancia. Se debe comprobar la consistencia de las matrices. Se debe validar que la correlación de la ponderación de los comparables con los precios es alta (>50%), de lo contrario la variable no es explicativa del valor del inmueble.
- PASO 6. Determinar el ratio:

$$Ratio = \frac{\sum Precios\ de\ los\ comparables}{\sum Ponderaciones\ de\ los\ comparables}$$

- PASO 7. Generar la relación ratio entre los precios y las ponderaciones, el producto será el valor buscado.
- PASO 8. Calcular el índice de adecuación, se puede mejorar el análisis del valor centrándose en los comparables que tengan menor desviación estándar.

Por otro lado, desde los años 40's se empezaron a desarrollar las redes neuronales artificiales (RNA), modelo computacional que procesa información de manera similar a las neuronas biológicas; las RNA están conformadas por neuronas o nodos que se encargan de recibir, procesar y enviar información; su objetivo principal es ser comparable con el cerebro humano, en cuanto a la forma de pensar y aprender.

Las RNA están constituidas por tres tipos de capas:

- Capa de entrada: encargados de recibir la información de la red, considerada como input.
- Capa de salida: encargados de enviar la información hacia el exterior de la red, considerada como output.
- Capas ocultas: encargados de transmitir la información entre las capas de entrada y las capas de salida de la red, no tienen contacto con el exterior. Procesan, modifican y transfieren la información de una capa a otra.

Adicionalmente las RNA contienen capas de aprendizaje, las cuales se conforman con capaz de nodos ocultos; es importante considerar que entre más cantidad de capas de aprendizaje

tenga la RNA, mayor es la profundidad y por lo tanto tendrá una mayor capacidad de aprendizaje (“Redes Neuronales Artificiales y Deep Learning, explicado para dummies,” n.d.).

La modelación con RNA tienes dos fases:

- Fase de entrenamiento: en esta fase se usa un conjunto de datos de entrada y se procesan con el fin de minimizar el error entre la salida obtenida por la RNA y la salida de datos deseada
- Fase de prueba: durante la fase de entrenamiento el modelo puede llegar a ajustarse de tal forma que pierde su habilidad de generalizar su aprendizaje a casos nuevos, considerado como sobreajuste; para evitar este problema se usa un segundo conjunto de datos diferentes a los de la fase anterior, buscando validar y controlar el proceso de aprendizaje.

Para la valoración inmobiliaria el input se considera que son las variables que ayudan a determinar el valor del inmueble y el output estaría constituido por el valor del inmueble.

Este trabajo de grado se enfoca en el desarrollo de una RNA y el método multicriterio para la comuna 11 – Laureles, considerada como una de las dieciséis comunas de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia. Limita por el norte con la comuna 7 – Robledo, por los barrios La Iguañá y San Germán; por el sur con la comuna 16 – Belén, por el cerro Nutibara y los barrios Rosales, Fátima, El nogal, Nueva Villa de Aburrá y Las Mercedes; por el oriente con la comuna 10 – La Candelaria, por los barrios Corazón de Jesús, La Alpujarra y San Benito; y por el occidente con la comuna 12 – La América, por los barrios Santa Teresita, La América, Simón Bolívar, La Floresta, Ferrini y Calasanz (“Bibliografía Recomendada: Comuna 11 de Medellín «Hemeroteca - Biblioteca Pública Piloto,” 2013).

Cabe mencionar que los siguientes barrios conforman la comuna 11 – Laureles:

- Florida Nueva
- Cuarta Brigada
- Los Colores
- Estadio
- EL Velódromo

- Lorena
- La Castellana
- Las Acacias
- Laureles
- Bolivariana
- Los Conquistadores
- San Joaquín
- Naranjal
- Suramericana
- Carlos E. Restrepo

La comuna 11 – Laureles es uno de los sectores con valores por metro cuadrado más altos de Medellín, su mayor uso del suelo es residencial, sin embargo, cuenta con alta mixtura en los predios que lindan con las calles principales como la 80, la 65, la 33, la avenida Nutibara, San Juan y Colombia.

1.2 Planteamiento del Problema

En Colombia es evidente que la determinación del valor de un predio de manera ajustada y acertada es indispensable en la economía del país, basado en que el avalúo de este es la base de la liquidación del Impuesto Predial Unificado, impuesto que representa un ingreso significativo en los municipios del país (Emilcen & Fajardo, 2014).

La valoración inmobiliaria es una actividad que como se menciona anteriormente afecta al Estado, pero también afecta a los ciudadanos, dado que está presente en gran cantidad de situaciones cotidianas como son la compra y venta de una vivienda, solicitud de un préstamo hipotecario, pago de obligaciones tributarias, entre otras (Rey Carmona, 2014).

La temática para abordar en el presente trabajo de grado surge de la necesidad de obtener una alternativa a los métodos tradicionales de valoración masiva como precios hedónicos y modelos de regresión múltiple, que supere los límites y la baja flexibilidad de las características de estos modelos (Tabales, Ocerin, Villamondos, & Jiménez, 2009).

En Colombia las metodologías de valoración son las mismas hace más de treinta años, evidenciando oportunidad de implementar metodologías diferentes que generen un alto nivel de confianza por medio de la utilización de variables cuantitativas y que tenga en cuenta variables significativas como el estado de conservación, la ubicación, la edad, acabados, área, comodidades, entre otros.

Lo anterior nos abre la posibilidad de considerar métodos disruptivos como las RNA y el método multicriterio como alternativas para la estimación de los valores integrales de inmuebles; estos métodos son relativamente nuevos en el ámbito de valoración inmobiliaria y en Colombia no son comunes.

Con el fin de abarcar el problema encontrado en la valoración de inmuebles en Colombia, se tomó la decisión de realizar una prueba en inmuebles residenciales, tipo apartamentos en la comuna 11 – Laureles, para desarrollar una RNA y el método multicriterio y comparar los valores resultantes a los valores de mercado, buscando concluir según el resultado, cuál de ellos obtiene con mejor precisión el valor integral de un apartamento, en la comuna 11 – Laureles.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar en el ámbito de la valoración inmobiliaria una red neuronal y un método multicriterio que puedan ser contrastados, para comparar entre ambos y el mercado con los valores integrales resultantes de apartamentos en la comuna 11 – Laureles, Medellín.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar la consecución y preparación de la información de mercado, adicionalmente determinar las variables influyentes a estudiar
- Investigar y construir la Red Neuronal Artificial correspondiente de acuerdo con las variables influyentes determinadas para la muestra de estudio
- Investigar y construir el método multicriterio correspondiente de acuerdo con las variables influyentes determinadas para la muestra de estudio
- Comparar con respecto al mercado por medio de una muestra de contraste, la viabilidad de aplicación de las dos metodologías investigadas

1.4 Justificación

Actualmente el mercado inmobiliario pide un análisis a mayor profundidad de desempeño y comportamiento de variables económicas, políticas, legales, sociales y físicas lo que refleja la necesidad de utilizar una metodología más completa para determinar el valor integral de los predios; lo que lleva a salirse de los métodos tradicionales de valoración para procesar información con otros métodos alternativos como el modelo de Redes Neuronales Artificiales para la estimación del valor integral de una forma rápida y acertada o el método multicriterio que ayuda con la toma de decisión del valor integral por medio de los diversos factores que tiene en cuenta.

El objeto de este trabajo de grado se enfoca en el desarrollo de una RNA y un método multicriterio para determinar la asertividad de la estimación de los valores integrales por medio de la comparación de valores de mercado con una muestra de contraste con los valores encontrados por la RNA y el Modelo multicriterio, con el fin de concluir sobre la relevancia del modelo para el gremio inmobiliario; con aplicación a Catastro en Medellín y avaluadores de la ciudad, tanto para estimar valores catastrales como comerciales.

Los muestreos en modelos de valoración multicriterio se realizaron bajo el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP), propuesto por el Profesor Thomas L. Saaty (1980). El potencial del método, como distintos autores han evidenciado, se debe a que se adecua a diversas situaciones y su cálculo es sencillo. En esencia, puede afirmarse que AHP es un método de selección de alternativas (estrategias, inversiones, etc.) en función de una serie de criterios o variables, las cuales suelen estar en conflicto; para ello, pondera tantos los criterios como las distintas alternativas utilizando las matrices de comparación pareadas y la escala fundamental para comparaciones por pares.

La valoración masiva se llevó a cabo por medio de un modelo de RNA el cual permite determinar los valores integrales a partir de inteligencia artificial; debido a su semejanza con el cerebro humano, son capaces de aprender de la experiencia y a partir de datos históricos, en este caso se tomó una muestra de datos del sector de la comuna 11 – Laureles con valores desde el año 2017 hasta el 2019, llevándolos a valor presente con el IPPR, buscando una

mayor asertividad y nivel de confianza de la información obtenida del valor integral de los predios del sector determinado; las tablas de datos contaban con las características propias de los inmuebles que permitieron llevar a cabo la investigación.

Analizando las referencias bibliográficas encontradas se puede determinar que las redes neuronales son un buen método porque son capaces de aprender de la experiencia y realizar actividades basadas en el entrenamiento inicial, es capaz de autoorganizarse con el fin de llevar a cabo objetivos específicos, tiene la capacidad de ser tolerante a fallos en un número no representativo de neuronas sin afectar el comportamiento del sistema, es capaz de operar en tiempo real, adicionalmente en el mercado existen softwares amigables con los usuarios, que permiten llevar a cabo una RNA sin complicaciones.

Entendiendo las ventajas que presenta este modelo, se decidió implementar una RNA para realizar una valoración masiva.

Cabe mencionar que, utilizando el Modelo de Valoración Multicriterio y las Redes Neuronales Artificiales, se logró capturar un mayor número de variables y condiciones que con los métodos tradicionales, lo que permitió retornos a trabajar con métodos diferentes a los estudiados en la especialización y lo que implica una disposición a la investigación y el trabajo, que nos ayudaron a obtener un mayor conocimiento para afrontar los avalúos con mayor criterio.

Es importante mencionar que el trabajo de grado fue pensado principalmente para retar los métodos de valoración aprendidos durante la especialización en valoración inmobiliaria y buscando crear una herramienta adicional que proporciona beneficios a las personas del sector inmobiliario en la estimación de valores integrales de predios.

1.5 Marco de Referencia

1.5.1 Marco Teórico

- **Teoría de Precios hedónicos**

El valor de un bien inmueble está determinado tanto por sus características físicas y de utilización y por la especulación y determinación de crecimiento y desarrollo urbano del sector del inmueble.

La Teoría de Precios Hedónicos tiene como objetivo principal explicar el valor de una propiedad o un inmueble, como conjunto de sus atributos como son el uso del suelo, la construcción, el diseño, áreas, ubicación, el entorno, servicios públicos, entre otros; determinando la importancia de cada una de las características en el valor de mercado de la propiedad; por medio de esta teoría se puede estimar como cambia el valor del inmueble de acuerdo a la calidad y cantidad de características o atributos del bien inmueble.

La ecuación general del modelo utilizado es la siguiente:

$$P = f(I, V, U, Z, S, E; w) (*)$$

Definición de variables de la ecuación (*) (Lever, n.d.):

- P: precio del inmueble, determinado por la función f, normalmente el resultado se da como valor por metro cuadrado.
- I: características inherentes al inmueble, hace referencia al área, construcción, terreno, usos del suelo, diseño, características propias del inmueble y del terreno.
- V: características del vecindario, tipo de inmuebles cercanos, seguridad, nivel socioeconómico.
- U: características de ubicación del inmueble, áreas residenciales e industriales, accesibilidad, distancia a puntos de interés.

- Z: características provenientes por la ubicación del inmueble, actividades permitidas, usos del suelo, densidades e índices.
- S: características del nivel de equipamiento exterior, servicios e infraestructura que posee el inmueble
- E: características propias del entorno donde se encuentra el inmueble, actividades contaminantes, zonas verdes, basureros.
- w: los parámetros que acompañan a cada atributo bajo los cuales se determina el valor de cada atributo del inmueble.

• **Redes Neuronales Artificiales**

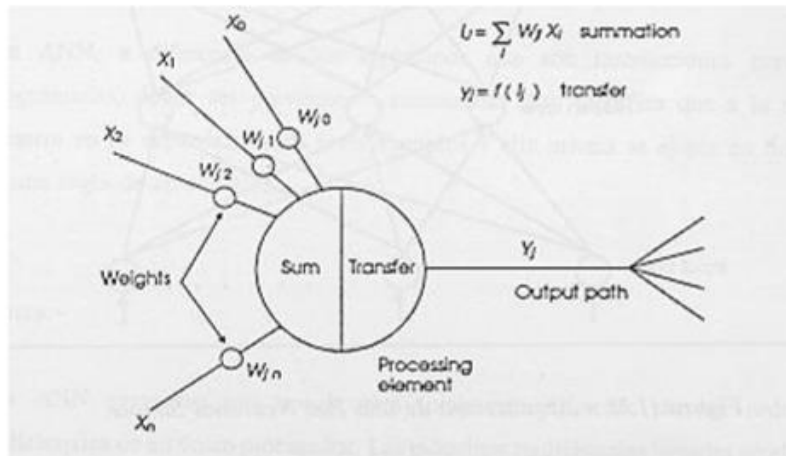
Una Red Neuronal es un procesador de información, constituido por neuronas; se caracteriza principalmente por adquirir conocimientos por medio de la experiencia, el conocimiento es almacenado de forma que se genera una adaptabilidad capaz de ser dinámica en cualquier momento del proceso, comparable con el cerebro humano y capaz de resolver problemas complejos (Izaurieta & Saavedra, n.d.).

El procesador potencial evocador (PE) es la unidad relativa a la neurona biológica, tiene varias entradas de información y es capaz de combinar; la suma de las entradas es modificada por medio de una transferencia de información y con esto se genera el valor de salida.

La salida del PE se puede conectar con las entradas de otras neuronas artificiales por medio de conexiones.

La siguiente imagen representa un PE de una red neuronal artificial (Olabe, n.d.).

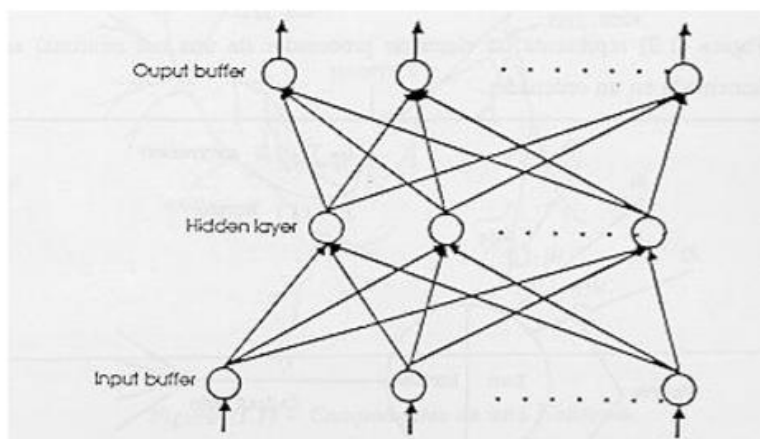
ILUSTRACIÓN 1. PE RNA



Una red neuronal artificial es formada por un conjunto de unidades elementales PE conectadas de una forma determinada, los cuales se organizan en niveles o capas que conectan con el mundo exterior. Una capa de entrada donde se entregan los datos a la red y una capa de salida que mantiene la respuesta a la red de entrada; adicionalmente existen capas ocultas intermedias.

La siguiente imagen es la representación gráfica de una red neuronal artificial (Olabe, n.d.).

ILUSTRACIÓN 2. RNA



• **Modelo Multicriterio**

Se presentan a continuación los conceptos importantes para tener en cuenta en el desarrollo y aplicación de los métodos multicriterio:

- Variables explicativas inversas: La hipótesis de partida en valoración es que el valor de los bienes o activos depende de sus características; ejemplo: el valor de un inmueble urbano depende entre otras variables de su superficie y de la calidad de la edificación. Estas características reciben la denominación de variables explicativas.

En su relación con el precio, las variables explicativas pueden clasificarse en dos grupos:

- Variables explicativas directas. Son aquellas en que el precio varía en el mismo sentido que ellas; es decir, si la variable aumenta, el precio aumenta y si la variable disminuye, también lo hace el precio.
- Variables explicativas inversas. Son aquellas en que el precio varía en sentido inverso a ellas; es decir, si la variable aumenta, el precio disminuye y si la variable disminuye, el precio aumenta.

Para poder incluir variables explicativas en algunos métodos de valoración es imprescindible transformarlas en directas; sin embargo, en algunos métodos es conveniente, aunque no imprescindible, su transformación. Existen dos formas de llevar a cabo esta transformación:

- Transformación por inversa: Consiste en sustituir la variable por su inversa; esto es, la variable explicativa x_i sería sustituida por la correspondiente explicativa directa $1/x_i$. Tiene el inconveniente de no poder ser utilizada cuando la variable toma el valor cero en alguno de los activos de referencia o datos comparables.
- Transformación por la diferencia a una constante: Consiste en sustituir la variable x_i por la diferencia con una constante K cuyo valor debe ser superior que el mayor valor posible de la variable. Esta transformación $(K-x_i)$ continuamente realizada en Valoración tiene el

inconveniente que según la constante k que se elija, varia el resultado obtenido.

- Variables explicativas cualitativas: Son aquellas que no son medibles directamente, aunque el experto pueda darle una determinada cuantificación utilizando una escala definida previamente. Ejemplo: la calidad del suelo, el aspecto vegetativo, la calidad el entorno urbanístico, entre otras.
- Normalización de las variables: Los métodos multicriterio exigen una previa normalización de la información. Ejemplo: distancia en metros o kilómetros; ventas en pesos o dólares.
- Funciones de distancia: Se tienen tantos valores del activo a valorar como métodos hayamos utilizado. Uno de los problemas que tiene el valorador es cuál de estos valores va a considerar como válido.

Para esto se utiliza el concepto de distancia introducido por Minkowsky y en el axioma de Zeleny, que indica la solución preferida según la proximidad al punto ideal.

$$L_p = \left[\sum_{j=1}^n |x_{ij} - x_{kj}|^p \right]^{1/p}$$

- Índice de adecuación: La aplicación del índice de adecuación (I_a) (Aznar y Guijarro, 2005) es otra forma de emplear la distancia Manhattan en aquellos casos en que solo utilizamos un solo método de valoración con un único resultado.
- Agregación de vectores propios: Cuando en una valoración consultamos a diversos expertos, con las contestaciones de cada uno construimos las correspondientes matrices de comparación pareada y los distintos vectores propios obtenidos no tienen por qué ser idénticos, más bien, normalmente diferirían, aunque sea levemente.
- Multiplicación de matrices: El producto de matrices es una operación que utilizaremos en el proceso de aplicación AHP y puede realizarse fácilmente mediante la función MMULT del asistente de funciones de Excel.

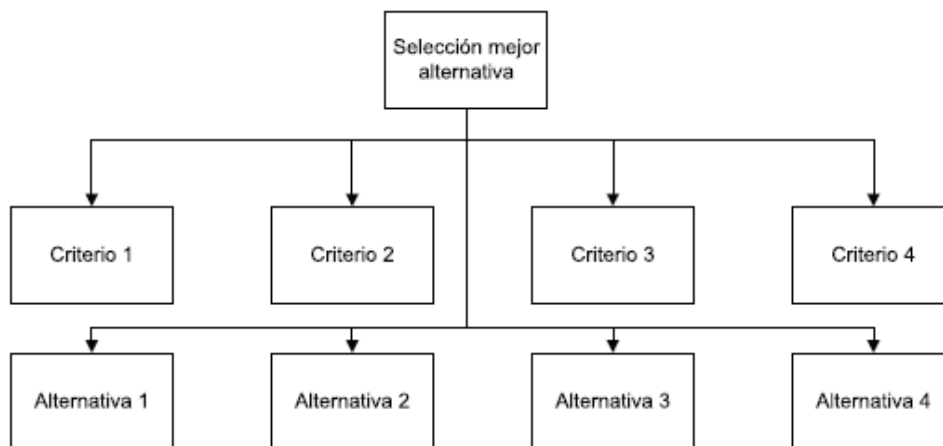
- Suma ponderada: Permite ponderar una serie de alternativas en función de un grupo de criterios.
- Nomenclatura: Para poder aplicar la metodología multicriterio a la valoración es imprescindible realizar algunos cambios en la terminología original de forma que se adapte el vocabulario multicriterio a la terminología valorativa.

Las denominadas Alternativas en el modelo general se corresponderán en valoración con el conjunto de activos comparables, cuyos precios y elementos de comparación o variables explicativas se conocen más en el activo a valorar.

Los denominados atributos o criterios en el método general equivalen con lo que denominamos en valoración elementos de comparación que son aquellos elementos que explican el precio (variables explicativas).

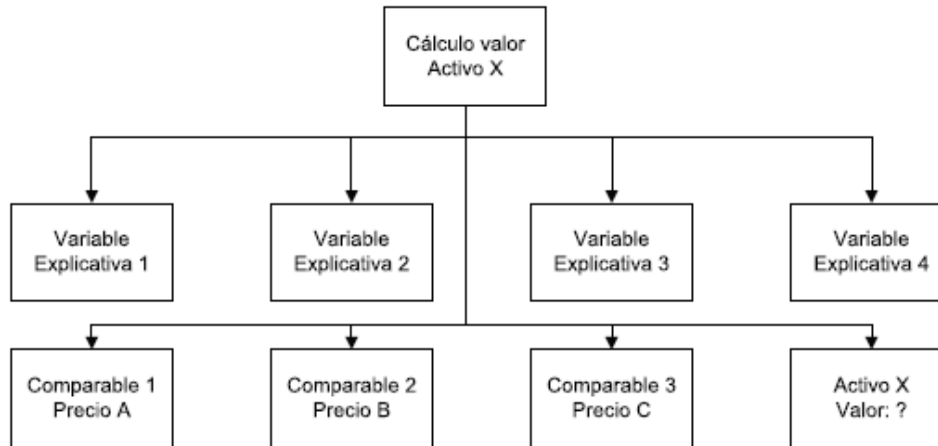
De forma que la estructura jerárquica en toma de decisiones:

ILUSTRACIÓN 3. ESTRUCTURA JERÁRQUICA



Pasaría en valoración a:

ILUSTRACIÓN 4. ESTRUCTURA JERÁRQUICA EN VALORACIÓN



(Bellver & Guijarro Martínez, n.d.)

1.5.2 Marco Conceptual

- **Red Neuronal Artificial**

Sistema de procesamiento de la información cuya estructura y funcionamiento están inspirados en las redes neuronales biológicas. Consiste en un gran número de elementos simples de procesamiento llamados nodos o neuronas que estaba organizadas en capas. Cada neurona está conectada con otras neuronas mediante enlaces de comunicación, cada uno de los cuales tiene asociado un peso; los pesos representan la información que será usada por la red neuronal para resolver un problema determinado.

Las RNA son sistemas adaptativos que aprenden de la experiencia, mediante entrenamientos con ejemplos ilustrativos (Pol, Moreno, & Palmer, 1999).

- **Neurona Artificial**

Dispositivo que a partir de un conjunto de datos de entradas generan una única salida; los datos de entrada pueden ser binarios, bipolares, números enteros o continuos, variables borrosas, etc. (Pol et al., 1999).

- **Capas en una RNA**

Conjunto de neuronas cuyas entradas de información provienen de la misma fuente y cuyas salidas de información se dirigen al mismo destino (Pol et al., 1999).

Una RNA tiene tres capas

- Capa de Entrada: recibe la información del exterior (input).
- Capa(s) Oculta(s): son aquellas cuyas entradas y salidas se encuentran dentro del sistema, no tienen contacto con el exterior. Procesan, modifican y transfieren la información de una capa a otra.
- Capa de Salida: envía la respuesta de la red al exterior (output).

- **Método Multicriterio**

Técnica utilizada para la toma de decisiones, basada en realizar una distribución de las decisiones a tomar en función de una prioridad o jerarquía que permite visualizar cual es la decisión que mayor impacto crean para el objetivo buscado (“Modelo AHP: toma de decisiones mediante su desglose : PDCA Home,” n.d.).

- **Bienes inmuebles**

Bienes que no pueden transportarse de un lugar a otro y los que se adhieren permanentemente al suelo (*DICCIONARIO INMOBILIARIO A*, n.d.).

- **Valoración Inmobiliaria**

Actividad desarrollada para determina el valor de un bien inmueble, de acuerdo con métodos, técnicas y herramientas necesarias y adecuadas. El dictamen de la valuación se llama avalúo (*LEY 1673 DE 2013*, 2013).

- **Mercado Inmobiliario**

Hace referencia a la oferta y demanda de bienes inmuebles residenciales, comerciales, industriales, urbanos, etc. Adicionalmente hace referencia a la promoción inmobiliaria, a la inversión y a la financiación que permiten la adquisición o desarrollo de proyectos inmobiliarios (“¿Qué es el mercado inmobiliario? | Realia,” n.d.).

- **Comuna 11-Laureles**

considerada como una de las dieciséis comunas de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia. Limita por el norte con la comuna 7 – Robledo, por los barrios La Iguaná y San Germán; por el sur con la comuna 16 – Belén, por el cerro Nutibara y los barrios Rosales, Fátima, El nogal, Nueva Villa de Aburrá y Las Mercedes; por el oriente con la comuna 10 – La Candelaria, por los barrios Corazón de Jesús, La Alpujarra y San Benito; y por el occidente con la comuna 12 – La América, por los barrios Santa Teresita, La América, Simón Bolívar, La Floresta, Ferrini y Calasanz (“Bibliografía Recomendada: Comuna 11 de Medellín «Hemeroteca - Biblioteca Pública Piloto,” 2013).

- **Linderos**

Elemento esencial para localizar un inmueble, es la descripción detallada del lugar donde se encuentra el inmueble, se hace con el uso de coordenadas geográficas (“Lenguaje Inmobiliario | Casas y Negocios,” n.d.).

- **Área construida**

Área de un inmueble excluyendo azoteas, áreas duras sin cubrir o techar, áreas de las instalaciones mecánicas y puntos fijos, áreas de los estacionamientos ubicados en semisótanos, sótanos y en un piso como máximo (*DICCIONARIO INMOBILIARIO A*, n.d.).

1.5.3 Marco Legal

- **Ley 388 de 1997**

Ley que regula el ordenamiento territorial municipal, orienta el desarrollo del territorio y regula la utilización y ocupación de este, de acuerdo con los lineamientos y estrategias que se tienen para el desarrollo del municipio.

El POT es el conjunto de objetivos, políticas, estrategias y normas que ayudan a orientar y administrar el desarrollo del territorio y la utilización del suelo (*Desarrollo Sostenible Y Ley de Desarrollo Territorial*, n.d.).

- **Resolución 620 de 2008 del IGAC**

Establece los procedimientos y métodos para realizar avalúos dentro del marco de la ley 388 de 1997:

Artículo 1º. - Método de comparación o de mercado. Es la técnica valuatoria que busca establecer el valor comercial del bien, a partir del estudio de las ofertas o transacciones recientes, de bienes semejantes y comparables al del objeto de avalúo. Tales ofertas o transacciones deberán ser clasificadas, analizadas e interpretadas para llegar a la estimación del valor comercial (*INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Sistema Gestión de Calidad Certificado*, 2008).

Artículo 2º. – Método de capitalización de rentas o ingresos. Es la técnica valuatoria que busca establecer el valor comercial de un bien, a partir de las rentas o ingresos que se puedan obtener del mismo bien, o inmuebles semejantes y comparables por sus características físicas, de uso y ubicación, trayendo a valor presente la suma de los probables ingresos o rentas generadas en la vida remanente del bien objeto de avalúo, con una tasa de capitalización o interés (*INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Sistema Gestión de Calidad Certificado*, 2008).

Artículo 3º. – Método de costo de reposición. Es el que busca establecer el valor comercial del bien objeto de avalúo a partir de estimar el costo total de la construcción a precios de hoy, un bien semejante al del objeto de avalúo, y restarle la depreciación acumulada. Al valor así obtenido se le debe adicionar el valor correspondiente al terreno (*INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Sistema Gestión de Calidad Certificado*, 2008). Para ello se utilizará la siguiente fórmula:

$$V_c = \{C_t - D\} + V_t$$

En donde:

V_c = Valor comercial

Ct = Costo total de la construcción

D = Depreciación

Vt = Valor del terreno

Artículo 4º. – Método (técnica) residual. Es el que busca establecer el valor comercial del bien, normalmente para el terreno, a partir de estimar el monto total de las ventas de un proyecto de construcción, acorde con la reglamentación urbanística vigente y de conformidad con el mercado del bien final vendible, en el terreno objeto de avalúo (*INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Sistema Gestión de Calidad Certificado*, 2008).

- **Ley 1673 de 2013**

Reglamenta la actividad del evaluador por medio de responsabilidades y competencias necesarias para desarrollar esta actividad en Colombia. Busca prevenir riesgos sociales de inequidad, injusticia, ineficiencia, restricción del acceso a la propiedad, falta de transparencia y posible engaño a compradores y vendedores o al Estado (*LEY 1673 DE 2013*, 2013).

- **Resolución 0070 de 2011**

Reglamenta la formación catastral, la actualización de la formación y la conservación catastrales.

El avalúo catastral es el valor asignado a cada predio por la autoridad catastral en los procesos de formación, actualización de la formación y conservación catastral, tomando como referencia los valores del mercado inmobiliario, sin que en ningún caso los supere (*Resolución Número 0070 de 2011*, 2011).

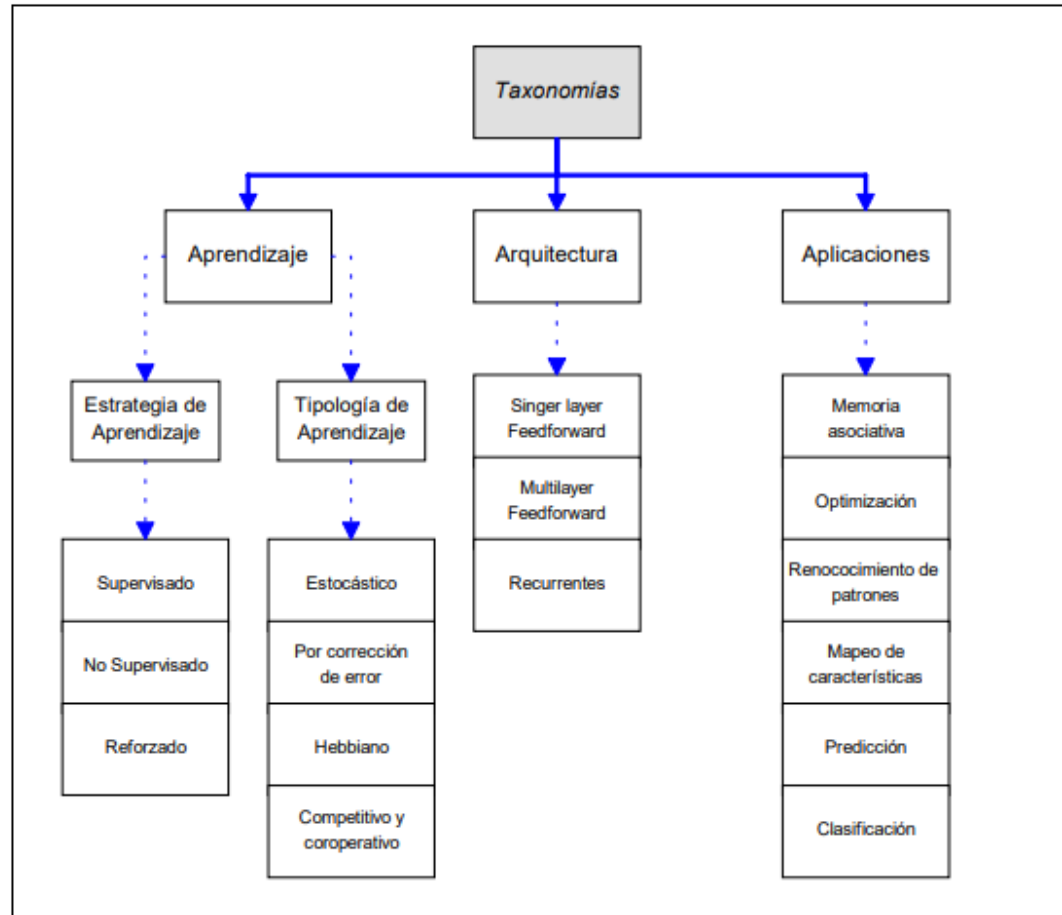
1.6 Marco Metodológico

Utilizando la información de mercado inmobiliario del Observatorio Inmobiliario de Medellín (OIME) para la comuna 11 - Laureles, la metodología de la investigación fue centrada en determinar el modelo de Redes Neuronales Artificiales para predecir el valor integral de los predios en la comuna 11 - Laureles del Municipio de Medellín y compararlo por medio de muestras de contraste con resultados aleatorios de la implementación del modelo multicriterio con las mismas variables.

Para predecir la variación se utilizaron algunos modelos de Redes Neuronales Artificiales (RNA) con metodología multivariable recursiva considerando series con un número definido de datos, para encontrar el mejor modelo de predicción.

La gran variedad de modelos de redes neuronales que existentes en la actualidad obliga en cierta medida a la realización de clasificaciones o taxonomías. De esta forma, los modelos neuronales se pueden clasificar desde una triple óptica: en función de la forma del aprendizaje (“learning paradigm”), en función de la arquitectura (“network architecture”) y la tercera, que está situada en el área de las aplicaciones.

ILUSTRACIÓN 5. RNA CON METODOLOGÍA MULTIVARIABLE



De forma previa presentamos, sin ánimo de querer ser exhaustivos, una relación de aquellos modelos más utilizados con las siglas que permiten identificarlos:

TABLA 1. MODELOS RNA MÁS USADOS

	<i>Modelo Red Neuronal</i>	<i>Siglas</i>
1	Adaline (<i>Adaptative Linear Neural Element</i>)	ADA
2	Adaptive Resonance Theory Networks	ARTN
3	Bidirectional Associative Memory	BAM
4	Boltzmann Machine	BOLTMA
5	Brain-State-in a Box Networks	BSBN
6	Cauchy Machine	CAUMA
7	Cerebellar Model Articulation Controller	CMAC
8	Counter-Propagation Networks	CPN
9	Delta Bar Delta Networks	DBDN
10	Finite Impulse Response Multilayer Perceptron	FIR-MP
11	Functional-link Networks (Polynomial Neural Networks)	FLN
12	Fuzzy ARTMAP Classification Networks	FARTMAP
13	General Regression Neural Networks	GRNN
14	Group Method of Data Handling (Polynomial Neural Networks)	GMDH
15	Hamming Networks	HAMN
16	Hierarchical Networks-Neocognitron	HNN
17	Hopfield	HOPF
18	Jordans's sequential networks	JORDAN
19	Learning Vector Quantization	LVQ
20	Logicon Projection Network	LPN
21	Madaline (Multiple adalines)	MAD
22	Modular Neural Network	MNN
23	Multilayer Feedforward	MLFF
24	Nonlinear Autoregressive Moving Average Network	NARMA
25	Pipelined Recurrent Neural Networks	PPRN
26	Probabilistic Neural Networks	PNN
27	Radial Basis Function Networks	RBFN
28	Real-Time Recurrent Networks	RTRN
29	Recirculation Networks	RCN
30	Self-Organizing feature Map	SOFM
31	Sequential Cascaded Recurrent Networks	SCRN
32	Sigma-Pi Network (Polynomial Neural Networks)	SPN
33	Simple recurrent networks (Elman)	ELMAN
34	Spatio-Temporal Pattern Recognition	STPR
35	Support Vector Machine	SVM
36	Time-Delay Neural Networks	TDNN
37	Tree Neural Networks	TNN
38	Wavelet Neural Networks	WNN

(CAPÍTULO 2 HERRAMIENTAS DE EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN: REDES NEURONALES, n.d.)

Luego de desarrollar el método de RNA y multicriterio, se generó un contraste de los resultados de la valoración masiva de la RNA con algunos valores encontrados por el

método multicriterio con el fin de realizar la comparación con los valores de mercado y comprobar la viabilidad de aplicación de estas dos metodologías de investigación a la predicción de valores integrales de inmuebles

1.6.1 Método de Investigación

La investigación desarrollada en este trabajo de grado se realizó partiendo de la información general para llegar a lo más específico; para este caso se inició con la descripción de las variables principales y básicas como que es el mercado, que son los valores de mercado, que es una red neuronal artificial, que es el método multicriterio, entre otros elementos de la investigación que se definieron para ejecutar el desarrollo de la investigación.

- **Enfoque de investigación**

El enfoque de investigación de este trabajo de grado es mixto, considerando que se realizó un análisis cuantitativo verificando cantidades de valores integrales por metro cuadrado, condiciones de mercado y variables que afectan el mercado por medio de los métodos de redes neuronales artificiales y método multicriterio; asimismo se comprobó la cualidad que tienen estos métodos para modelar el mercado inmobiliario, cotejando los resultados de estos dos métodos con los valores de mercado.

- **Tipo de estudio**

Este trabajo de grado es exploratorio, ya que a partir del desarrollo del método de Redes Neuronales Artificiales y Método multicriterio para predecir valores de inmuebles se define cuál de los dos métodos es el más acertado comparado con los datos de mercado.

No existe un acercamiento teórico previo desarrollado para la comuna 11 – Laureles que permita intuir cual será el método con mayor asertividad.

1.7 Alcances

Esta metodología será aplicada con información desde el año 2017 hasta el 2019 de la comuna 11 – Laureles en la ciudad de Medellín, Antioquia.

Este trabajo de grado permite definir entre el modelo de las Redes Neuronales Artificiales y el modelo multicriterio cual es el más acertado comparado con los valores de mercado para predecir los valores integrales de los predios localizados en zonas residenciales, tipo apartamentos, en la Comuna 11 – Laureles.

Pretende ser una guía con aplicación a Catastro en Medellín y evaluadores de la ciudad, tanto para estimar valores catastrales como comerciales.

El tiempo de desarrollo de este trabajo de grado fue de cuatro meses, discriminados de la siguiente forma:

TABLA 2. TIEMPO DESARROLLO TRABAJO DE GRADO

ACTIVIDAD	TIEMPO
Construcción del Marco Teórico	30 días
Búsqueda de Información de mercado	15 días
Consolidación de información	5 días
Creación del método de la Red Neuronal Artificial	25 días
Creación del método multicriterio	15 días
Comparación de resultantes de los métodos anteriores y los valores de mercado	15 días
Análisis de resultados y conclusiones	15 días
Tiempo total empleado	120 días

2. Desarrollo de la investigación

2.1 Red Neuronal Artificial

Para ilustrar las posibilidades de las Redes Neuronales Artificiales en la predicción de valores de inmuebles, se ha desarrollado un caso de estudio para la ciudad de Medellín, usando una muestra de 2.166 apartamentos localizados en la comuna 11 - Laureles. Los datos de trabajo fueron facilitados por el OIME (Observatorio Inmobiliario de Medellín) con muestras de los años 2017 hasta 2019 de ofertas de venta de apartamentos tanto nuevos como usados.

El software seleccionado es un trial que trabaja con un tipo estándar de red neuronal, perceptrón multicapa. La red neuronal es un conjunto de ecuaciones no lineales que predicen variables de salida (y) tomando datos de las variables de entrada (x), haciendo uso de capas de las funciones adaptativas y funciones en forma de S. JMP 5.1, software seleccionado se ajusta a la red neuronal usando métodos de regresión de mínimos cuadrados no lineales estándar.

De acuerdo con los datos poblacionales manejados, la muestra seleccionada es representativa de las ofertas de ventas en la ciudad de Medellín en el período referenciado. Así mismo, los apartamentos de la muestra abarcan la totalidad de los barrios para la comuna 11- Laureles; con excepción de los barrios UPB (6) y Unidad Deportiva Atanasio Girardot (16), donde no se encuentran inmuebles de tipo apartamento.

Para la definición de atributos determinantes en la valoración se realizaron estudios de relación; la base de datos comprende:

- Ítem: cantidad de muestra
- Barrio: Corresponde al número del barrio según la codificación de COBAMA; se encuentran para la Comuna 11 - Laureles, entre el 1 y el 17.
- Localización: corresponde a la valoración de uno a cinco, de acuerdo con los valores encontrados por m².
- COBAMA: corresponde al identificador de Comuna, Barrio, Manzana y Lote.
- Estado: corresponde a si el bien es nuevo o tiene menos de cinco años de uso, se idéntico con el numero uno (1); si es usado, con más de cinco años de uso, se identificó con el numero cero (0).

- Estrato socioeconómico: Clases o grupos en que se divide la población de acuerdo con el distinto poder adquisitivo y nivel social.
- Área privada: Se refiere a toda la superficie que se puede pisar. Incluye todo el espacio interior de la vivienda.
- Área lote: Hace referencia al área del lote que corresponde a cada apartamento; se obtiene de multiplicar el área del lote donde está construida la urbanización por el coeficiente de copropiedad.
- Vetustez: Edad de la construcción.
- Valor por metro cuadrado: Es el valor del apartamento, indexado por el IPPR hasta el mes de octubre de 2019.

Los datos obtenidos desde el OIME (Observatorio Inmobiliario de Medellín) cuenta con 27 variables, de las cuales fueron seleccionadas finalmente nueve (Tabla 5) Aunque presumiblemente se pensó que otras variables podrían influir en el precio del inmueble, se han descartado como variables determinantes luego de analizarlas y ejecutar la información den el software.

Inicialmente, se desarrolla el modelo con seis variables (para este modelo no se tiene en cuenta la localización; para los dos modelos siguientes si se tiene en cuenta esta variable).

La tabla inicial cuenta con 2.166 (anexo. Archivo de Excel “DATOS REVISADOS final 01112019) muestras de mercado incluyendo 650 muestras que corresponden a inmuebles nuevos y 1.516 muestras que corresponden a inmuebles usados. Del total de la muestra, utilizando la función de Excel RANDOM que entrega un numero aleatorio entre 0 y 1 para cada una de las muestras, se separaron los datos en dos tablas, una para el entrenamiento y otra para la prueba; adicionalmente se determinó que los valores aleatorios menores a 0.5 corresponde la muestra de “PRUEBA” y los valores aleatorios iguales o superiores a 0.5, a la muestra para el “ENTRENAMIENTO”.

TABLA 3. MUESTRAS RNA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TOTAL
Muestra ENTRENAMIENTO nuevo	335	1112
Muestra ENTRENAMIENTO Usado	777	
Muestra PRUEBA nuevo	315	1054
Muestra PRUEBA usado	739	

Como los datos de la muestra corresponden a los periodos 2017 a 2019; los valores se trajeron a valor presente con IPPR (Índice de Precios de la Propiedad Raíz), estudiado por la Lonja de Propiedad Raíz de Medellín. Cabe anotar que se trabajó con los índices dados para los apartamentos de la ciudad de Medellín (5.67% para el 2017 y 4.9% para el 2018). Los valores fueron traídos a valor presente del mes de septiembre de 2019 (para los nueve meses del 2019, se trabajó con el IPPR de 2018 llevado a meses).

TABLA 4. IPPR

ÍNDICE DE PRECIOS DE LA PROPIEDAD RAÍZ							
Lonja de Propiedad Raíz de Medellín y Antioquia							
Año	IPPR	Aptos	Casas	Lotes	Locales	Oficinas	Bodegas
2006	18.40%	14.30%	18.50%	29.20%	19.10%	14.20%	30.90%
2007	15.10%	11.80%	13.40%	24.40%	16.50%	19.40%	24.50%
2008	9.40%	7.40%	8.90%	20.90%	9.00%	6.00%	7.60%
2009	3.00%	2.80%	4.00%	1.60%	1.50%	3.60%	-0.80%
2010	4.60%	5.70%	5.30%	4.10%	2.10%	2.10%	-0.50%
2011	7.10%	6.20%	6.80%	14.50%	4.40%	9.00%	1.00%
2012	8.60%	7.00%	8.50%	14.60%	5.00%	11.50%	10.90%
2013	7.90%	6.00%	6.50%	15.40%	7.20%	14.20%	7.70%
2014	7.30%	6.40%	8.00%	5.10%	7.60%	11.10%	6.24%
2015	8.10%	7.10%	7.10%	9.40%	10.30%	12.50%	8.76%
2016	7.60%	6.90%	6.80%	9.10%	7.90%	13.50%	7.60%
2017	6.69%	5.67%	6.01%	13.94%	6.71%	6.09%	3.27%
2018	6.08%	4.90%	5.30%	12.20%	6.40%	7.10%	4.50%

Para Homogenizar la muestra, se disminuyó el valor de los inmuebles que tienen parqueadero y Cuarto Útil así: para los parqueaderos se tomó un valor de referencia de \$18.000.000 (dieciocho millones de pesos) y para los cuartos útiles un valor de \$3.000.000 (tres millones de pesos).

Es preciso indicar que las variables entregadas por el OIME corresponden a las usadas normalmente para el análisis e interpretación de los datos estadísticos, incluyendo las de localización, datos de quienes ofertan, y atributos como si tiene cuarto útil o parqueadero.

TABLA 5. CLASIFICACIÓN ATRIBUTOS DE LOS APARTAMENTOS

	Internos		Externos
Básicos	Área privada (m ²) Área del lote (m ²)	Generales	Vetustez (años)
Generales	Estado (nuevo o usado) Estrato socioeconómico		
Económicos	Precio de mercado (\$/m ²)	Localización	Localización CBML Barrio

Para trabajar con la variable de carácter cualitativo “Estado” se construyó un índice; para ello se tuvo en cuenta que para un apartamento nuevo (con vetustez entre 1 y 5 años) el índice es 1 y para usado (con vetustez mayor a 5 años), el índice es 0.

La variable cualitativa “Barrio” se construyó con un índice que corresponde al número del barrio, entre 1 y 17, teniendo en cuenta que los barrios 6 (UPB) y 16 (Unidad Deportiva Atanasio Girardot) no tienen construcciones para vivienda.

La variable cualitativa “Localización” se obtiene del promedio del valor m² para cada una de las muestras de los barrios y de la calificación otorgada de 1 a 5, siendo 1 los barrios con mejor valor promedio y 5 los de menor valor promedio.

En el diseño de la arquitectura de la red neuronal se trabajaron diversas combinaciones en cuanto a: nodos ocultos (Hidden Nodes); Penalidad por sobre ajuste (Overfit penalti); Cantidad de recorridos (Number of tours); Iteraciones máximas (max Iterations) y criterio de convergencia (converge Criterion).

Se inicio la modelación con los parámetros dados por el programa, para conocer el comportamiento de cada uno de ellos, se fueron cambiando uno a uno y observando los cambios del R^2 ; hasta llegar a los parámetros finales con los que se trabajaron los modelos.

Para cada uno de los modelos, se obtuvieron graficas de comportamiento de cada una de las variables con respecto al Valor m^2 , las cuales explicaremos en los resultados.

Se obtuvieron graficas del Valor m^2 Real Vs Valor m^2 estimado por la RN, grafica del Valor m^2 Residual Vs Valor m^2 estimado por la RN, gráficos tridimensionales donde se mantiene la variable Valor m^2 y se cambiaron los valores de los otros ejes; gráficos de las iteraciones de cada una de las variables, gráficos de los perfiles de predicción para cada una de las variables, entre otros.

Las opciones de criterios para la red neuronal son:

- **Hidden Nodes (Nodos Ocultos):** es el número más importante especificar. Si se establecer este valor demasiado bajo, el ajuste es poco y si se establece demasiado alto, se sobre ajusta el modelo.
- **Overfit Penalty (Penalidad por sobreajuste):** ayuda a prevenir el modelo de ajuste por exceso. El criterio de optimización está formado por la suma de residuos al cuadrado, más el ajuste por exceso de la suma de los cuadrados de los tiempos de penalización de los parámetros estimados. Cuando una red neuronal se sobre ajusta, los parámetros son demasiado grandes, y este criterio ayuda a mantener los parámetros (pesos) pequeños. Si lo ajusta a cero, entonces no sólo va a tender a sobre ajustarse, sino que las iteraciones numéricas tienden a generar problemas de convergencia. Si tienen una gran cantidad de datos, entonces la penalidad por sobreajuste tendrá menos efecto. Si se tienen muy pocos datos, entonces la penalidad por sobreajuste amortigua las estimaciones. Se recomiendan valores entre 0,0001 y 0,01.
- **Number of Tours (Número de Tours):** establece el número de Tours. Las redes neuronales tienden a tener una buena cantidad de mínimos locales, de manera que con

el fin de encontrar los más probables mínimos globales. Se recomienda veinte recorridos.

- **Max Iterations (Número máximo de iteraciones):** es el número de iteraciones que se tardará en cada viaje antes de informar la no convergencia.
- **Converge Criterion (Criterio de Convergencia):** es el cambio relativo en la función objetivo que debe cumplir una iteración para decidir que ha convergido. El valor es:

$$| \text{Cambio} | / \min (10^{-8}, \max (10^8, \text{obj}))$$

Inicialmente vienen con los siguientes parámetros establecidos:

TABLA 6. PARÁMETROS PREDETERMINADOS RNA

CRITERIOS	PARAMETROS
Nodos Ocultos	3
Pena de Sobreajuste	0.001
Cantidad de recorridos	20
Iteraciones máximas	50
Criterio de Convergencia	0.00001

- 2.1.1 En el primer modelo de RNA, luego de realizar múltiples combinaciones, se trabajó con los siguientes roles:

TABLA 7.1ER MODELO RNA

ROLES	DESCRIPCIÓN
Y	Valor por m ²
X	Estado (nuevo o usado); Estrato; Área privada y Vetustez.

Y con los siguientes parámetros:

TABLA 8. PARÁMETROS 1ER MODELO RNA

CRITERIOS	PARAMETROS
Nodos Ocultos	6
Pena de Sobreajuste	0.01
Cantidad de recorridos	20
Iteraciones máximas	300
Criterio de Convergencia	0.00001

Se inicia con un Coeficiente de Determinación (R^2) de 36.01% donde se utilizan los parámetros iniciales del sistema; estos se van cambiando durante el proceso de aprendizaje de la RNA, hasta llegar a los parámetros mostrados en la tabla anterior; luego del aprendizaje de la red, se obtiene un R^2 de 76.86%. Durante

el proceso de aprendizaje, se realizó una depuración de la muestra pasando de 1.112 ítems a 780.

ILUSTRACIÓN 6. R2 INICIAL 1ER MODELO RNA

The screenshot shows a software window titled "MUESTRA RED TOTAL - Neural Net". It contains two main sections: "Control Panel" and "Results".

Control Panel:

- Specify:**
 - Hidden Nodes: 3
 - Overfit Penalty: 0.001
 - Number of Tours: 20
 - Max Iterations: 50
 - Converge Criterion: 0.00001
- ☒ Log the tours
- ☐ Log the iterations
- ☐ Log the estimates
- ☐ Save iterations in table
- Go

Results:

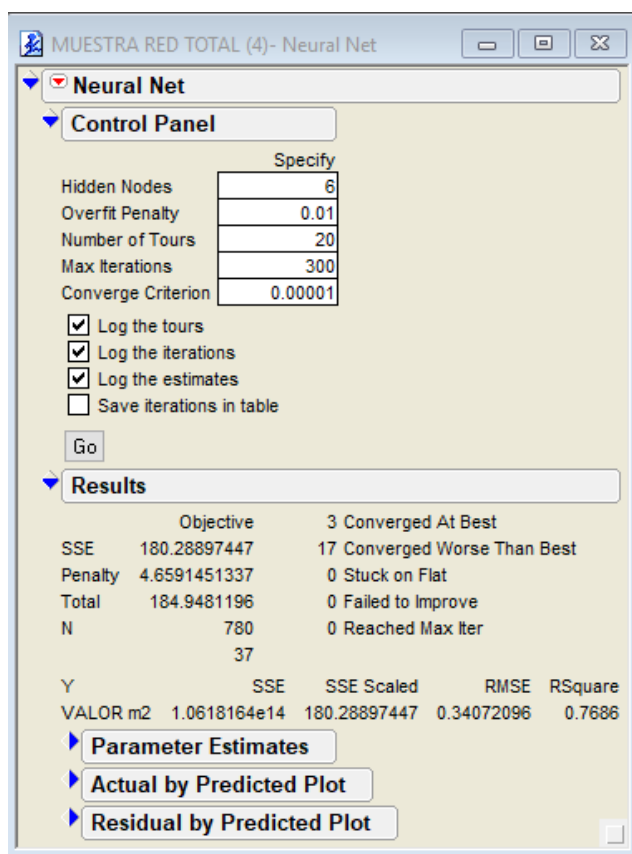
	Objective	7 Converged At Best
SSE	710.92904973	3 Converged Worse Than Best
Penalty	0.346391	0 Stuck on Flat
Total	711.27544073	0 Failed to Improve
N	1112	10 Reached Max Iter
	19	

Y	SSE	SSE Scaled	RMSE	RSquare
VALOR m2	7.4209096e14	710.92904973	0.56589602	0.3601

Below the results, there are three expandable sections:

- Parameter Estimates
- Actual by Predicted Plot
- Residual by Predicted Plot

ILUSTRACIÓN 7. R2 FINAL 1ER MODELO RNA



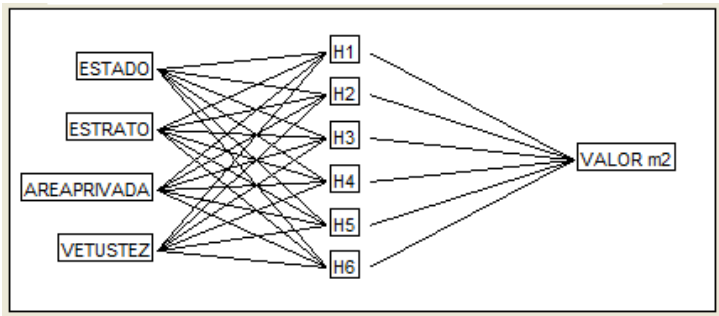
Se observa un R^2 al final de la modelación de 76.86%; lo que implica que el modelo explica en un 76,86% la variable de valor por m² de los apartamentos en la Comuna 11 – Laureles del Municipio de Medellín.

El coeficiente de determinación, también llamado R cuadrado, refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretender explicar; el resultado del coeficiente de determinación oscila entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar.

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (\hat{Y}_t - \bar{Y})^2}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2}$$

El diagrama de la primera modelación es:

ILUSTRACIÓN 8. 1ER MODELO RNA



2.1.2 En el segundo modelo de RNA, luego de realizar múltiples combinaciones, se trabajó con los siguientes roles:

TABLA 9. 2DO MODELO RNA

ROLES		DESCRIPCIÓN
Y		Valor por m ²
		Estado (nuevo o usado); Estrato; Área privada;
X		Vetustez y Barrio

Se incluyo la variable “Barrio” en el Rol X; para este, que es cualitativo, se dio el número de cada barrio a cada muestra; es decir, la comuna 11 - Laureles tiene 17 barrios (numerados del 1 al 17), Cabe volver a anotar que el barrio 6 (UPB) y el barrio 16 (Unidad Deportiva Atanasio Girardot), no cuentan con construcciones de apartamentos; es decir, NO tienen muestras:

TABLA 10. BARRIOS 2DO MODELO RNA

BARRIO	NUMERO	BARRIO	NUMERO
Carlos E. Restrepo	1	La Castellana	10
Suramericana	2	Lorena	11
Naranjal	3	Velódromo	12
San Joaquín	4	Estadio	13
Conquistadores	5	Los Clores	14
UPB	6	Cuarta Brigada	15
Bolivariana	7	U D Atanasio Girardot	16
Laureles	8	Florida Nueva	17
Las Acacias	9		

Y con los siguientes parámetros:

TABLA 11. PARÁMETROS 2DO MODELO RNA

CRITERIOS	PARAMETROS
Nodos Ocultos	6
Pena de Sobreajuste	0.01
Cantidad de recorridos	20
Iteraciones máximas	300

Criterio de Convergencia

0.00001

Se inicia con un R^2 de 45.18%; luego del aprendizaje de la red, se obtiene un R^2 de 83.08%. Durante el proceso de aprendizaje, se realizó una depuración de la muestra pasando de 1.112 ítems a 720; es decir, se depuraron 392 muestras.

ILUSTRACIÓN 9. R2 INICIAL 2DO MODELO RNA

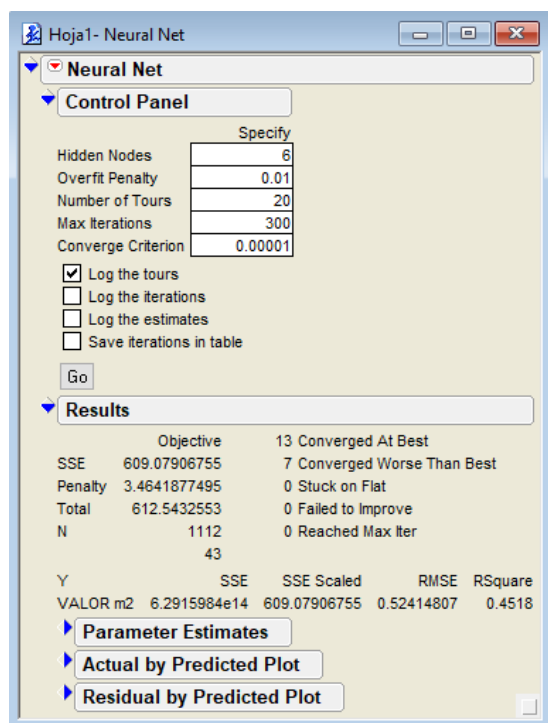
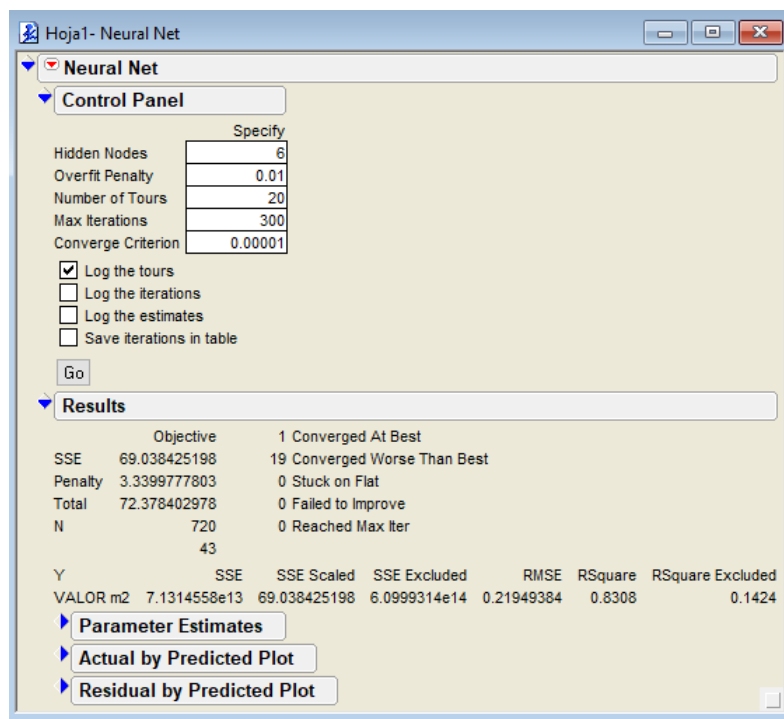


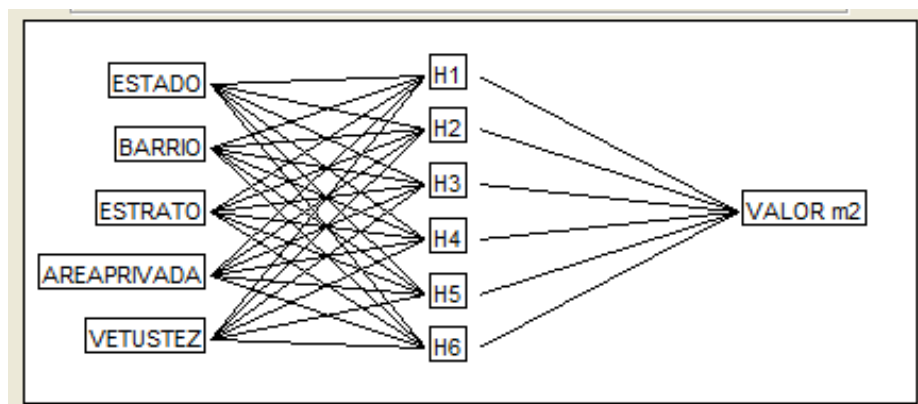
ILUSTRACIÓN 10. R2 FINAL 2DO MODELO RNA



Se observa un R^2 al final de la modelación de 83.08%; lo que implica que el modelo explica en un 83,08% la variable de valor por m² de los apartamentos en la Comuna 11 – Laureles del Municipio de Medellin.

El diagrama de la Red Neuronal es:

ILUSTRACIÓN 11. 2DO MODELO RNA



- 2.1.3 En el tercer modelo de RNA, luego de realizar múltiples combinaciones, se trabajó con los siguientes roles:

TABLA 12. 3ER MODELO RNA

ROLES	DESCRIPCIÓN
Y	Valor por m ²
X	Estado (nuevo o usado); Estrato; Área privada y Vetustez; Localización

Se incluye el rol de “Localización”; para este, que es cualitativo, se calculó el promedio de los valores por m² para cada uno de los barrios, así:

TABLA 13. LOCALIZACIÓN 3ER MODELO RNA

BARRIO	LOCALIZACIÓN	PROMEDIO m²
Bolivariana, Laureles y Velódromo	1	\$3.800.000 aprox.
Conquistadores, Las Acacias y Lorena	2	Entre \$3.400.000 y \$3.500.000 aprox.
San Joaquín, La Castellana y Cuarta Brigada	3	Entre \$3.200.000 y \$3.300.000 aprox.
Carlos E. Restrepo, Estadio, Los Colores y Florida Nueva	4	Entre \$3.000.000 y \$3.100.000 aprox.

Suramericana y Naranjal	5	Entre \$2.700.000 y \$2.800.000 aprox.
-------------------------	---	---

Y con los siguientes parámetros:

TABLA 14. PARÁMETROS 3ER MODELO RNA

CRITERIOS	PARAMETROS
Nodos Ocultos	6
Pena de Sobreajuste	0.01
Cantidad de recorridos	20
Iteraciones máximas	300
Criterio de Convergencia	0.00001

Se inicia con un R^2 de 47.10%; luego del aprendizaje de la red, se obtiene un R^2 de 83.20%. Durante el proceso de aprendizaje, se realizó una depuración de la muestra pasando de 1.112 ítems a 777; es decir, se depuraron 335 muestras.

ILUSTRACIÓN 12. R2 INICIAL 3ER MODELO RNA

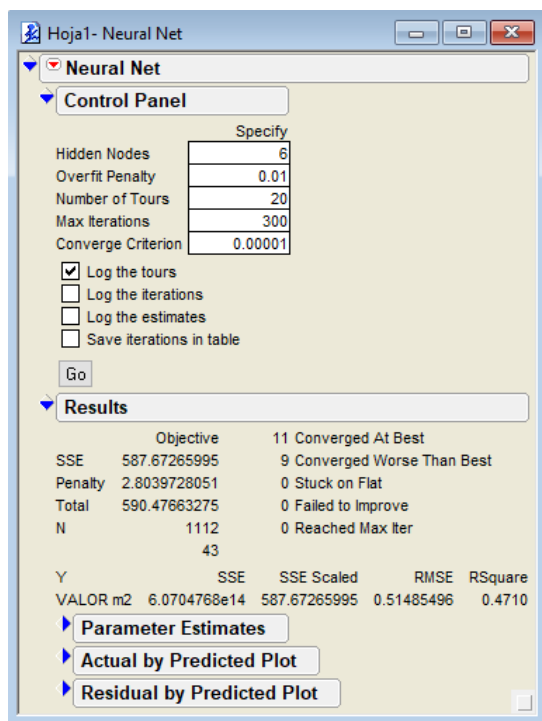
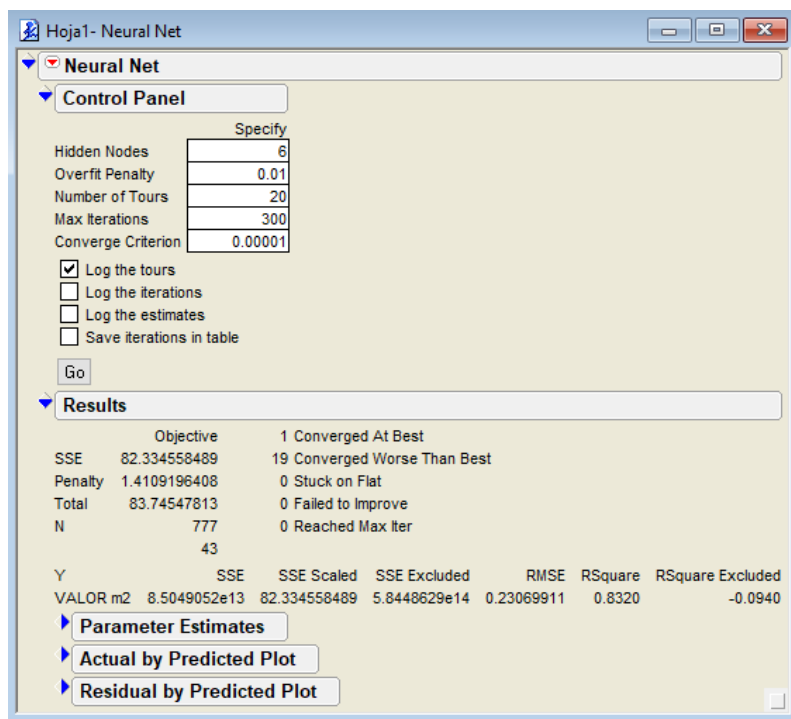


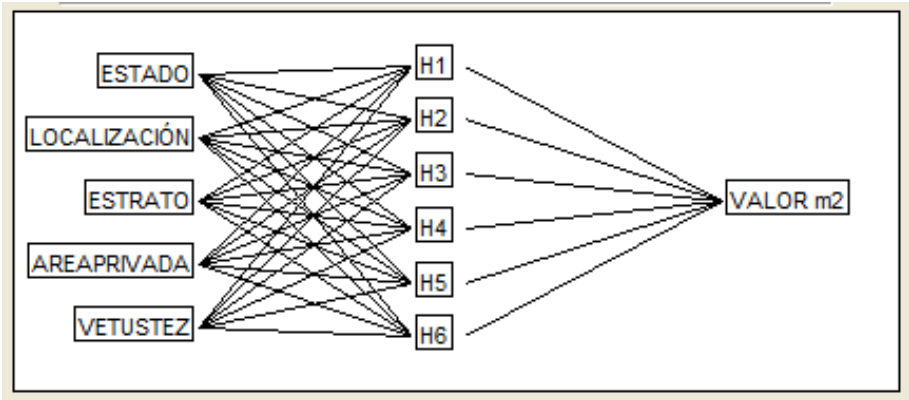
ILUSTRACIÓN 13. R2 FINAL 3ER MODELO RNA



Se observa un R^2 al final de la modelación de 83.20%; lo que implica que el modelo explica en un 83,20% la variable de valor por m² de los apartamentos en la Comuna 11 – Laureles del Municipio de Medellín.

El diagrama de la Red Neuronal es:

ILUSTRACIÓN 14. 3ER MODELO RNA



Se realizaron además dos muestras intercambiando las tablas de datos, es decir, utilizando la tabla para el entrenamiento como tabla de prueba y la tabla de prueba como entrenamiento. Lo anterior para analizar el comportamiento de la red con estos nuevos datos.

2.1.4 Para el cuarto modelo de RNA, se trabajó con los siguientes roles:

TABLA 15. 4TO MODELO RNA

ROLES	DESCRIPCIÓN
Y	Valor por m ²
X	Estado (nuevo o usado); Estrato; Área privada; Vetustez y Barrio

Se incluye la variable “Barrio” en el Rol X; para este, que es cualitativo, se dio el número de cada barrio a cada muestra.

TABLA 16. BARRIOS 4TO MODELO RNA

BARRIO	NUMERO	BARRIO	NUMERO
Carlos E. Restrepo	1	La Castellana	10
Suramericana	2	Lorena	11
Naranjal	3	Velódromo	12
San Joaquín	4	Estadio	13
Conquistadores	5	Los Clores	14
UPB	6	Cuarta Brigada	15
Bolivariana	7	U D Atanasio Girardot	16
Laureles	8	Florida Nueva	17
Las Acacias	9		

Y con los siguientes parámetros:

TABLA 17. PARÁMETROS 4TO MODELO RNA

CRITERIOS	PARAMETROS
Nodos Ocultos	6
Pena de Sobreajuste	0.01

Cantidad de recorridos	20
Iteraciones máximas	300
Criterio de Convergencia	0.00001

Se inicia con un R^2 de 53.03%; luego del aprendizaje de la red, se obtiene un R^2 de 86.34%. Durante el proceso de aprendizaje, se realizó una depuración de la muestra pasando de 1.054 ítems a 814. Para esta modelación se invirtieron las tablas, realizando la modelación para la muestra de “PRUEBA” y la muestra de “ENTRENAMIENTO” paso a ser la muestra de “PRUEBA”.

TABLA 18. MUESTRA 4TO MODELO RNA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TOTAL
Muestra PRUEBA nuevo	335	
Muestra PRUEBA Usado	777	1112
Muestra ENTRENAMIENTO nuevo	315	
Muestra ENTRENAMIENTO usado	739	1054

ILUSTRACIÓN 15. R2 INICIAL 4TO MODELO RNA

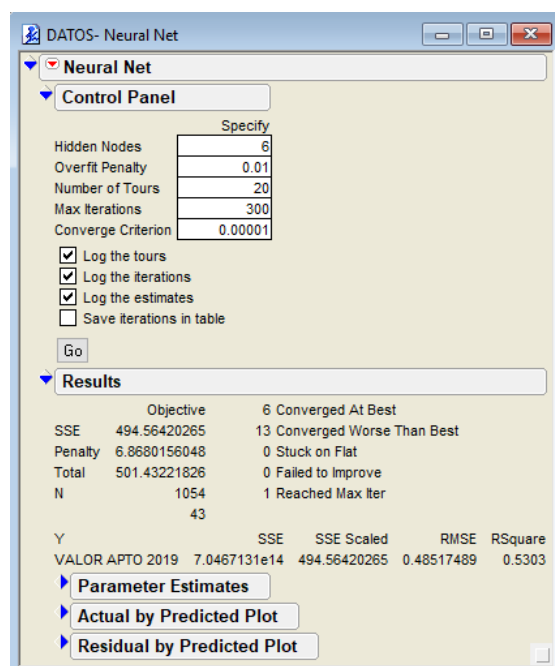
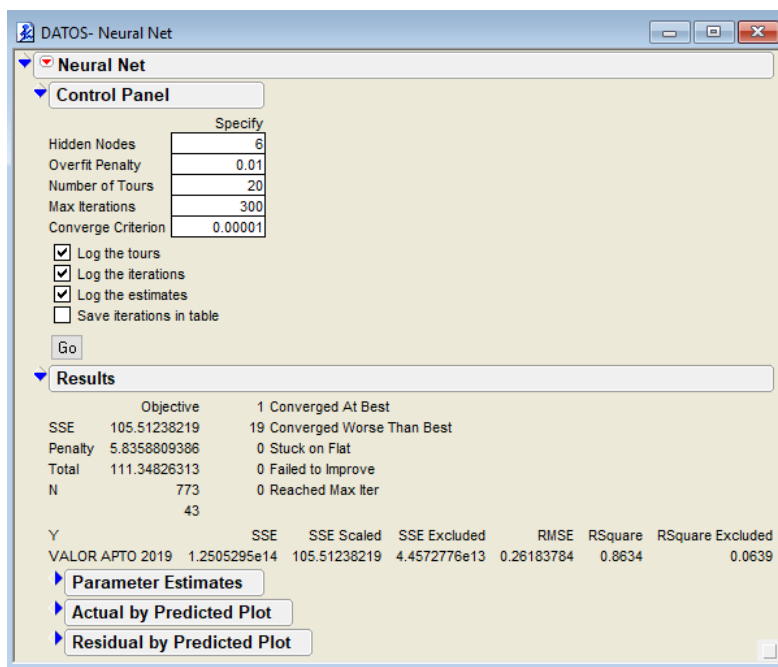


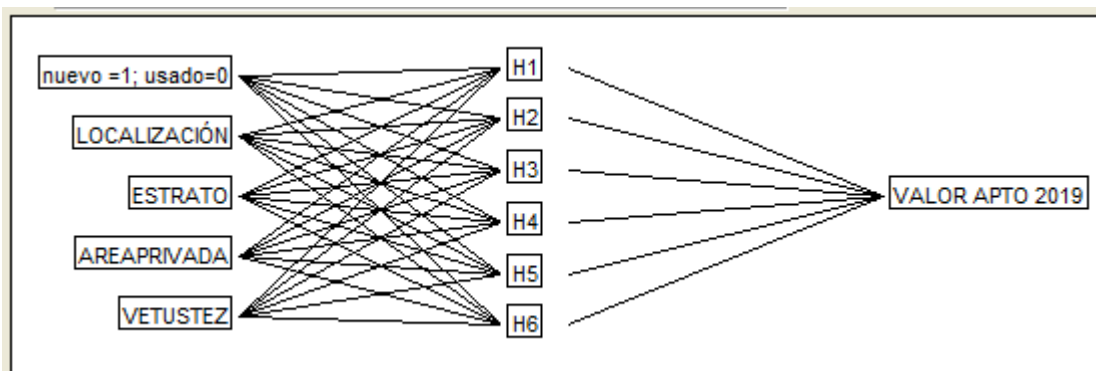
ILUSTRACIÓN 16. R2 FINAL 4TO MODELO RNA



Se observa un R^2 al final de la modelación de 86.34%; lo que implica que el modelo explica en un 86,34% la variable de valor por m² de los apartamentos en la Comuna 11 – Laureles del Municipio de Medellín.

El diagrama de la red es:

ILUSTRACIÓN 17. 4TO MODELO RNA



2.1.5 En el quinto modelo de RNA, se trabajó con los siguientes roles:

TABLA 19. 5TO MODELO RNA

ROLES	DESCRIPCIÓN
Y	Valor por m ²
X	Estado (nuevo o usado); Estrato; Área privada y Vetustez; Localización

Se incluye el rol de “Localización”; para este, que es cualitativo, se calculó el promedio de los valores por m² para cada uno de los barrios, así:

TABLA 20. LOCALIZACIÓN 5TO MODELO RNA

BARRIO	LOCALIZACIÓN	PROMEDIO m ²
Bolivariana, Laureles y Velódromo	1	\$3.800.000 aprox.

Conquistadores, Las Acacias y Lorena	2	Entre \$3.400.000 y \$3.500.000 aprox.
San Joaquín, La Castellana y Cuarta Brigada	3	Entre \$3.200.000 y \$3.300.000 aprox.
Carlos E. Restrepo, Estadio, Los Colores y Florida Nueva	4	Entre \$3.000.000 y \$3.100.000 aprox.
Suramericana y Naranjal	5	Entre \$2.700.000 y \$2.800.000 aprox.

Y con los siguientes parámetros:

TABLA 21. PARÁMETROS 5TO MODELO RNA

CRITERIOS	PARAMETROS
Nodos Ocultos	6
Pena de Sobreajuste	0.01
Cantidad de recorridos	20
Iteraciones máximas	300
Criterio de Convergencia	0.00001

Se inicia con un R^2 de 52.95%; luego del aprendizaje de la red, se obtiene un R^2 de 86.13%. Durante el proceso de aprendizaje, se realizó una depuración de la muestra pasando de 1.054 ítems a 661. Para esta modelación se invirtieron las

tablas, realizando la modelación para la muestra de “PRUEBA” y la muestra de “ENTRENAMIENTO” paso a ser la muestra de “PRUEBA”.

TABLA 22. MUESTRA 5TO MODELO RNA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TOTAL
Muestra PRUEBA nuevo	335	
Muestra PRUEBA Usado	777	1112
Muestra ENTRENAMIENTO nuevo	315	
Muestra ENTRENAMIENTO usado	739	1054

ILUSTRACIÓN 18. R2 INICIAL 5TO MODELO RNA

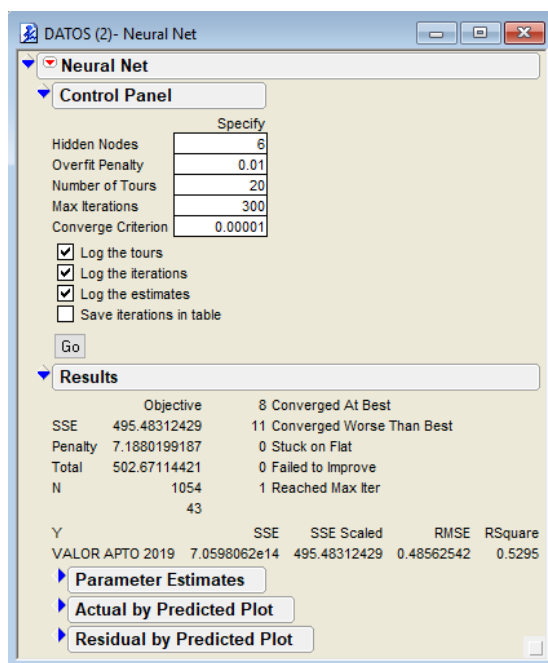
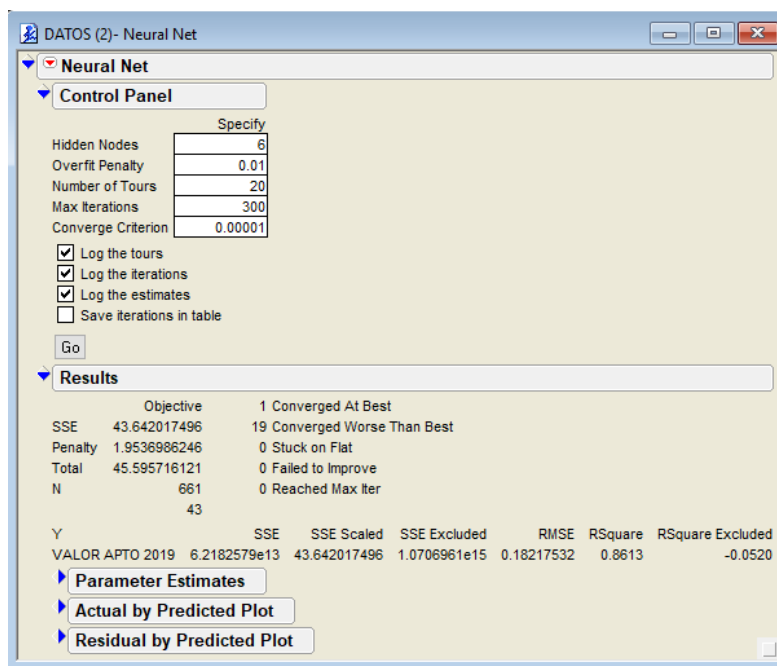


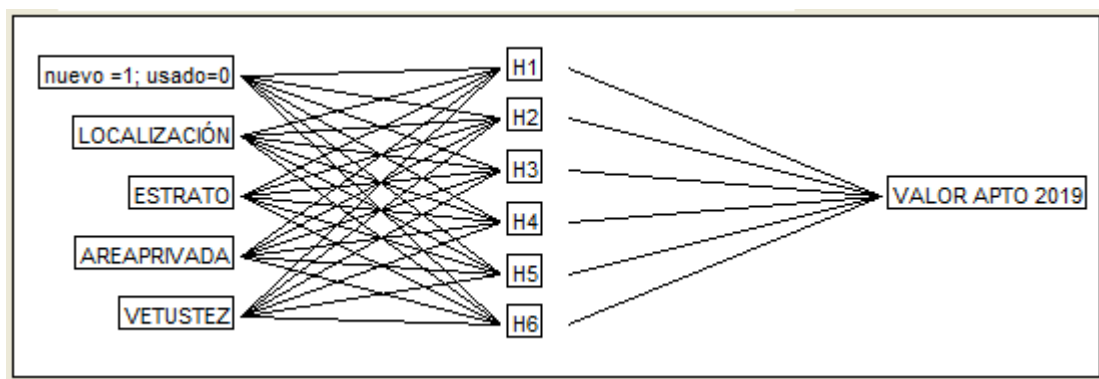
ILUSTRACIÓN 19. R2 FINAL MODELO RNA



Se observa un R^2 al final de la modelación de 86.13%; lo que implica que el modelo explica en un 86,13% la variable de valor por m² de los apartamentos en la Comuna 11 – Laureles del Municipio de Medellin.

El diagrama de la red es:

ILUSTRACIÓN 20. 5TO MODELO RNA



2.2 Método Analítico Jerárquico (AHP) – Multicriterio

Para la realización de los avalúos por el Método Multicriterio, se siguieron los siguientes pasos:

- Seleccionar un inmueble a valorar
- Seleccionar tres comparables
- Incluir fotos de los cuatro inmuebles
- Seleccionar las variables a utilizar para realizar la valoración
- Plantear el esquema jerárquico
- Ponderar las variables
- Ponderar los inmuebles en función de cada variable
- Multiplicar las matrices resultantes
- Calcular el Ratio de valuación
- Calcular el valor del inmueble problema

2.2.1 Seleccionar un inmueble a valorar

Para realizar un comparativo entre las dos metodologías utilizadas, se seleccionaron al azar los inmuebles a valorar; uno para cada Barrio de la Comuna 11 - Laureles en la ciudad de Medellín. Para ello, se organizó la muestra por una variable sin correlación, la cual corresponde al “CODIGO”; este es dado por el sistema de almacenamiento del OIME, número que se da a cada una de las muestras de toda la ciudad, entradas al sistema; en este caso, se elige la muestra 11 para cada barrio.

La tabla de datos utilizada para escoger el inmueble a valorar es la denominada “Muestra total Prueba”

Se parte de la premisa que todas las muestras de las tablas de datos son comparables, dado que se encuentran en el mismo barrio, son inmuebles del mismo tipo, para este caso apartamentos.

Se seleccionan 15 inmuebles a valorar, uno para cada barrio de la comuna 11 – Laureles.

2.2.2 Seleccionar comparables

La selección es aleatoria, de la misma forma del anterior, pero eligiendo las cuatro primeras muestras luego de ordenarlas.

La tabla de datos utilizada para escoger el inmueble a valorar es la denominada “Muestra total Entrenamiento”.

Se seleccionaron 60 inmuebles comparables, cuatro para cada barrio de la comuna 11- Laureles.

A continuación, se presenta una muestra de comparables, en la parte final se observa el inmueble a valorar; los comparables de la tabla de datos de “Entrenamiento” y el inmueble a valorar de la tabla “Prueba”. Los datos corresponden a la muestra del barrio Suramericana.

ILUSTRACIÓN 21. COMPARABLES MODELO AHP

CODIGO	ESTADOPREDIO	DIRECCION ENCASILLADA	COBAMA	LOCALIZACIÓN	BARRIO	ESTRATO	AREA PRIVADA	VETUSTEZ	PARQ	CUARTO UTIL	VALOR APTO 2019	MODELO
126804	USADO	CR 067 B 048 C 0	1102016-0020	peor	SURAMERICANA	5	106	27	VERDADERO	VERDADERO	\$ 2,919,825	ENTRENAMIENTO
127069	USADO	CL 048 067 020	1102007-0002	mejor	SURAMERICANA	5	138	0	FALSO	VERDADERO	\$ 3,809,568	ENTRENAMIENTO
127319	USADO	CR 065 048 072	1102011-0003	mejor	SURAMERICANA	5	171	0	FALSO	FALSO	\$ 4,130,532	ENTRENAMIENTO
131574	NUEVO	CL 048 C 066 026	1102019-0002	peor	SURAMERICANA	5	130	0	FALSO	FALSO	\$ 2,756,244	ENTRENAMIENTO
145564	USADO	CL 049 065 045	1102020-0011	peor	SURAMERICANA	4	151	28	FALSO	FALSO	\$ 1,579,841	PRUEBA

2.2.3 Seleccionar las variables a utilizar para realizar la valoración

La tabla pasada por el OIME cuenta con 27 variables, de las cuales fueron seleccionadas finalmente 7 (Tabla 5):

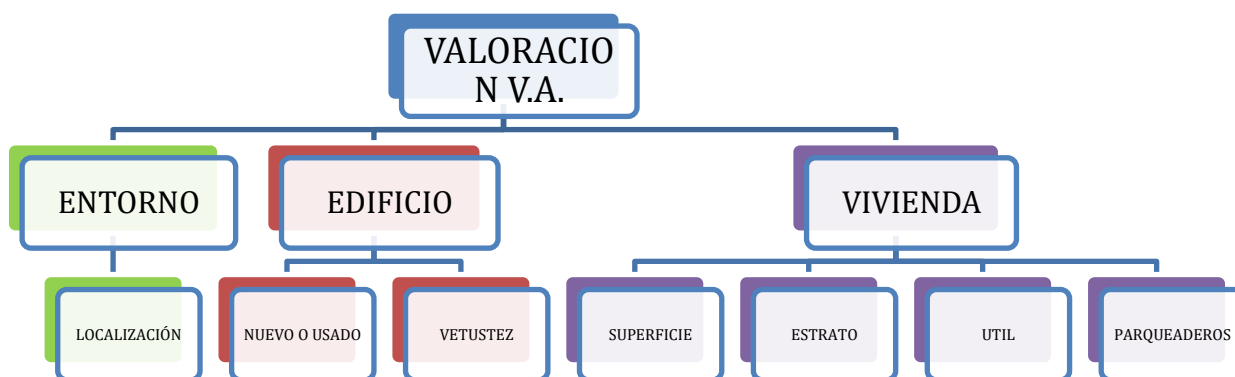
- Localización: para esta variable explicativa Cualitativa, se definió la localización bajo los siguientes parámetros:
 - Peor
 - Regular

- Mejor
- Mucho mejor
- Estado: Esta variable cualitativa corresponde a si el bien es nuevo, menos de cinco años; o si es usado, más de cinco años.
- Estrato socioeconómico: Variable cualitativa que indica clases o grupos en que se divide la población de acuerdo con el distinto poder adquisitivo y nivel social. Para este caso, los inmuebles están clasificados con estratos de 4 a 6.
- Área privada: Se refiere a toda la superficie que se puede pisar. Incluye todo el espacio interior de la vivienda. Variable cuantitativa indirecta; se convierte a directa al pasarla a una relación con el total de las áreas, es decir; cada una de las áreas privadas de los comparables y el inmueble a valorar se dividen por la suma de las áreas privadas.
- Vetustez: Edad de la construcción. Variable cuantitativa indirecta, para convertirla a directa, se toma como valor 70 años y se resta cada una de las edades de los apartamentos.
- Valor por metro cuadrado: Es el valor del apartamento, indexado por el IPPR hasta el mes de octubre de 2019. Cabe anotar que los datos se toman de las tablas utilizadas para la modelación de la Red Neuronal Artificial.

2.2.4 Plantear el esquema Jerárquico

Contando con las variables explicativas, se plantea el siguiente esquema jerárquico para el modelo:

ILUSTRACIÓN 22. ESQUEMA JERÁRQUICO



2.2.5 Ponderar las variables

Las variables están divididas en Primarias y secundarias; las primarias corresponden a: Entorno, Edificio y Vivienda; las secundarias a: Localización, Nuevo o Usado (Estado), Vetustez, Superficie, Estrato, Útil y Parqueadero.

Para las variables primarias se tiene la siguiente ponderación:

TABLA 23. PONDERACIÓN VARIABLES PRIMARIAS

	Entorno urbanístico	Características edificio	Características vivienda	Vector propio
Entorno urbanístico	1	2	1/2	0.2764
Características edificio		1	1/5	0.1283
Características vivienda			1	0.5954
CR	0.53%			1.0000

TABLA 24. MATRIZ VARIABLES PRIMARIAS

	A	B	C	VECTOR PROPIO
A	1	2	1/2	0.2764
B	1/2	1	1/5	0.1283
C	2	5	1	0.5954
CR	0.53%	< 5%		1.0000

Para las variables secundarias:

- Características del edificio

TABLA 25. PONDERACIÓN CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

	Nuevo o Usado	Vetustez	Estrato	Vector propio
Nuevo o Usado	1	2	3	0.5278
Vetustez		1	3	0.3325
Estrato			1	0.1396
CR	5.17%			1.0000

TABLA 26. MATRIZ CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

	A	B	C	VECTOR PROPIO
A	1	2	3	0.5278
B	1/2	1	3	0.3325
C	1/3	1/3	1	0.1396
CR	5.17%	< 5%		1.0000

- Características de la vivienda

TABLA 27. PONDERACIÓN CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

	Superficie	Parqueadero	Útil	Vector propio
Superficie	1	2	3	0.5396
Parqueadero		1	2	0.2970
Útil			1	0.1634
CR	0.89%			1.0000

TABLA 28. MATRIZ CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

	A	B	C	VECTOR PROPIO
A	1	2	3	0.5396
B	1/2	1	2	0.2970
C	1/3	1/2	1	0.1634
CR	0.89%	< 5%		1.0000

La ponderación final es:

TABLA 29. PONDERACIÓN FINAL

Variables secundarias	Ponderación variable primaria	Ponderación variable secundaria	PONDERACIÓN FINAL
Localización	0.2764	1.0000	0.2764
Nuevo o Usado	0.1283	0.5278	0.0677
Vetustez		0.3325	0.0427
Estrato		0.1396	0.0179
Area Privada	0.5954	0.5396	0.3213
Parqueadero		0.2970	0.1768
Útil		0.1634	0.0973
			1.0000

2.2.6 Ponderar los inmuebles en función de cada variable

Presentamos a continuación la ponderación de las muestras para el barrio Suramericana; las otras ponderaciones se pueden observar en el anexo “Datos Modelo”.

TABLA 30. BARRIO SURAMERICANA - LOCALIZACIÓN

LOCALIZACIÓN						
	V. 1	V. 2	V. 3	V. 4	V. A	Vector propio
V. 1	1	1/3	1/3	1	1	0.1111
V. 2		1	1	3	3	0.3333
V. 3			1	3	3	0.3333
V. 4				1	1	0.1111
V. A					1	0.1111
CR	0.00%					1.0000

TABLA 31. MATRIZ BARRIO SURAMERICANA - LOCALIZACIÓN

	A	B	C	D	E	VECTOR PROPIO
A	1	1/3	1/3	1	1	0.1111
B	3	1	1	3	3	0.3333
C	3	1	1	3	3	0.3333
D	1	1/3	1/3	1	1	0.1111
E	1	1/3	1/3	1	1	0.1111
CR	0.00%	< 10%				1.0000

TABLA 32. BARRIO SURAMERICANA - VETUSTEZ

VETUSTEZ			
	Edad	Edad directa	Vector propio
V. 1	27	43	0.1458
V. 2	0	70	0.2373
V. 3	0	70	0.2373
V. 4	0	70	0.2373
V. A	28	42	0.1424
TOTAL	55	295	1.0000

Para pasar la Vetustez a variable directa: Se toma como valor 70 años y se restó cada una de las edades de los apartamentos

TABLA 33. BARRIO SURAMERICANA - ESTADO

NUEVO O USADO						
	V. 1	V. 2	V. 3	V. 4	V. A	Vector propio
V. 1	1	1	1	1/3	1	0.1429
V. 2		1	1	1/3	1	0.1429
V. 3			1	1/3	1	0.1429
V. 4				1	3	0.4286
V. A					1	0.1429
CR	0.00%					1.0000

TABLA 34. MATRIZ BARRIO SURAMERICANA - ESTADO

	A	B	C	D	E	VECTOR PROPIO
A	1	1	1	1/3	1	0.1429
B	1	1	1	1/3	1	0.1429
C	1	1	1	1/3	1	0.1429
D	3	3	3	1	3	0.4286
E	1	1	1	1/3	1	0.1429
CR	0.00%	< 10%				1.0000

TABLA 35. BARRIO SURAMERICANA - ESTRATO

ESTRATO						
	V. 1	V. 2	V. 3	V. 4	V. A	Vector propio
V. 1	1	1	1	1	3	0.2308
V. 2		1	1	1	3	0.2308
V. 3			1	1	3	0.2308
V. 4				1	3	0.2308
V. A					1	0.0769
CR	0.00%					1.0000

TABLA 36. MATRIZ BARRIO SURAMERICANA - ESTRATO

	A	B	C	D	E	VECTOR PROPIO
A	1	1	1	1	3	0.2308
B	1	1	1	1	3	0.2308
C	1	1	1	1	3	0.2308
D	1	1	1	1	3	0.2308
E	1/3	1/3	1/3	1/3	1	0.0769
CR	0.00%	< 10%				1.0000

TABLA 37. BARRIO SURAMERICANA - PARQUEADERO

PARQUEADERO						
	V. 1	V. 2	V. 3	V. 4	V. A	Vector propio
V. 1	1	3	3	3	3	0.4286
V. 2		1	1	1	1	0.1429
V. 3			1	1	1	0.1429
V. 4				1	1	0.1429
V. A					1	0.1429
CR	0.00%					1.0000

TABLA 38. MATRIZ BARRIO SURAMERICANA - PARQUEADERO

	A	B	C	D	E	VECTOR PROPIO
A	1	3	3	3	3	0.4286
B	1/3	1	1	1	1	0.1429
C	1/3	1	1	1	1	0.1429
D	1/3	1	1	1	1	0.1429
E	1/3	1	1	1	1	0.1429
CR	0.00%	< 10%				1.0000

TABLA 39. BARRIO SURAMERICANA - CUARTO ÚTIL

ÚTIL						
	V. 1	V. 2	V. 3	V. 4	V. A	Vector propio
V. 1	1	1	3	3	3	0.3333
V. 2		1	3	3	3	0.3333
V. 3			1	1	1	0.1111
V. 4				1	1	0.1111
V. A					1	0.1111
CR	0.00%					1.0000

TABLA 40. MATRIZ BARRIO SURAMERICANA - CUARTO ÚTIL

	A	B	C	D	E	VECTOR PROPIO
A	1	1	3	3	3	0.3333
B	1	1	3	3	3	0.3333
C	1/3	1/3	1	1	1	0.1111
D	1/3	1/3	1	1	1	0.1111
E	1/3	1/3	1	1	1	0.1111
CR	0.00%	< 10%				1.0000

TABLA 41. BARRIO SURAMERICANA - SUPERFICIE

SUPERFICIE		
	Superficie	Vector propio
V. 1	106	0.1523
V. 2	138	0.1983
V. 3	171	0.2457
V. 4	130	0.1868
V. A	151	0.2170
TOTAL	696	1.0000

Para pasar la Superficie a variable directa: Se dividió cada una de las áreas privadas por la sumatoria de ellas.

2.2.7 Multiplicar las matrices resultantes

Siguiendo con el Barrio Suramericana, a continuación, mostramos los resultados de la multiplicación de las matrices resultantes:

TABLA 42. MATRICES BARRIO SURAMERICANA

Viviendas	Localización	Nuevo o Usado	Vetustez	Estrato	Área Privada	Parqueadero	Útil
V. 1	0.1111	0.1429	0.1458	0.2308	0.1523	0.4286	0.3333
V. 2	0.3333	0.1429	0.2373	0.2308	0.1983	0.1429	0.3333
V. 3	0.3333	0.1429	0.2373	0.2308	0.2457	0.1429	0.1111
V. 4	0.1111	0.4286	0.2373	0.2308	0.1868	0.1429	0.1111
V. A	0.1111	0.1429	0.1424	0.0769	0.2170	0.1429	0.1111

TABLA 43. MULTIPLICACIÓN DE MATRICES BARRIO SURAMERICANA

Vector propio variables		VECTOR FINAL
0.2764		0.2079
0.0677		0.2374
0.0427		0.2310
0.0179		0.1701
0.3213		0.1536
0.1768		
0.0973		

La primera matriz, corresponde a los vectores propios de la ponderación de los inmuebles para cada una de las variables.

El vector propio variables, corresponde a la ponderación final de las variables primarias y secundarias.

El vector final corresponde a la multiplicación de las matrices; este se realiza utilizando la función MMULT de Excel.

2.2.8 Calcular el Ratio de valuación

El ratio de valuación (NIV2005) consiste en obtener un ratio o razón o cociente entre el precio y cada variable explicativa. El producto del ratio obtenido por la cuantía de la variable explicativa del bien a valorar nos dará el valor de este último.

Retomando el ejercicio para el barrio Suramericana, se tiene:

TABLA 44. CALCULO RATIO SURAMERICANA

Viviendas	Precio \$/m2	Ponderación	Ratio
V. 1	2,919,825	0.2079	14,046,740.17
V. 2	3,809,568	0.2374	16,044,636.72
V. 3	4,130,532	0.2310	17,877,499.69
V. 4	2,756,244	0.1701	16,208,051.07
	13,616,169.212	0.846	16,044,231.91

El Precio \$/m² corresponde al valor para septiembre de 2019 de cada uno de los inmuebles comparables.

La ponderación es el vector final o el resultado de la multiplicación de las matrices.

El Ratio se calcula dividiendo el Precio \$/m² por la Ponderación.

TABLA 45. RATIO MEDIO SURAMERICANA

Ratio medio	16,044,231.91
Valor m2 V.A.	2,464,378
Valor V. A.	372,121,127.41

TABLA 46. RATIO GLOBAL SURAMERICANA

Ratio Global	16,087,137.85
Valor m2 V.A.	2,470,969
Valor V. A.	373,116,264.20

El ratio medio es el promedio de los ratios; el ratio global es el resultado de la división de la suma de los valores de la columna Precio \$/m² y la suma de los valores de la columna Ponderación.

El Valor m² V.A. para el ratio medio se calcula multiplicando el ratio medio por el vector final para el inmueble a valorar (el vector final es el resultado de la multiplicación de las matrices); así mismo El Valor m² V.A. para el ratio global se calcula multiplicando el ratio global por el vector final para el inmueble a valorar.

El Valor V.A. corresponde a la multiplicación del Valor \$/m² por el área privada del apartamento.

2.2.9 Calcular el valor del inmueble problema

Para el cálculo del valor del apartamento se tiene:

El ratio medio es el promedio de los ratios; el ratio global es el resultado de la división de la suma de los valores de la columna Precio \$/m² y la suma de los valores de la columna Ponderación.

El Valor m² V.A. para el ratio medio se calcula multiplicando el ratio medio por el vector final para el inmueble a valorar (el vector final es el resultado de la multiplicación de las matrices); así mismo El Valor m² V.A. para el ratio global se calcula multiplicando el ratio global por el vector final para el inmueble a valorar.

El Valor V.A. corresponde a la multiplicación del Valor \$/m² por el área privada del apartamento.

TABLA 47. RATIO MEDIO FINAL SURAMERICANA

Ratio medio	16,044,231.91
Valor m2 V.A.	2,464,378
Valor V. A.	372,121,127.41

TABLA 48. RATIO GLOBAL FINAL SURAMERICANA

Ratio Global	16,087,137.85
Valor m2 V.A.	2,470,969
Valor V. A.	373,116,264.20

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Red Neuronal

- La fórmula de la red obtenida en la primera modelación es:

$$\begin{aligned} & (0.00986584841069771 + 7.76019006586522 * \text{Squish}(2.59789140776798 + - \\ & 2.55718624344167 * :ESTADO + -0.277489580456537 * :ESTRATO + \\ & 0.0219856611123006 * :AREAPRIVADA + -0.192929863159384 * \\ & :VETUSTEZ) + -6.51545056233777 * \text{Squish}(47.9165239356374 + \\ & 4.85395791145903 * :ESTADO + -8.58111066259326 * :ESTRATO + - \\ & 0.0717624533910981 * :AREAPRIVADA + 0.425275830873254 * \\ & :VETUSTEZ) + -7.37381404056742 * \text{Squish}((-33.2205325238125) + - \\ & 4.78226526152046 * :ESTADO + 5.89331744042805 * :ESTRATO + \\ & 0.0478456197050558 * :AREAPRIVADA + -0.288143235462978 * \\ & :VETUSTEZ) + -5.93438441926719 * \text{Squish}(3.68476486490608 + \\ & 1.01471276002579 * :ESTADO + -0.76270421910144 * :ESTRATO + - \\ & 0.00621854590654261 * :AREAPRIVADA + 0.0437464665517563 * \\ & :VETUSTEZ) + 6.3065818581522 * \text{Squish}((-1.78723354658902) + \\ & 6.12934133548826 * :ESTADO + 0.0131392202248463 * :ESTRATO + - \\ & 0.0310013186630239 * :AREAPRIVADA + 0.214372533290495 * \\ & :VETUSTEZ) + 4.30767866346569 * \text{Squish}(4.51906822744718 + - \\ & 0.119732469986743 * :ESTADO + -0.391770168171275 * :ESTRATO + - \\ & 0.0471433539610387 * :AREAPRIVADA + 0.289771279335616 * \\ & :VETUSTEZ)) * 767432.399915935 + 3387823.15852884 \end{aligned}$$

Donde Squish es un cálculo eficiente de la función $1/(1 + e^{-x})$, donde x es cualquier columna numérica, variable o expresión.

ILUSTRACIÓN 23. 1ER MODELO - VALOR M2 REAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED

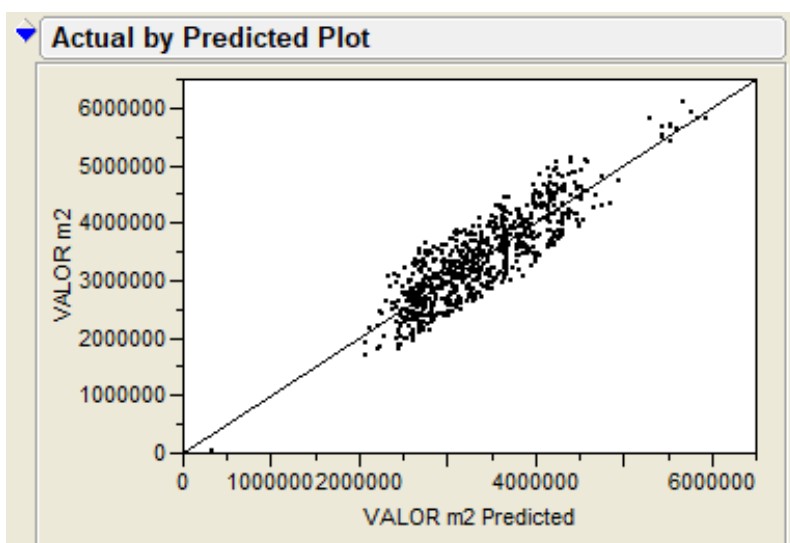
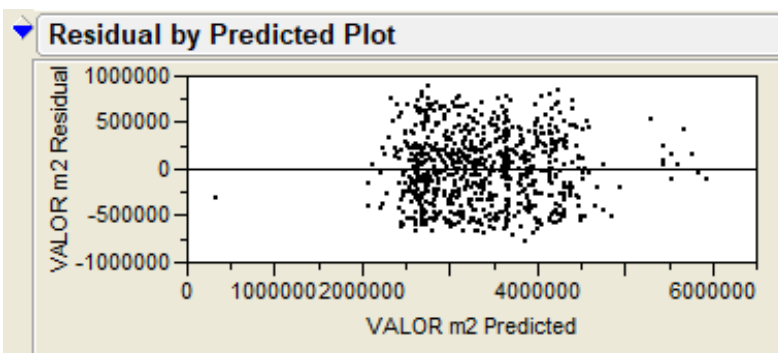


ILUSTRACIÓN 24. 1ER MODELO - VALOR M2 RESIDUAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED

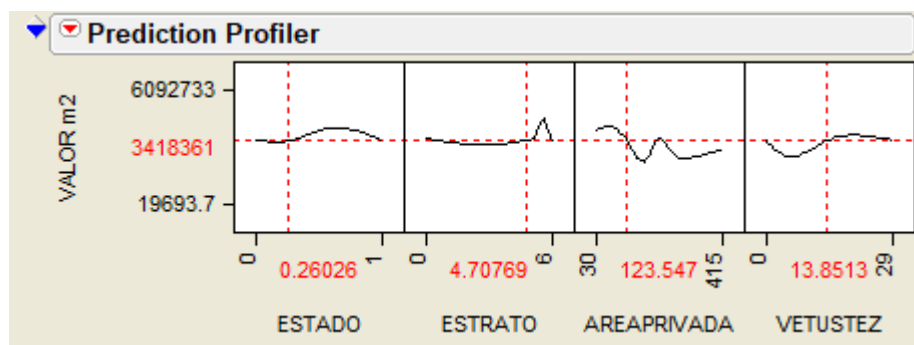


La Grafica Prediction Profiler (Predicción de perfiles), muestra la predicción de perfiles de dos carreras de la plataforma de red neuronal, usando dos números diferentes de nodos ocultos. Para este caso, se toma como referencia el valor m^2 \$3,418.361; la gráfica muestra el comportamiento de cada una de las variables.

Si se analiza el comportamiento del Valor m^2 , de acuerdo con la variable Área Privada; observamos que a menor área privada el valor m^2 es mayor; Baja el valor m^2 hasta llegar a un área privada cercana a los 150 m^2 donde podemos ver un incremento en el valor m^2 ; vuelve y baja el valor m^2 , pero tiene una leve recuperación por encima de los 220 m^2 de área privada.

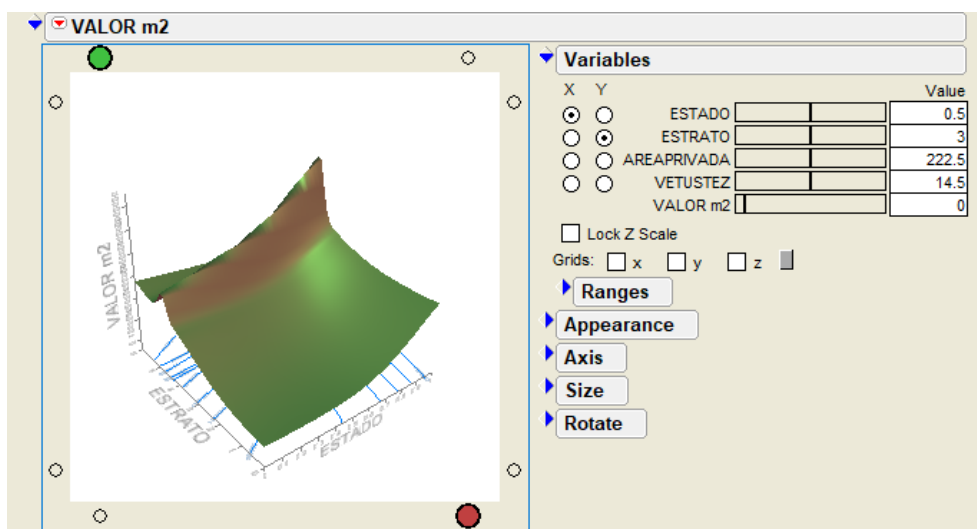
Para la variable Estrato, se observa un incremento de valor m² para el estrato 5.

ILUSTRACIÓN 25. 1ER MODELO - PREDICCIÓN DE PERFILES



En las gráficas siguientes, se observa el comportamiento de Valor m², con referencia a dos de las variables utilizadas en el modelo.

ILUSTRACIÓN 26. 1ER MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y ESTRATO



Para este caso, nuevamente se tiene un incremento en el valor m² para los estratos 5; así como un mayor valor m² para los inmuebles nuevos.

ILUSTRACIÓN 27. 1ER MODELO – VALOR M2 VS ESTADO Y ÁREA PRIVADA

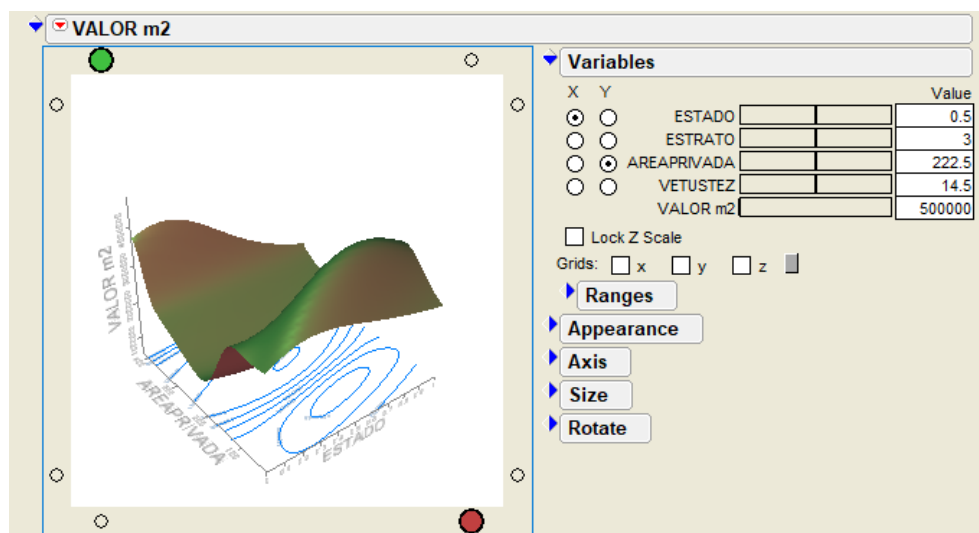


ILUSTRACIÓN 28. 1ER MODELO – VALOR M2 VS ESTADO Y VETUSTEZ

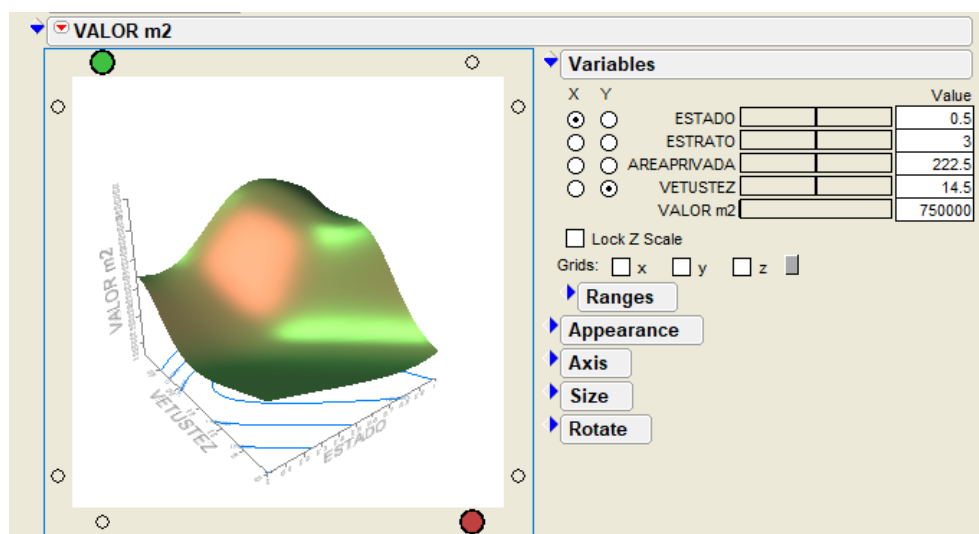


ILUSTRACIÓN 29. 1ER MODELO – VALOR M2 VS ESTRATO Y ÁREA PRIVADA

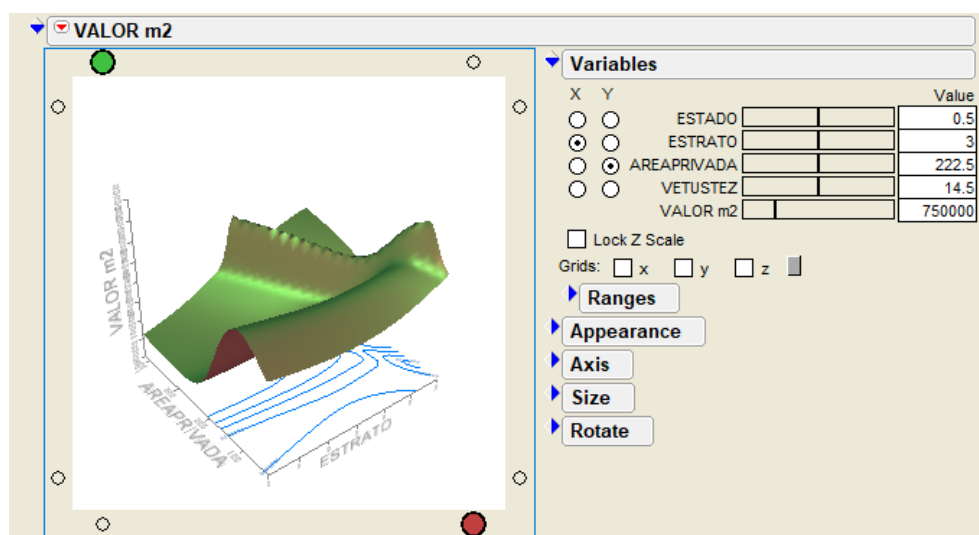


ILUSTRACIÓN 30. 1ER MODELO - VALOR M2 VS ESTRATO Y VETUSTEZ

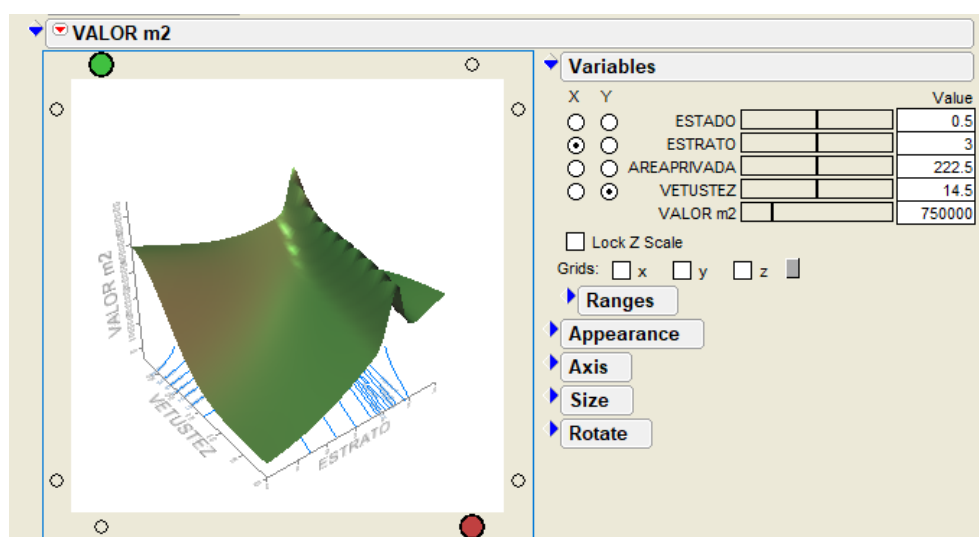
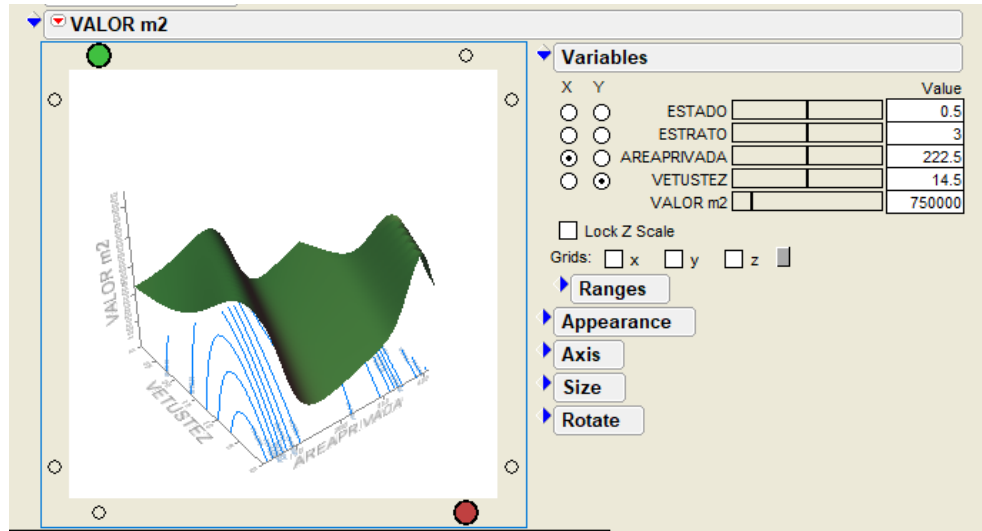


ILUSTRACIÓN 31. 1ER MODELO - VALOR M2 VS ÁREA PRIVADA Y VETUSTEZ



- Para el segundo modelo se tiene la siguiente formula:

$$\begin{aligned}
 & (3.16310770773782 + -4.88651249877194 * \text{Squish}((-2.71715852949266) + \\
 & 1.55056367341265 * :ESTADO + -0.123998231549041 * :BARRIO + \\
 & 0.531905446593227 * :ESTRATO + 0.0188173975463789 * \\
 & :AREAPRIVADA + -0.000366629324887166 * :VETUSTEZ) + \\
 & 0.84528360904753 * \text{Squish}((-29.0432307502592) + -3.69105137808796 * \\
 & :ESTADO + 0.840159180501307 * :BARRIO + 4.99738205924162 * \\
 & :ESTRATO + 0.0352451395297581 * :AREAPRIVADA + - \\
 & 0.160929130474825 * :VETUSTEZ) + 2.6281559950312 * \text{Squish}((- \\
 & 1.41264885706626) + 5.69796297255237 * :ESTADO + 0.177579643568283 \\
 & * :BARRIO + -0.528176461318373 * :ESTRATO + -0.0165777495774182 * \\
 & :AREAPRIVADA + -0.188796360826039 * :VETUSTEZ) + \\
 & 3.22969122709118 * \text{Squish}((-10.1431525063827) + 4.21374529699763 * \\
 & :ESTADO + 2.11582974341718 * :BARRIO + -2.33069382193036 * \\
 & :ESTRATO + 0.0159111161346032 * :AREAPRIVADA + \\
 & 0.114983644696186 * :VETUSTEZ) + -3.02354826284787 * \\
 & \text{Squish}(0.494693784683792 + 0.279027076053791 * :ESTADO + \\
 & 0.342890826217706 * :BARRIO + -0.756679595475195 * :ESTRATO + - \\
 & 0.0171809605031221 * :AREAPRIVADA + 0.0199733377472152 *
 \end{aligned}$$

:VETUSTEZ) + -3.57613116995173 * Squish((-8.15266980344593) +
 4.05104260942528 * :ESTADO + 2.54405460053998 * :BARRIO + -
 3.5024323194696 * :ESTRATO + 0.00996015720617443 * :AREAPRIVADA
 + 0.151251984609033 * :VETUSTEZ)) * 1016350.86074307 +
 3511637.08516601

Nuevamente Squish es un cálculo eficiente de la función $1/(1 + e^{-x})$, donde x es cualquier columna numérica, variable o expresión.

ILUSTRACIÓN 32. 2DO MODELO - VALOR M2 REAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED

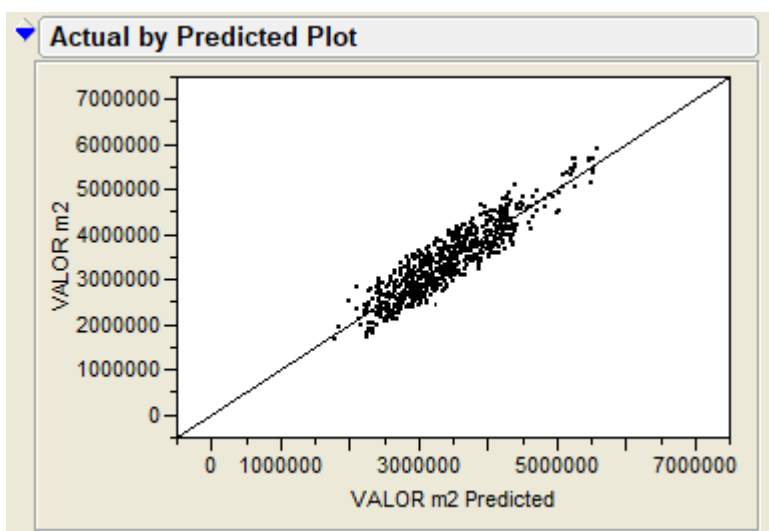
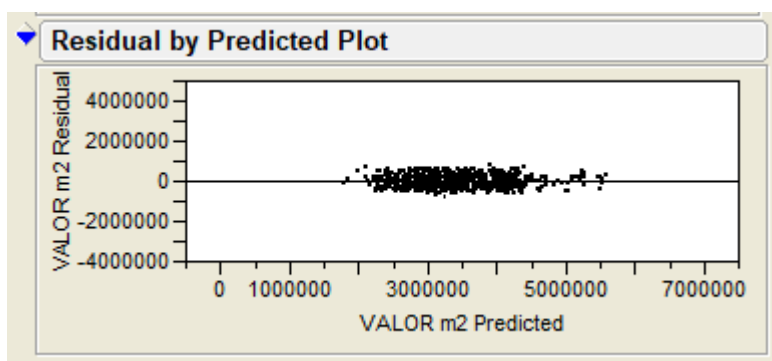


ILUSTRACIÓN 33. 2DO MODELO - VALOR M2 RESIDUAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED



La Grafica Prediction Profiler (Predicción de perfiles), muestra la predicción de perfiles de dos carreras de la plataforma de red neuronal, usando dos números

diferentes de nodos ocultos. Para este caso, se toma como referencia el valor m^2 \$2,764,793; la gráfica muestra el comportamiento de cada una de las variables.

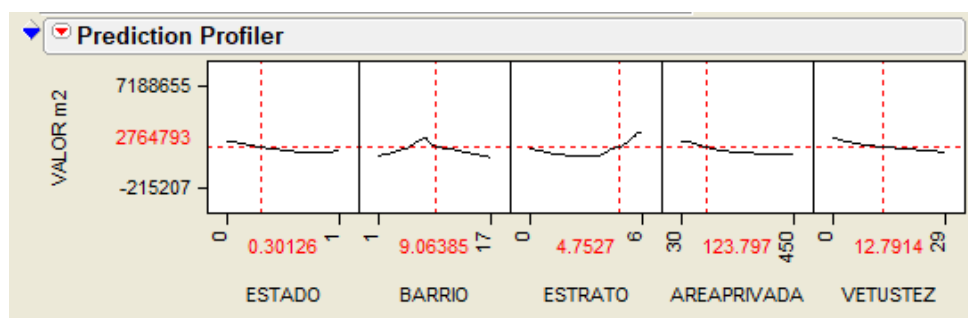
Si se analiza el comportamiento del Valor m^2 , de acuerdo con la variable Área Privada; observamos que a menor área privada el valor m^2 es mayor.

Para la variable Estrato, se observa un incremento de valor m^2 para el estrato 6.

A medida que aumenta la vetustez el valor m^2 baja; quiere decir que es inversa.

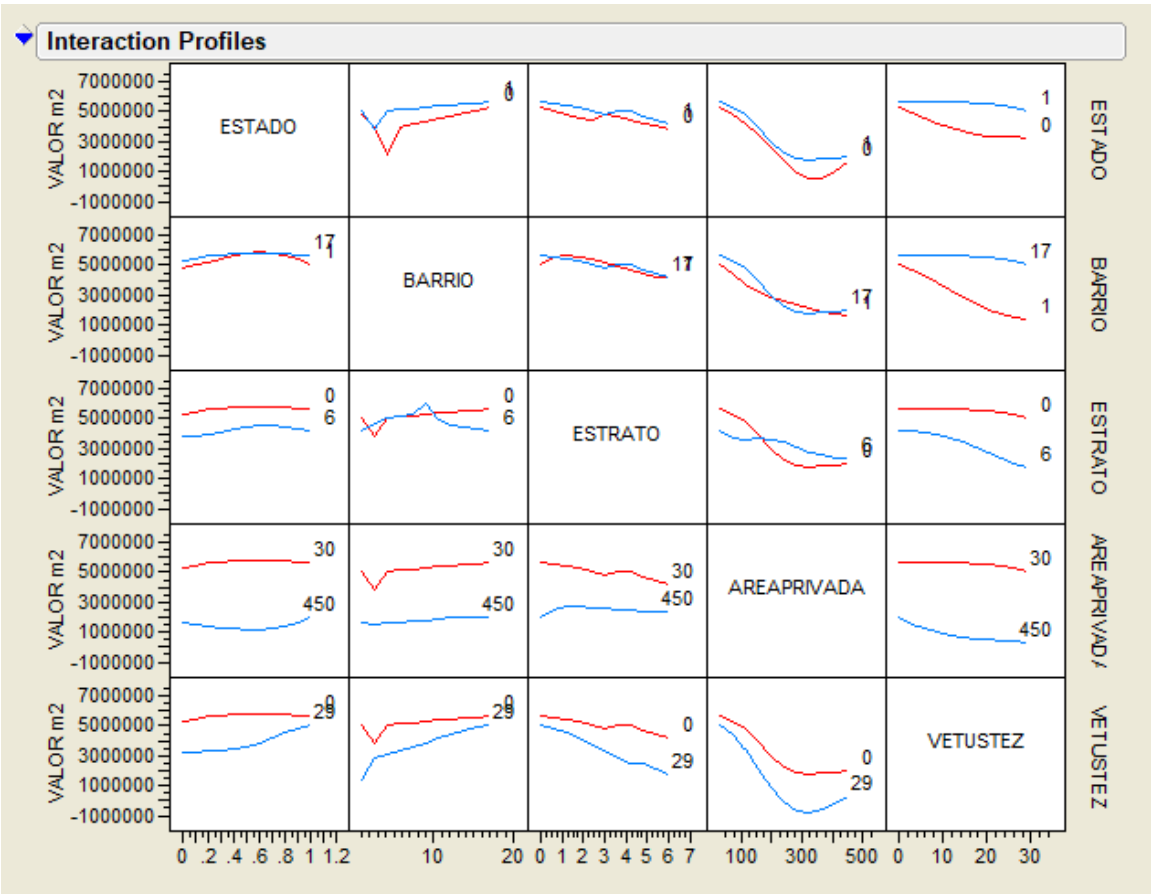
Se observa además que los barrios con mayor valor m^2 son Bolivariana (7) y Laureles (8).

ILUSTRACIÓN 34. 2DO MODELO - PREDICCIÓN DE PERFILES



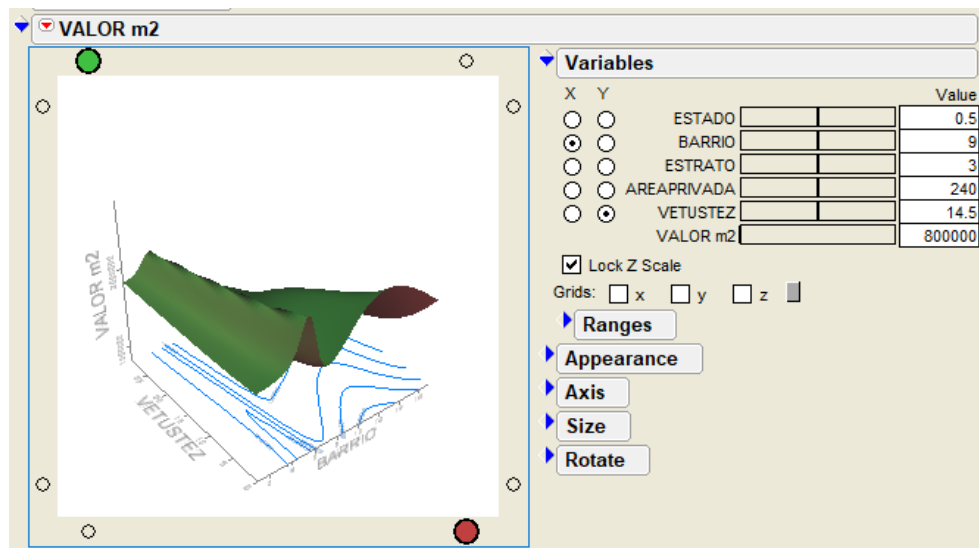
En la siguiente grafica denominada “Interaction Profiles”, podemos observar el comportamiento del valor m^2 para cada una de las interacciones entre las variables, tomando como base el mayor y menor valor para cada una de las variables.

ILUSTRACIÓN 35. 2DO MODELO - ITERACIÓN DE PERFILES



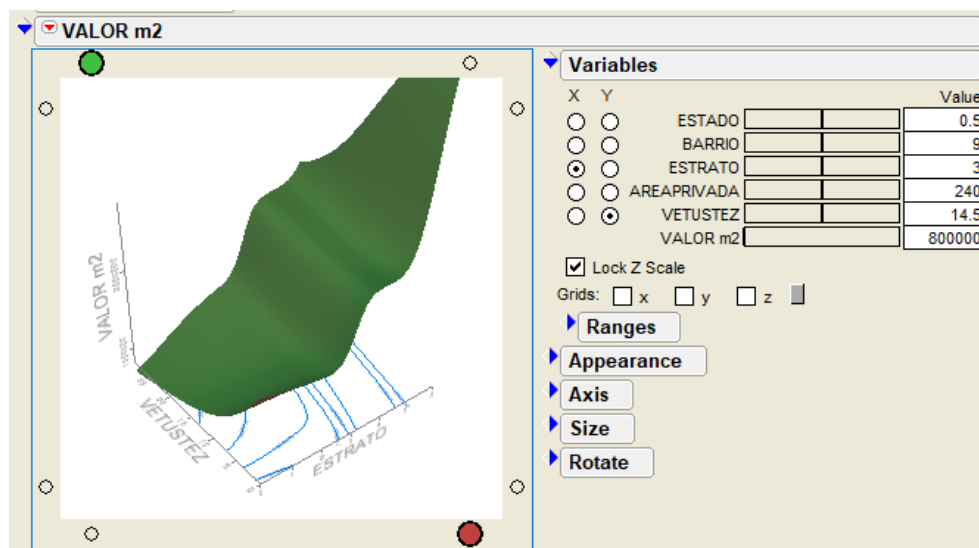
En las gráficas siguientes, se observa el comportamiento de Valor m², con referencia a dos de las variables utilizadas en el modelo.

ILUSTRACIÓN 36. 2DO MODELO - VALOR M2 VS BARRIO Y VETUSTEZ



Para la variable Barrio, se encuentran valores m² más altos en los barrios Bolivariana (7), Laureles (8), Velódromo (12) y Estadio (13), para una vetustez entre 0 y 5.

ILUSTRACIÓN 37. 2DO MODELO - VALOR M2 VS ESTRATO Y VETUSTEZ



Para la variable Estrato, se encuentran valores m² más altos en los estratos altos, para una vetustez entre 0 y 5.

ILUSTRACIÓN 38. 2DO MODELO - VALOR M2 VS ESTRATO Y ÁREA PRIVADA

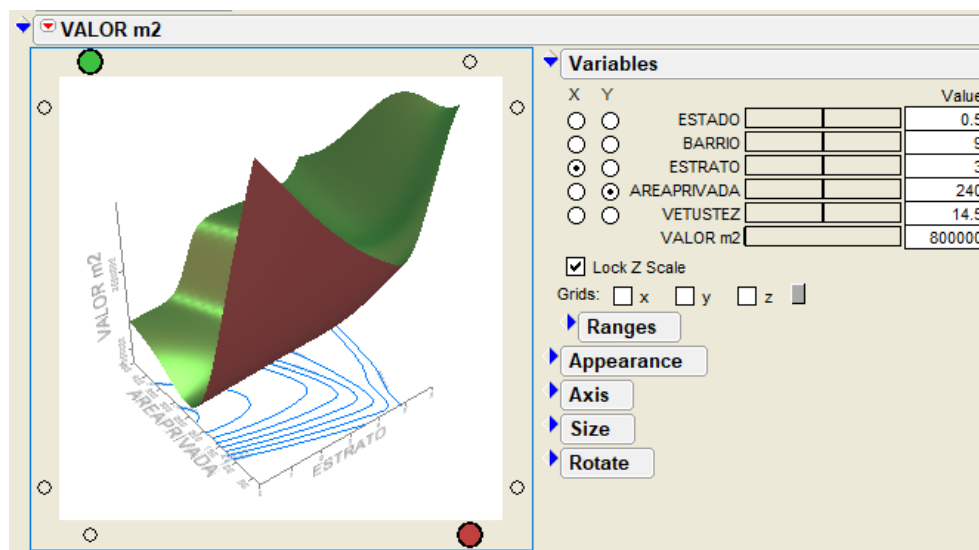


ILUSTRACIÓN 39. 2DO MODELO - VALOR M2 VS BARRIO Y ÁREA PRIVADA

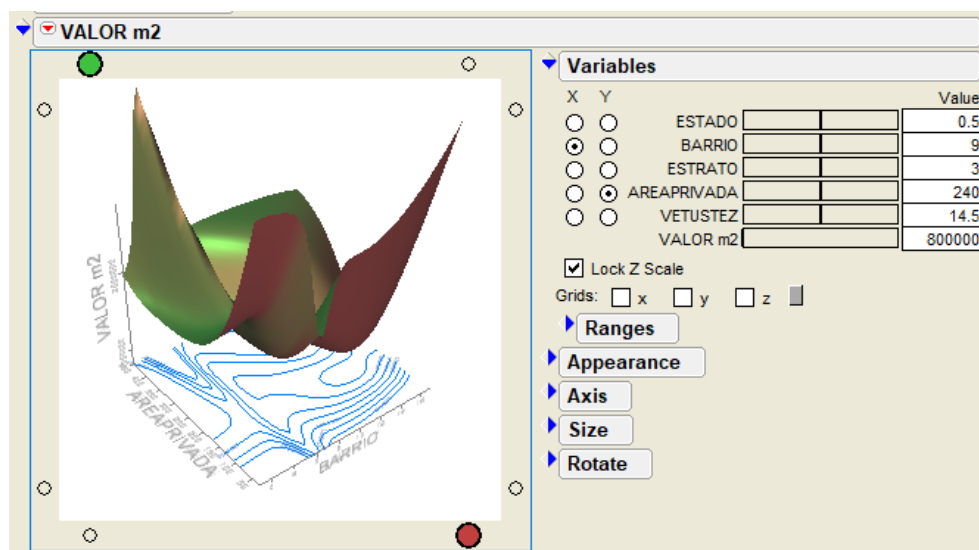


ILUSTRACIÓN 40. 2DO MODELO - VALOR M2 VS BARRIO Y ESTRATO

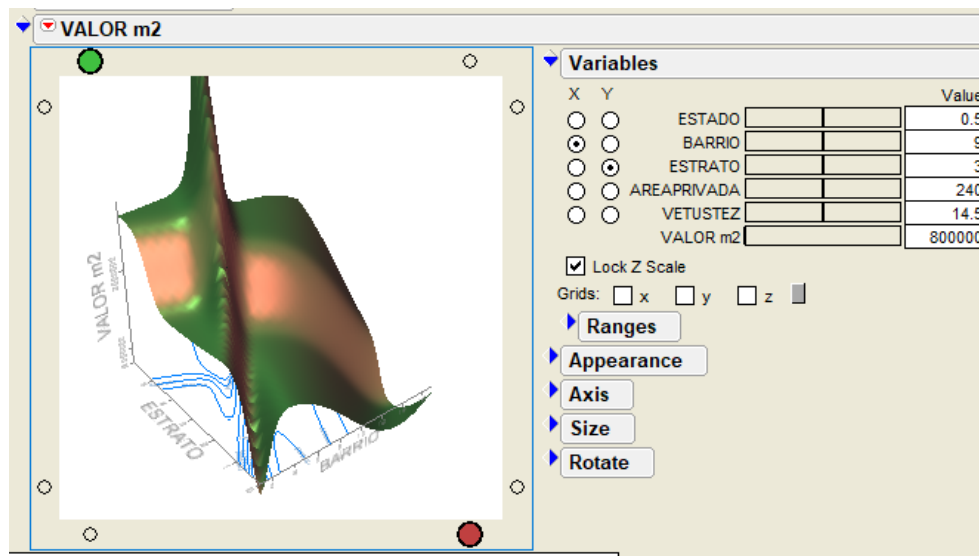
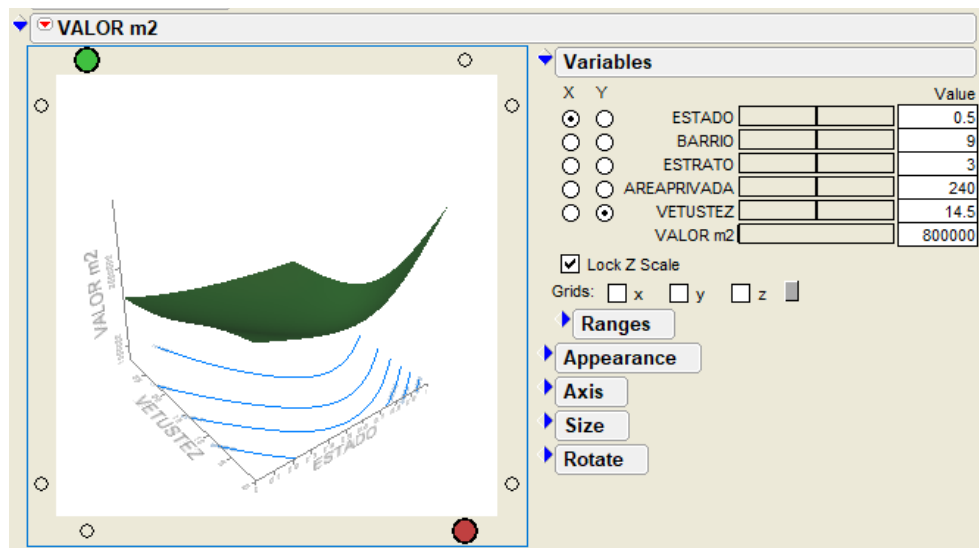


ILUSTRACIÓN 41. 2DO MODELO - VALOR M2 VS ESTRATO Y VETUSTEZ



Si analizamos el Estado Vs la Vetustez, encontramos que los inmuebles nuevos con vetustez entre 0 y 5 son los que más valor m² tienen.

ILUSTRACIÓN 42. 2DO MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y ÁREA PRIVADA

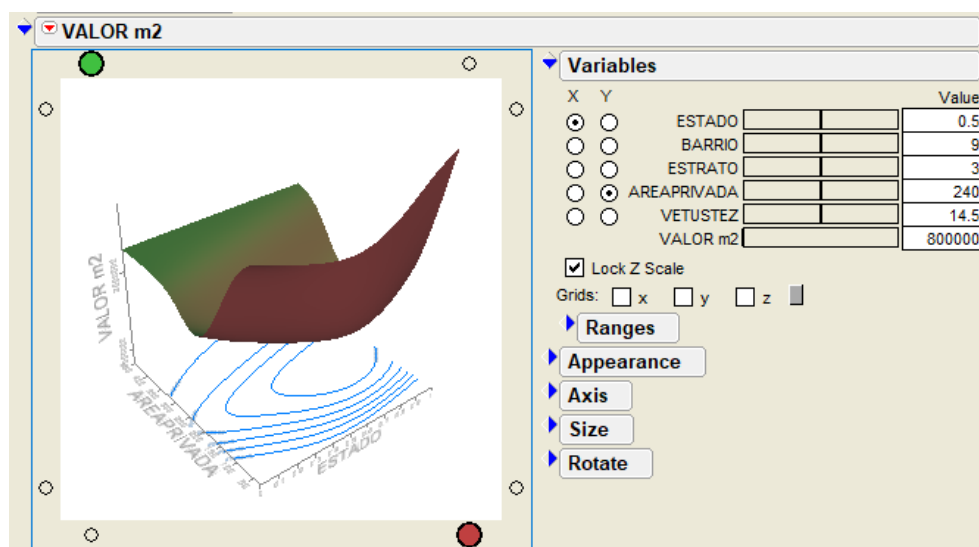


ILUSTRACIÓN 43. 2DO MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y ÁREA PRIVADA

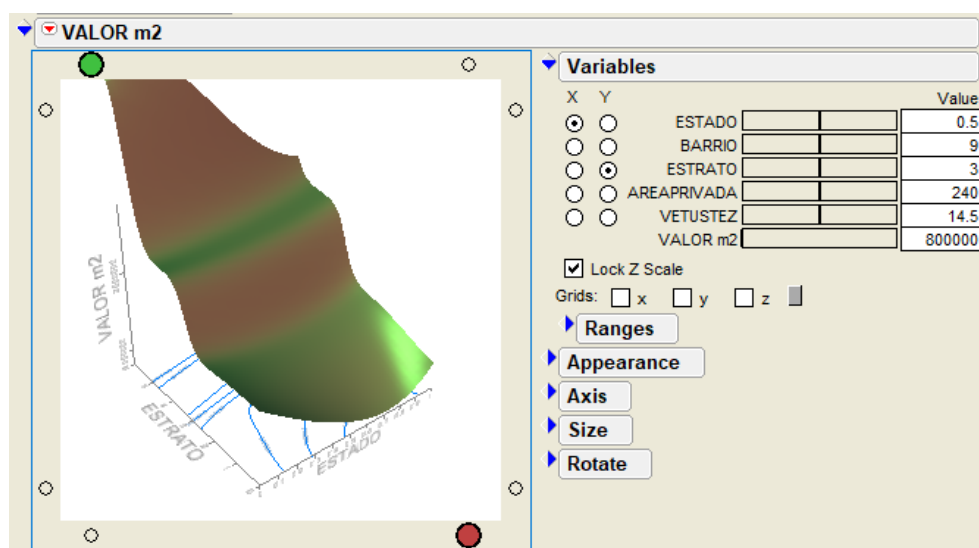


ILUSTRACIÓN 44. 2DO MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y BARRIO

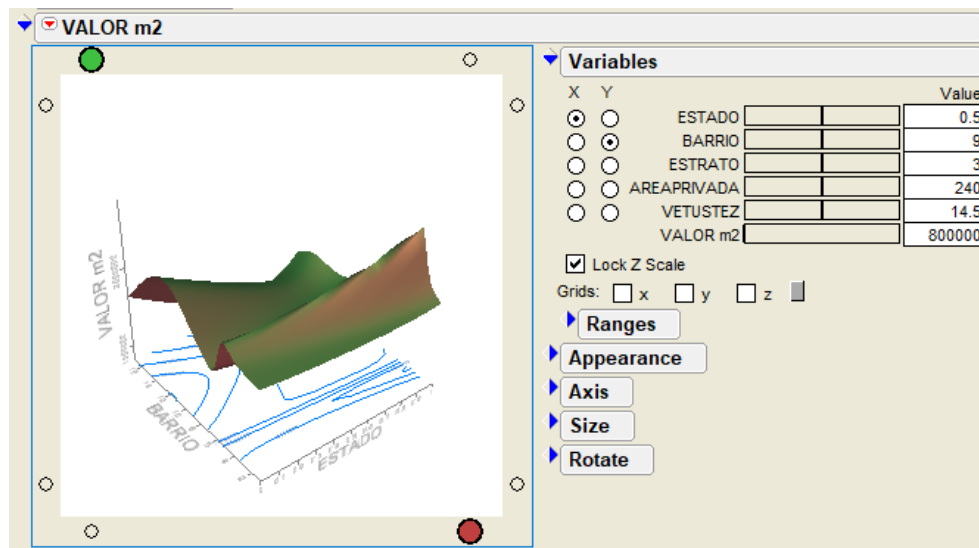
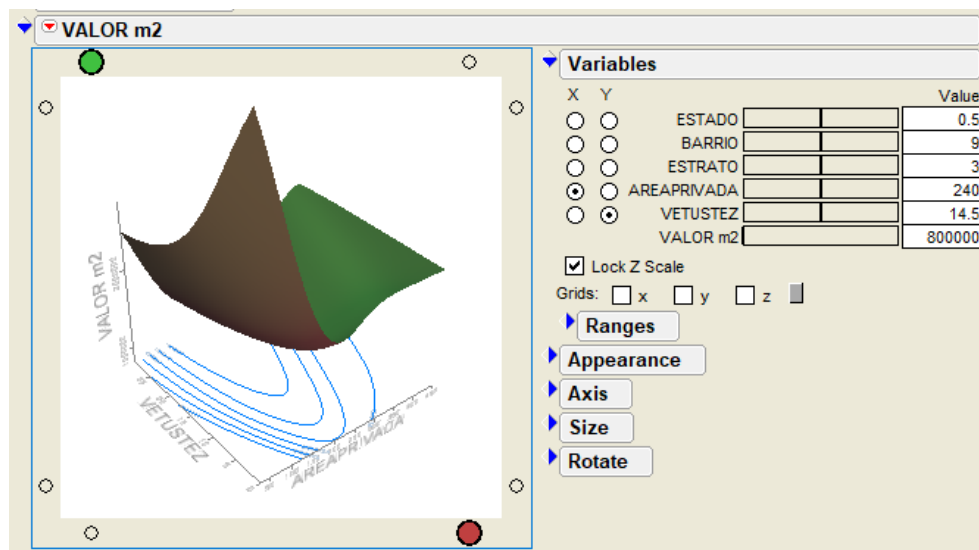


ILUSTRACIÓN 45. 2DO MODELO - VALOR M2 VS ÁREA PRIVADA Y VETUSTEZ



- Para el tercer modelo se tiene la siguiente formula:

$$\begin{aligned}
 & (0.602536721213951 + 1.49148340061973 * \text{Squish}(7.27293047116339 + \\
 & 3.56359920400508 * :ESTADO + -1.37691665150922 * \\
 & :Name("LOCALIZACIÓN") + 0.49113976478906 * :ESTRATO + - \\
 & 0.062713350705299 * :AREAPRIVADA + 0.139607068392033 * \\
 & :VETUSTEZ) + 1.29406181281464 * \text{Squish}((-9.16155671167089) + - \\
 & 1.89732280897638 * :ESTADO + -0.839271910185897 *
 \end{aligned}$$

```

:Name("LOCALIZACIÓN") + 2.44129493131556 * :ESTRATO +
0.00608193207671504 * :AREAPRIVADA + -0.143447466251906 *
:VETUSTEZ) + -1.69285543821841 * Squish((-14.412854739034) +
6.1857185047744 * :ESTADO + 2.43843725577289 *
:Name("LOCALIZACIÓN") + 0.0632844152512705 * :ESTRATO +
0.036206411496934 * :AREAPRIVADA + 0.372759759836763 *
:VETUSTEZ) + -1.15978187818791 * Squish(1.57304156654102 +
0.832784216197536 * :ESTADO + -1.56881947101295 *
:Name("LOCALIZACIÓN") + 1.92795899336872 * :ESTRATO + -
0.0854825447251056 * :AREAPRIVADA + 0.245903147784807 *
:VETUSTEZ) + -3.17807259269833 * Squish(2.82427205088811 + -
3.88591821995522 * :ESTADO + -0.115832177851074 *
:Name("LOCALIZACIÓN") + -0.711371890064648 * :ESTRATO +
0.0159544230365634 * :AREAPRIVADA + 0.0370190204771139 *
:VETUSTEZ) + 2.76942909748679 * Squish((-0.114554425934228) + -
1.79329258964173 * :ESTADO + 0.915496510166727 *
:Name("LOCALIZACIÓN") + -1.51521543281444 * :ESTRATO +
0.0159193037406298 * :AREAPRIVADA + 0.385398644864063 *
:VETUSTEZ)) * 1016350.86074307 + 3511637.08516601

```

Nuevamente Squish es un cálculo eficiente de la función $1/(1 + e^{-x})$, donde x es cualquier columna numérica, variable o expresión.

ILUSTRACIÓN 46. 3ER MODELO - VALOR M2 REAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED

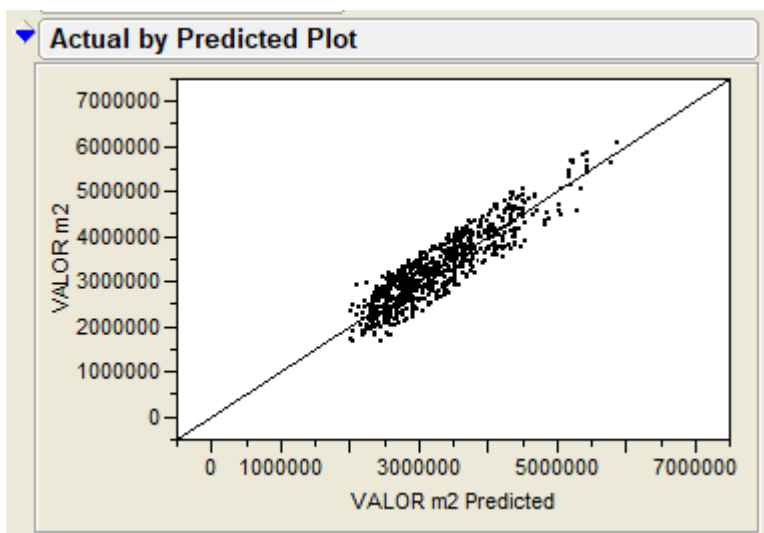
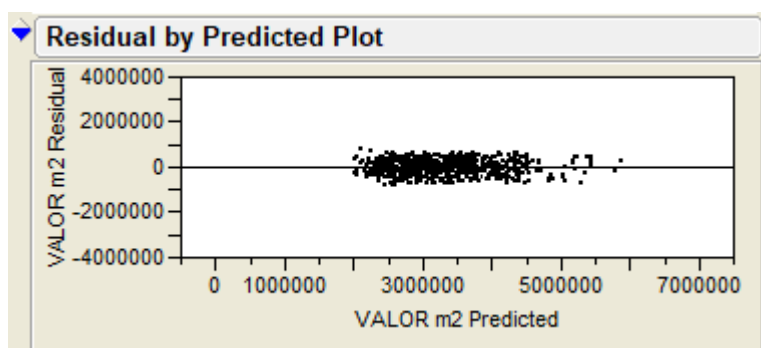


ILUSTRACIÓN 47. 3ER MODELO - VALOR M2 RESIDUAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED



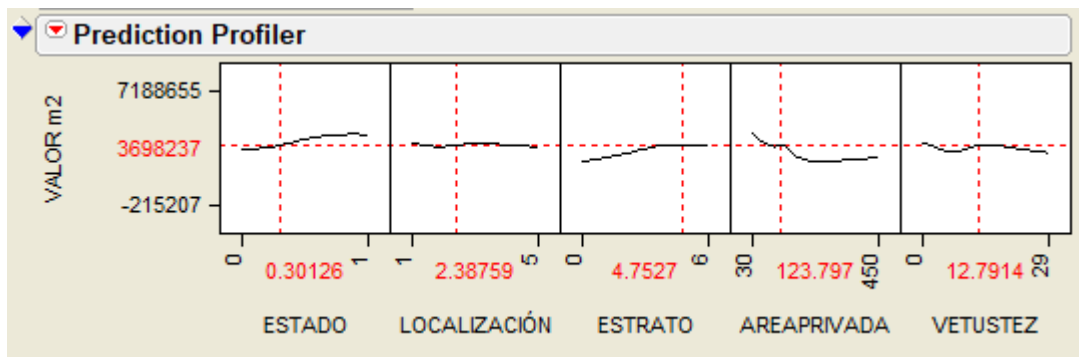
La Grafica Prediction Profiler (Predicción de perfiles), muestra la predicción de perfiles de dos carreras de la plataforma de red neuronal, usando dos números diferentes de nodos ocultos. Para este caso, se toma como referencia el valor m^2 \$3,698,236.6; la gráfica muestra el comportamiento de cada una de las variables.

Si se analiza el comportamiento del Valor m^2 , de acuerdo con la variable Área Privada; observamos que a menor área privada el valor m^2 es mayor, mostrando una tendencia a mantener valor en las áreas privadas grandes (superiores a 15 m^2)

Para la variable Estrato, se observa un incremento de valor m² a medida que incrementa el estrato.

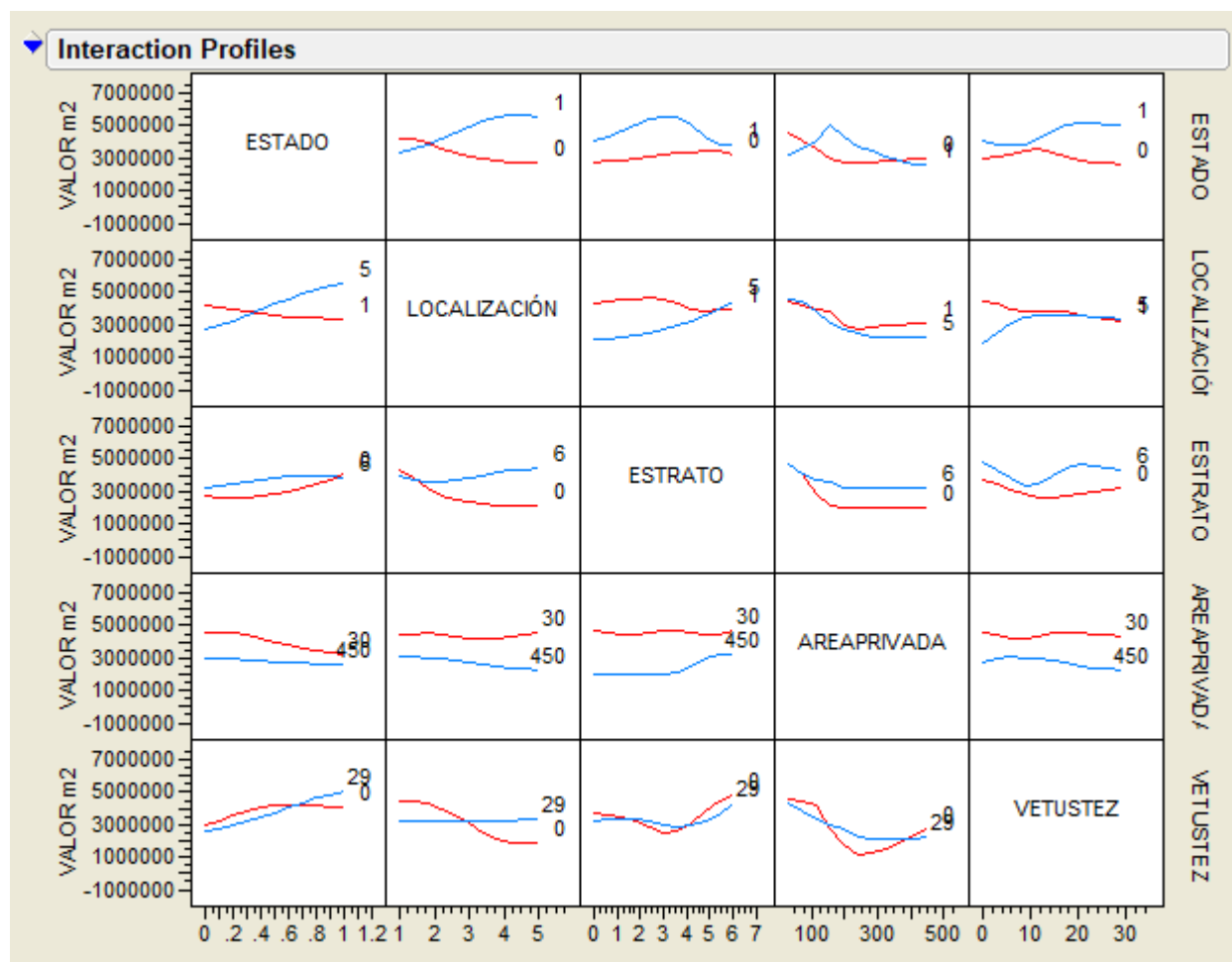
A medida que aumenta la vetustez el valor m² baja, mostrando una leve recuperación por los lados de 13 años.

ILUSTRACIÓN 48. 3ER MODELO - PREDICCIÓN DE PERFILES



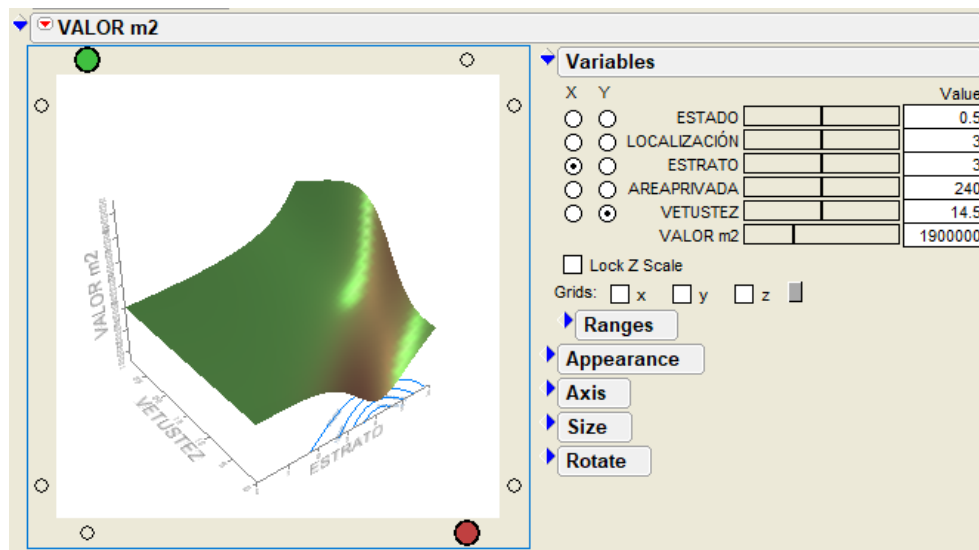
En la siguiente grafica denominada “Interaction Profiles”, podemos observar el comportamiento del valor m^2 para cada una de las interacciones entre las variables, tomando como base el mayor y menor valor para cada una de las variables.

ILUSTRACIÓN 49. 3ER MODELO - ITERACIÓN DE PERFILES



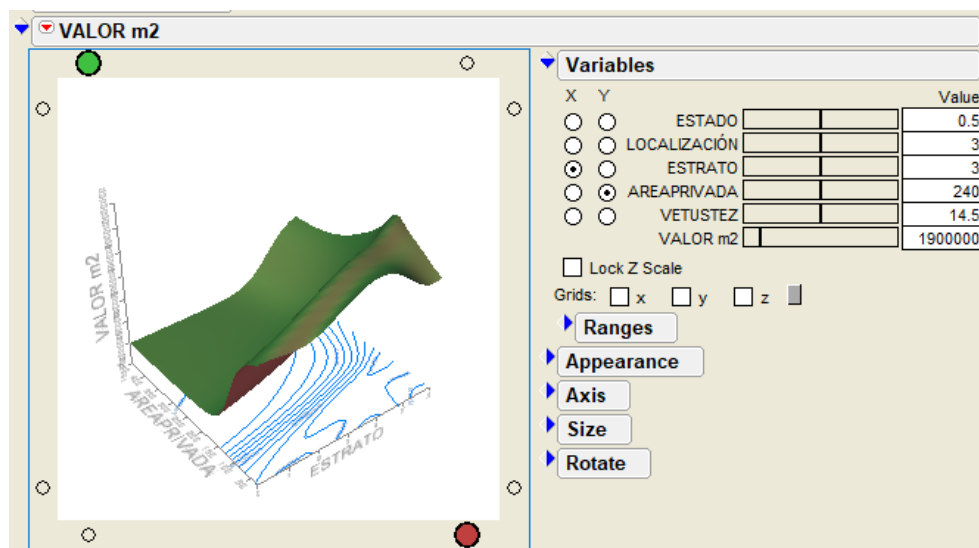
En las gráficas siguientes, se observa el comportamiento de Valor m², con referencia a dos de las variables utilizadas en el modelo.

ILUSTRACIÓN 50. 3ER MODELO - VALOR M2 VS ESTRATO Y VETUSTEZ



En la gráfica anterior podemos observar un incremento en el valor m² al incrementar es Estrato, para los inmuebles con vetustez altas.

ILUSTRACIÓN 51. 3ER MODELO - VALOR M2 VS ESTRATO Y ÁREA PRIVADA



Se puede deducir, que a mayor área privada el valor m² es menor para todos los Estratos; así mismo que al bajar el Estrato, el Valor m² también baja.

ILUSTRACIÓN 52. 3ER MODELO - VALOR M2 VS LOCALIZACIÓN Y VETUSTEZ

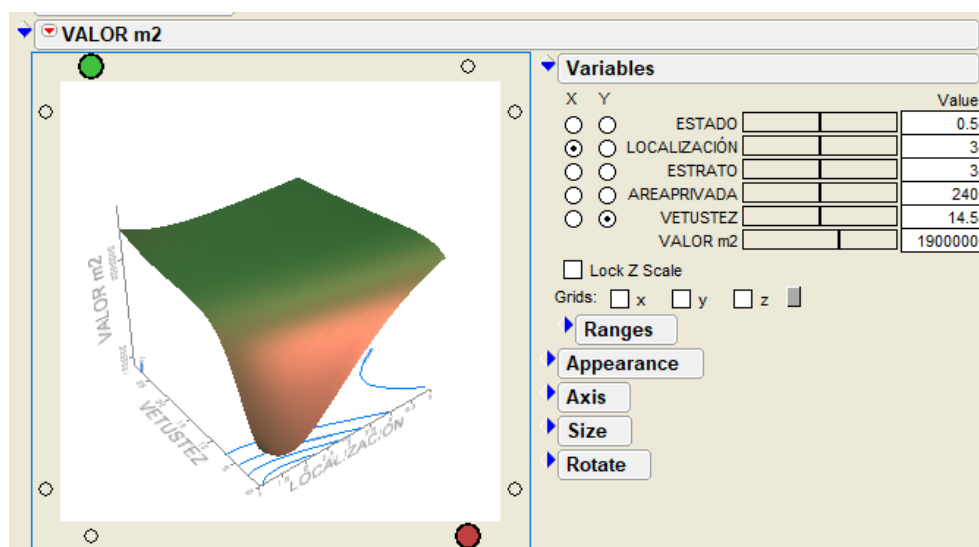


ILUSTRACIÓN 53. 3ER MODELO - VALOR M2 VS LOCALIZACIÓN Y ÁREA PRIVADA

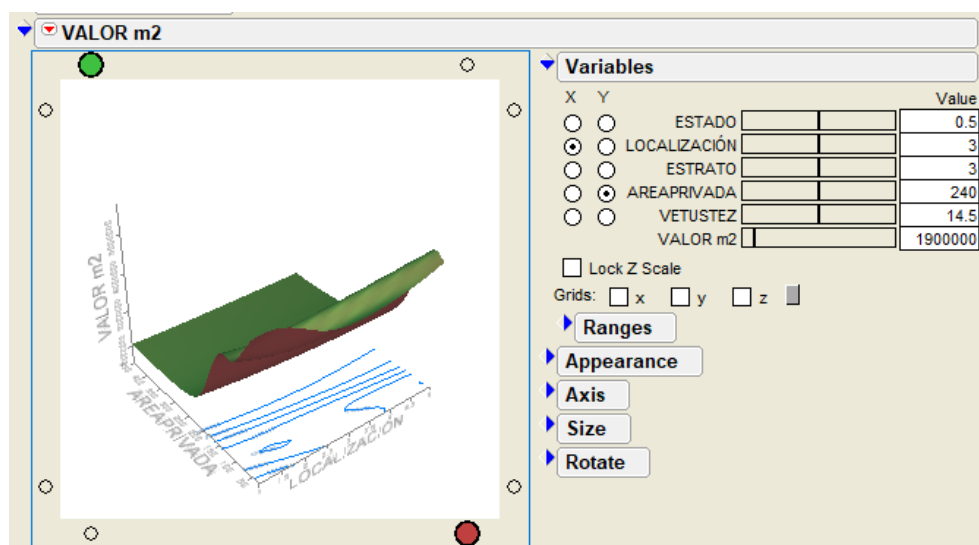
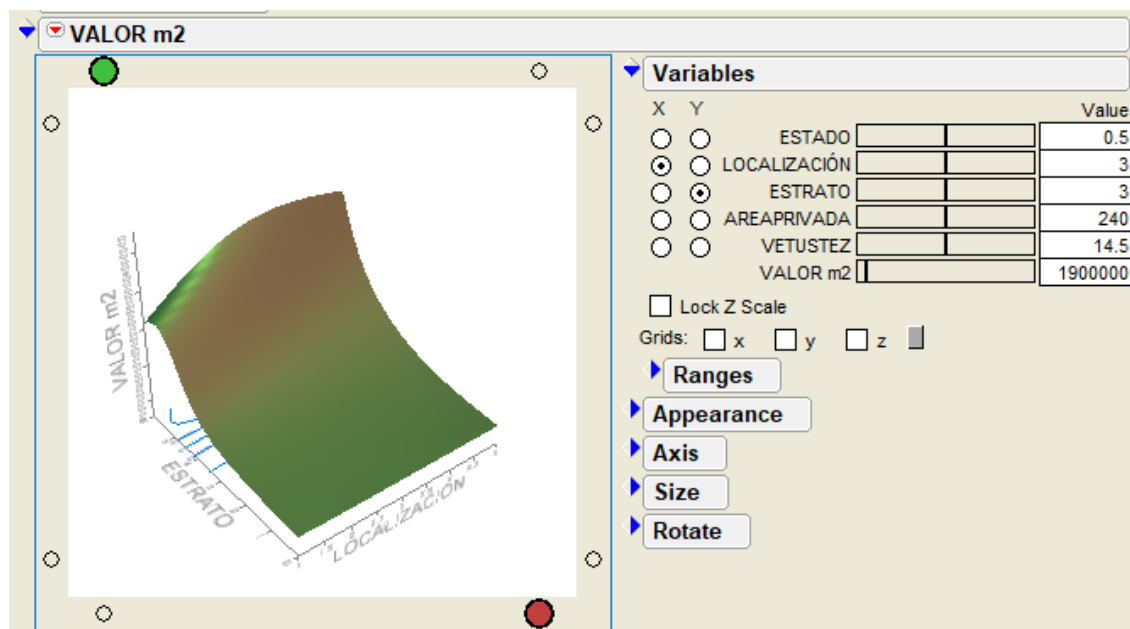


ILUSTRACIÓN 54. 3ER MODELO - VALOR M2 VS LOCALIZACIÓN Y ESTRATO



Podemos observar un incremento en el Valor m^2 al incrementar el Estrato, para todas las Localizaciones.

ILUSTRACIÓN 55. 3ER MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y VETUSTEZ

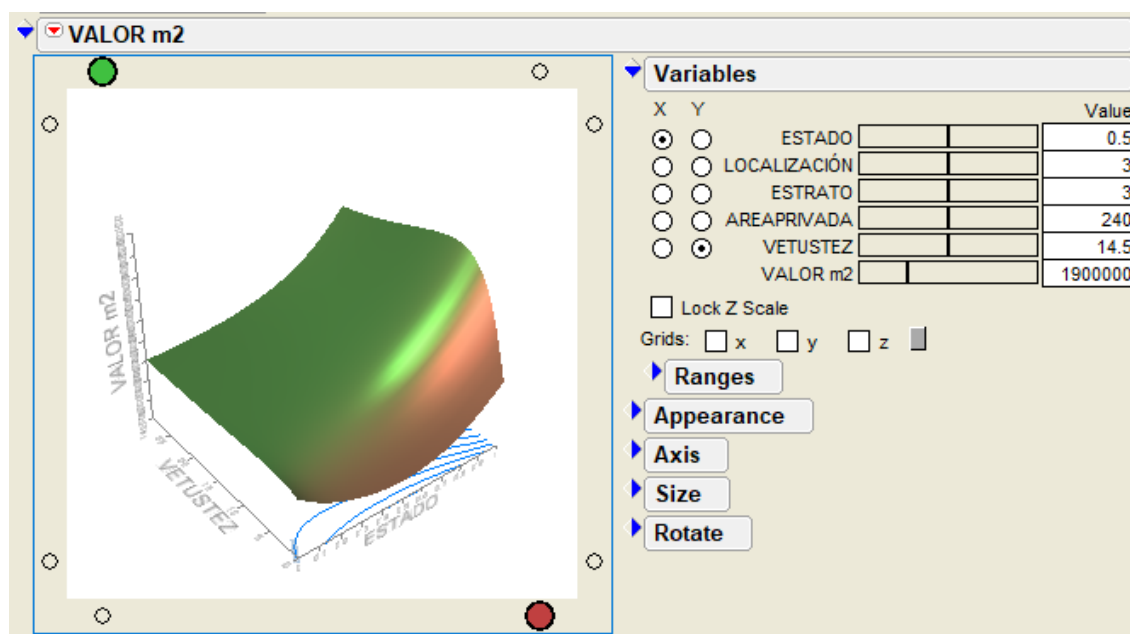
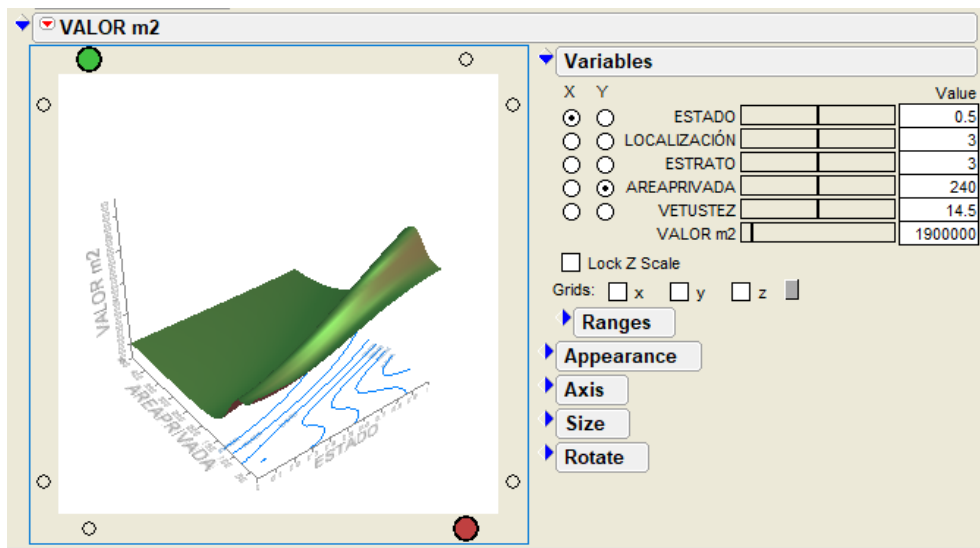


ILUSTRACIÓN 56. 3ER MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y ÁREA PRIVADA



Nuevamente el Área Privada tiene un mayor Valor m² en sus menores valores; así mismo los apartamentos nuevos tienen mayores Valores m² que los usados.

ILUSTRACIÓN 57. 3ER MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y ESTRATO

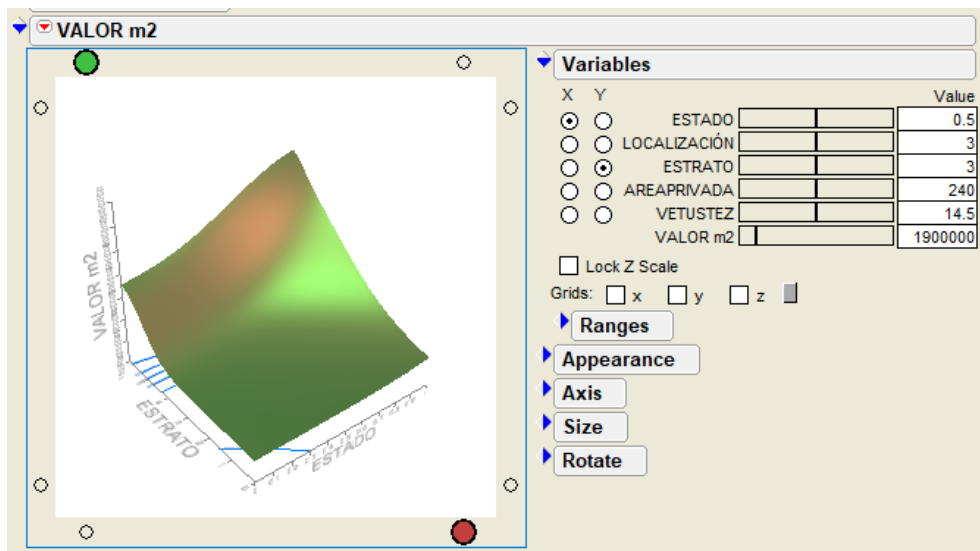


ILUSTRACIÓN 58. 3ER MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y LOCALIZACIÓN

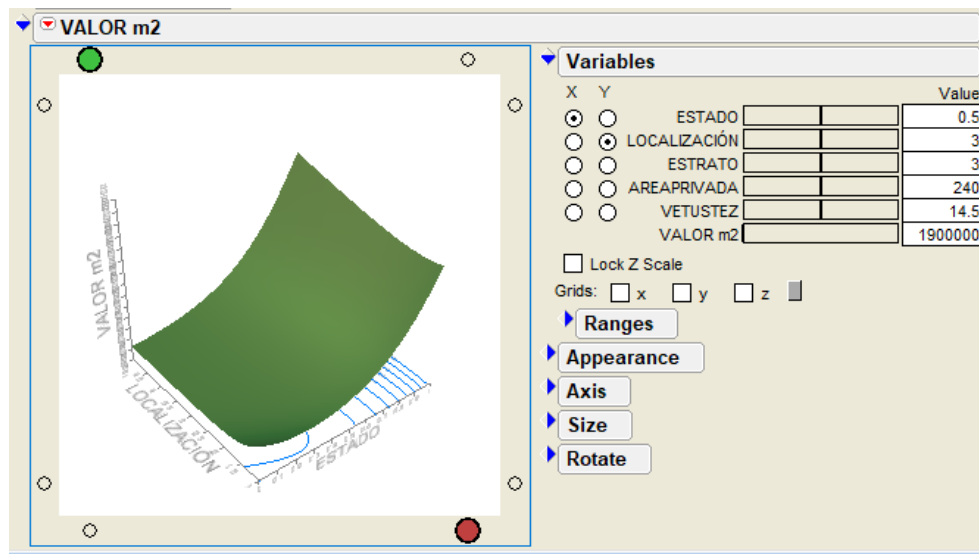
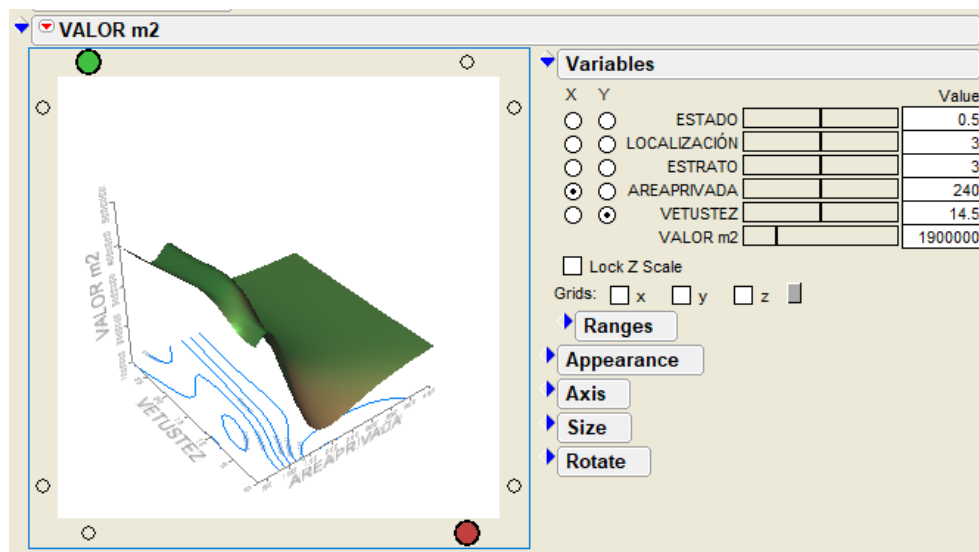


ILUSTRACIÓN 59. 3ER MODELO - VALOR M2 VS ÁREA PRIVADA Y VETUSTEZ



- La fórmula de la red obtenida en la cuarta modelación es: (esta se realiza intercambiando las bases de datos)

$$\begin{aligned}
 &((-4.1893612020895) + 2.59004024658635 * \text{Squish}((-6.27762989495974) + \\
 &2.54191071988628 * :Name("nuevo =1; usado=0") + 0.183481592726692 * \\
 &:Name("LOCALIZACIÓN") + -2.41451030413548 * :ESTRATO + \\
 &0.115017176591387 * :AREAPRIVADA + 0.0896572598117227 * \\
 &:VETUSTEZ) + 14.3988013171957 * \text{Squish}((-6.28924071102312) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &1.53672131751259 * :Name("nuevo =1; usado=0") + -0.0517822815317786 * \\
 &:Name("LOCALIZACIÓN") + -1.22196355732123 * :ESTRATO + \\
 &0.0171310457942128 * :AREAPRIVADA + 0.0450065516768669 * \\
 &:VETUSTEZ) + 0.577577023329423 * Squish((-2.05665859401089) + \\
 &1.77262765156487 * :Name("nuevo =1; usado=0") + 0.0617363464512316 * \\
 &:Name("LOCALIZACIÓN") + 0.40795368553895 * :ESTRATO + - \\
 &0.0106065236749151 * :AREAPRIVADA + 0.561434212776667 * \\
 &:VETUSTEZ) + -4.04870473237727 * Squish((-2.60769391396934) + \\
 &0.374958246430715 * :Name("nuevo =1; usado=0") + 0.123847322215246 * \\
 &:Name("LOCALIZACIÓN") + -1.79406550287946 * :ESTRATO + \\
 &0.0715044827681828 * :AREAPRIVADA + 0.0707093483173715 * \\
 &:VETUSTEZ) + 4.21045978459157 * Squish((-9.22749537058251) + - \\
 &0.364324082020546 * :Name("nuevo =1; usado=0") + 1.24399661223364 * \\
 &:Name("LOCALIZACIÓN") + 0.0623615596095553 * :ESTRATO + - \\
 &0.00549592999316182 * :AREAPRIVADA + -0.0342830131580742 * \\
 &:VETUSTEZ) + 4.13150665123903 * Squish(17.186253844737 + \\
 &1.27307058795039 * :Name("nuevo =1; usado=0") + -1.82046892567979 * \\
 &:Name("LOCALIZACIÓN") + -0.802887247891073 * :ESTRATO + \\
 &0.0133786131158568 * :AREAPRIVADA + 0.0214881912479144 * \\
 &:VETUSTEZ)) * 1088667.48580291 + 3449927.84040971
 \end{aligned}$$

Nuevamente Squish es un cálculo eficiente de la función $1/(1 + e^{-x})$, donde x es cualquier columna numérica, variable o expresión.

ILUSTRACIÓN 60. 4TO MODELO - VALOR M2 REAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED

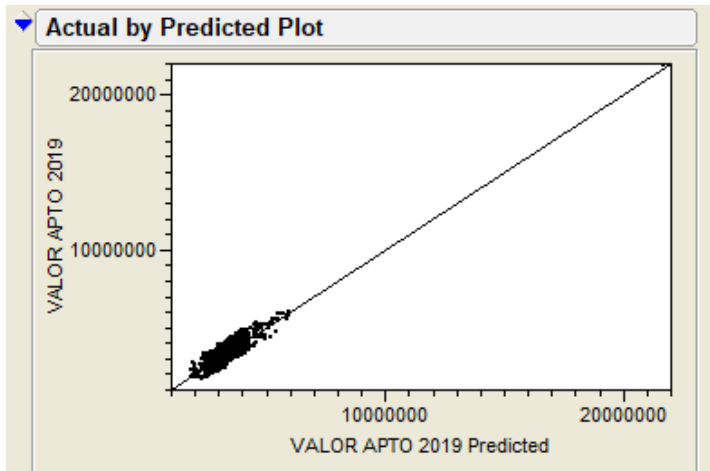
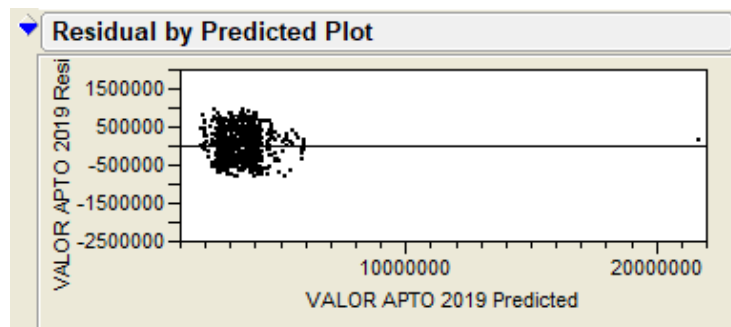


ILUSTRACIÓN 61. 4TO MODELO - VALOR M2 RESIDUAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED



La Grafica Prediction Profiler (Predicción de perfiles), muestra la predicción de perfiles de dos carreras de la plataforma de red neuronal, usando dos números diferentes de nodos ocultos. Para este caso, se toma como referencia el valor m^2 \$3,698,236.6; la gráfica muestra el comportamiento de cada una de las variables.

Si se analiza el comportamiento del Valor m^2 , de acuerdo con la variable Área Privada; observamos un comportamiento muy lineal.

Para la variable Estrato, se observa un decrecimiento del valor m^2 a medida que incrementa el estrato.

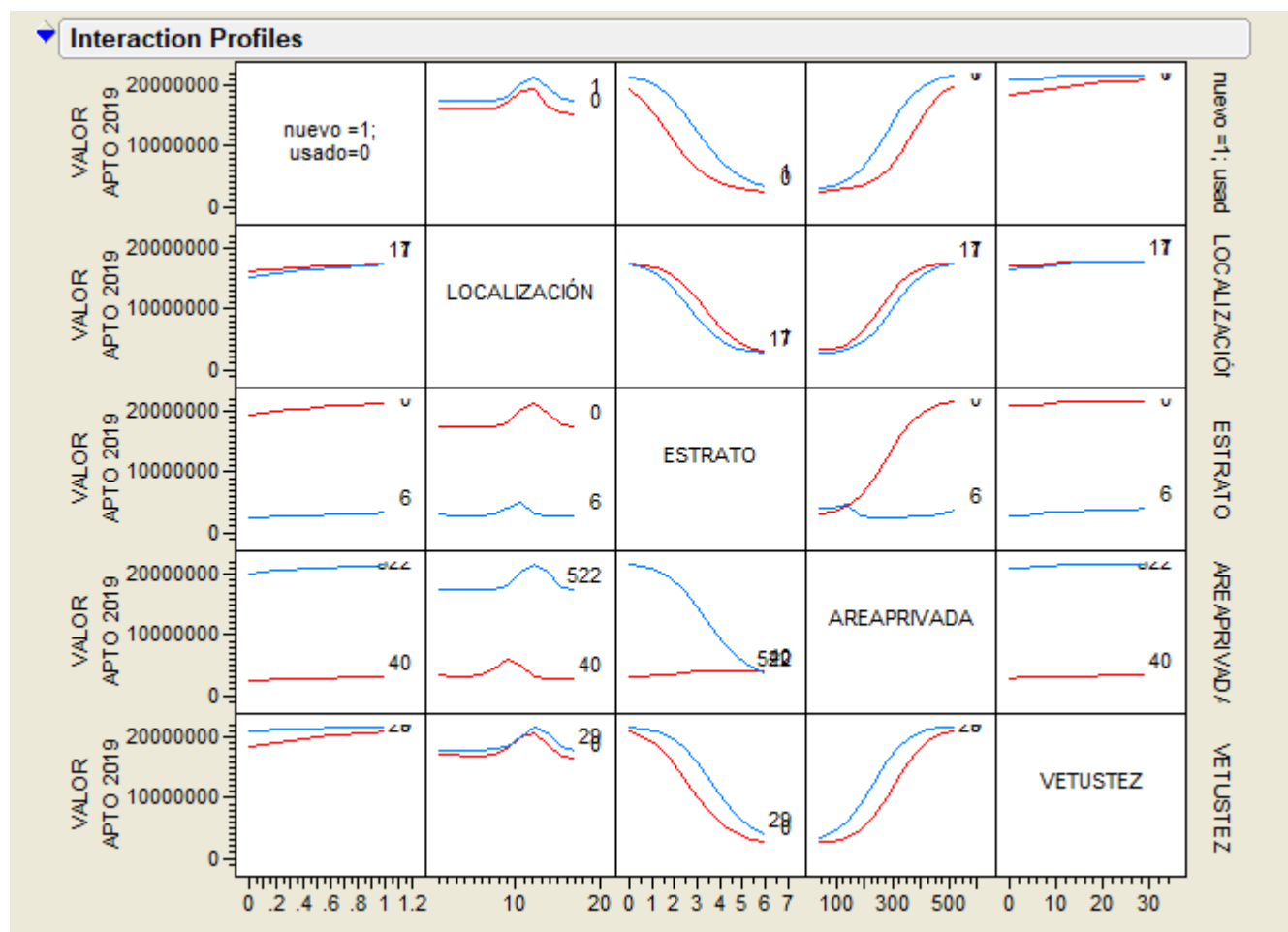
También se identifica un mayor valor m^2 para los apartamentos nuevos.

ILUSTRACIÓN 62. 4TO MODELO - PREDICCIÓN DE PERFILES



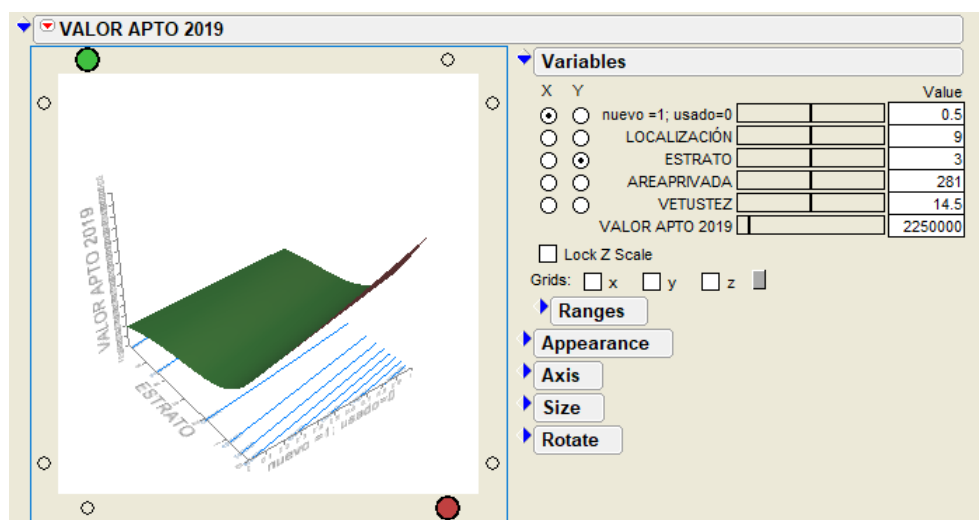
En la siguiente grafica denominada “Interaction Profiles”, podemos observar el comportamiento del valor m² para cada una de las interacciones entre las variables, tomando como base el mayor y menor valor para cada una de las variables.

ILUSTRACIÓN 63. 4TO MODELO - ITERACIÓN DE PERFILES



En las gráficas siguientes, se observa el comportamiento de Valor m², con referencia a dos de las variables utilizadas en el modelo.

ILUSTRACIÓN 64. 4TO MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y ESTRATO



Analizando la gráfica se observa que tienen mayor valor m² los inmuebles nuevos.

ILUSTRACIÓN 65. 4TO MODELO - VALOR M2 VS LOCALIZACIÓN Y VETUSTEZ

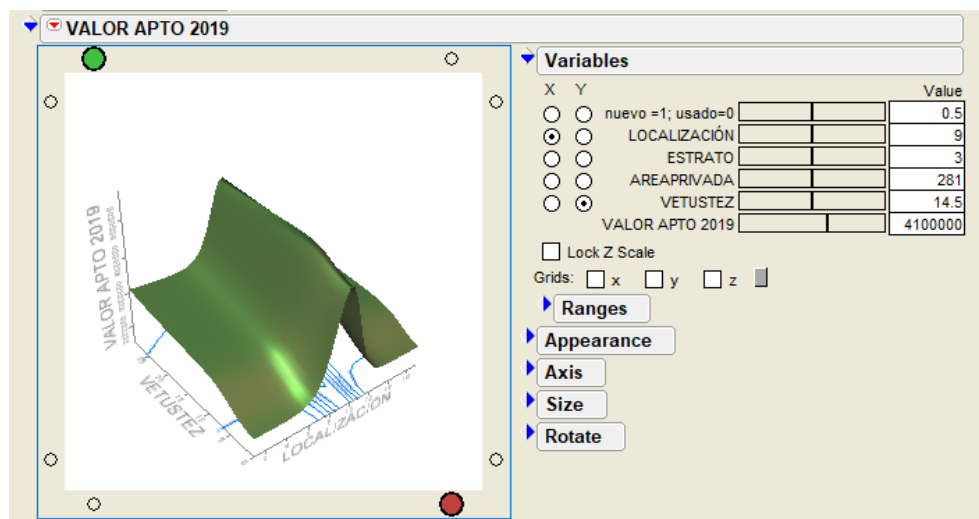


ILUSTRACIÓN 66. 4TO MODELO - VALOR M2 VS LOCALIZACIÓN Y ESTRATO

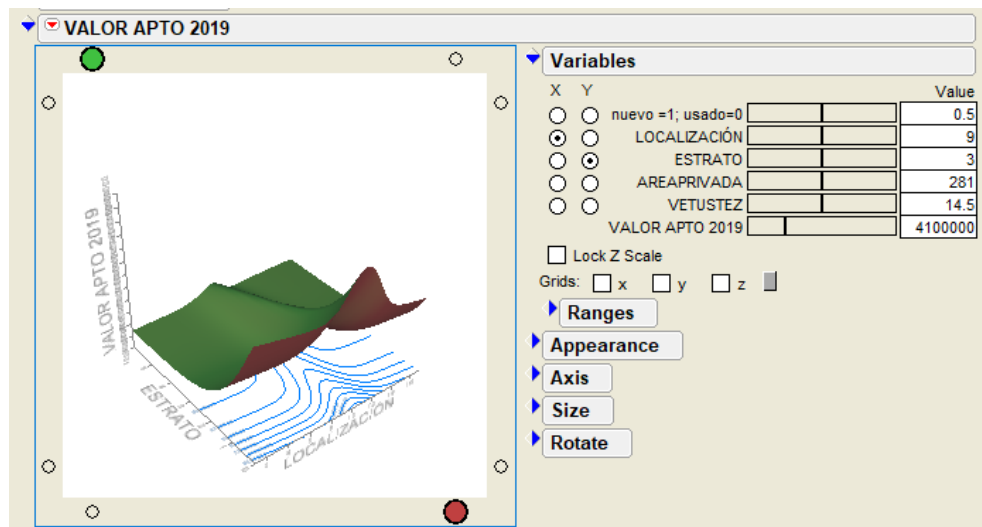


ILUSTRACIÓN 67. 4TO MODELO - VALOR M2 VS LOCALIZACIÓN Y ÁREA PRIVADA

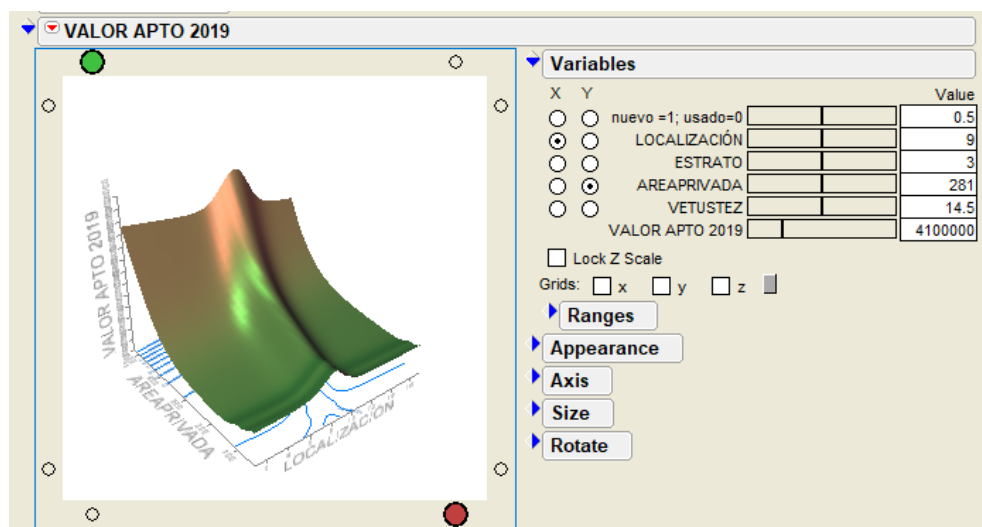


ILUSTRACIÓN 68. 4TO MODELO – VALOR M2 VS ESTRATO Y VETUSTEZ

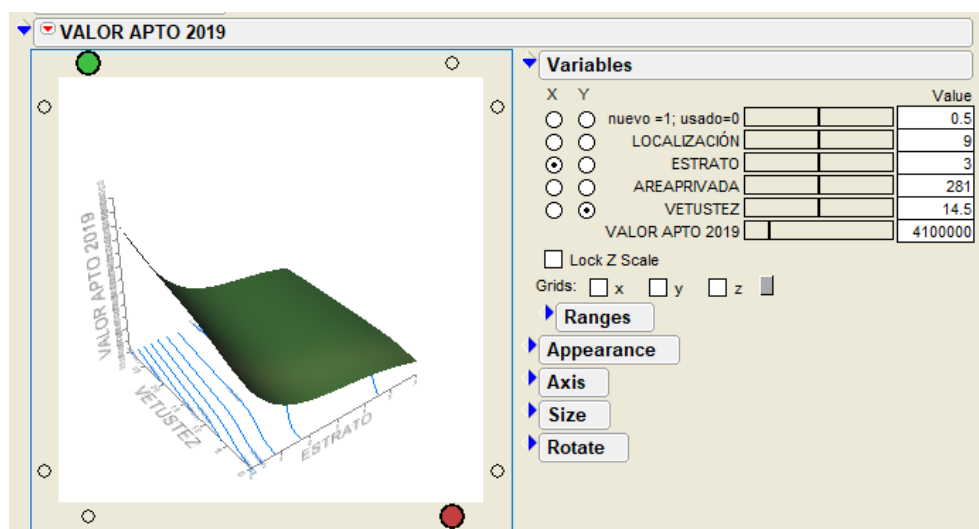


ILUSTRACIÓN 69. 4TO MODELO – VALOR M2 VS ESTRATO Y ÁREA PRIVADA

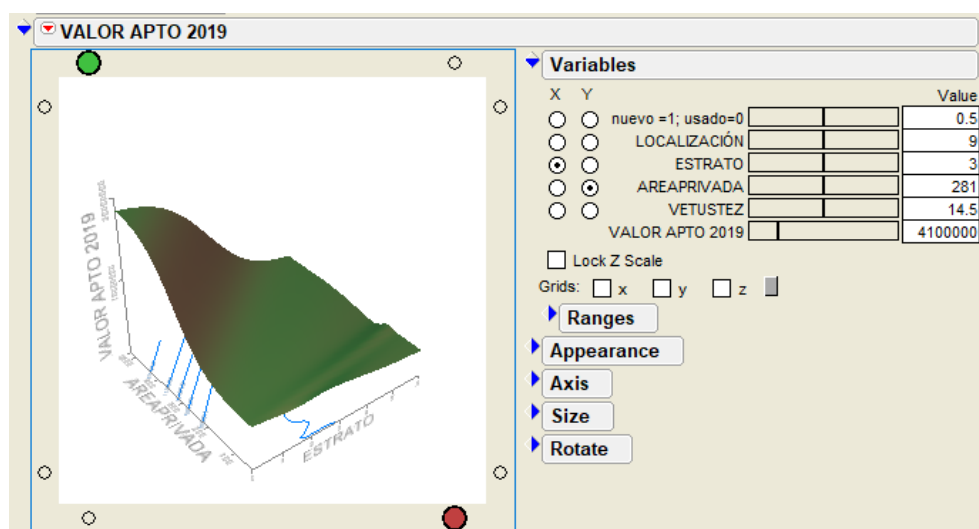


ILUSTRACIÓN 70. 4TO MODELO – VALOR M2 VS ESTADO Y VETUSTEZ

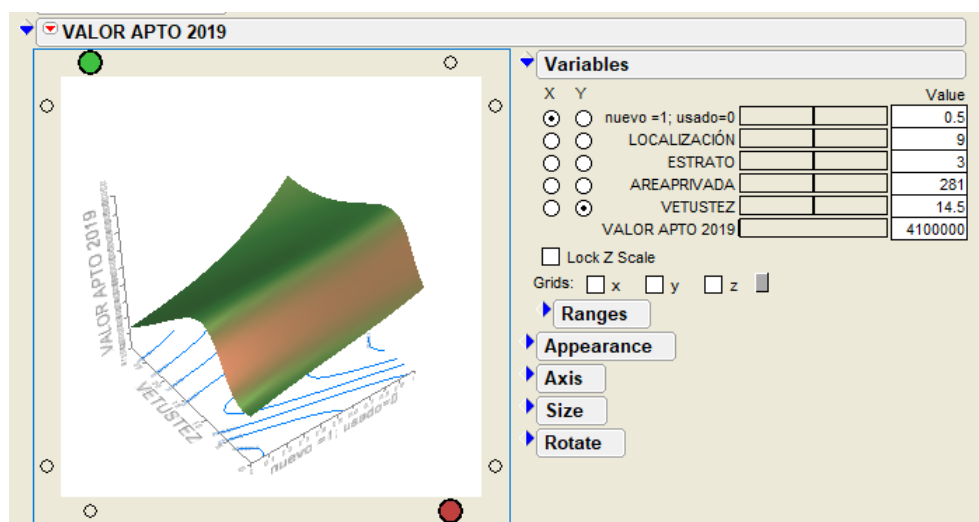


ILUSTRACIÓN 71. 4TO MODELO – VALOR M2 VS ESTADO Y ÁREA PRIVADA

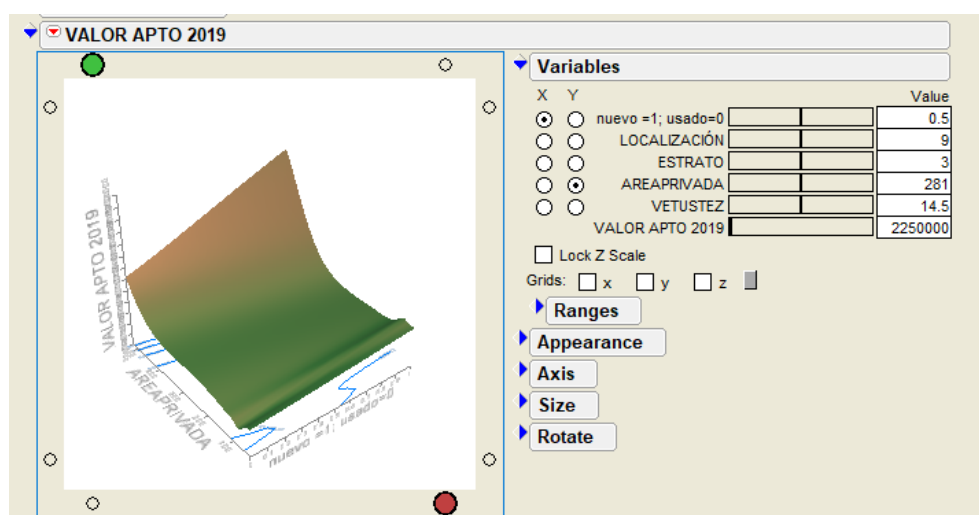


ILUSTRACIÓN 72. 4TO MODELO – VALOR M2 VS ÁREA PRIVADA Y VETUSTEZ

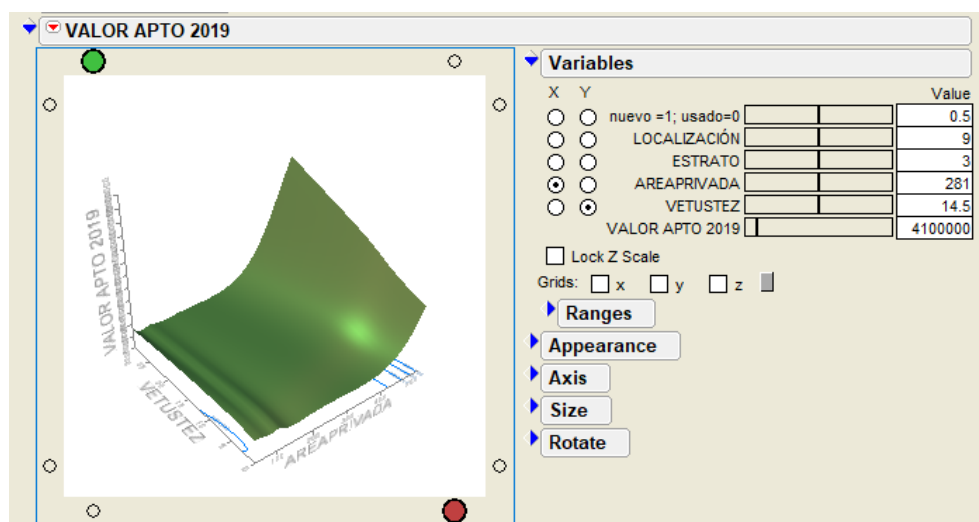
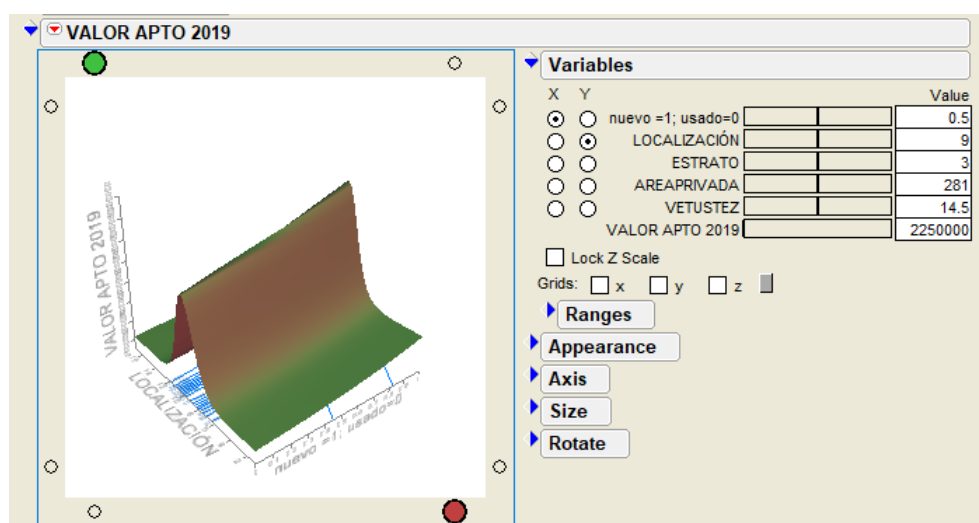


ILUSTRACIÓN 73. 4TO MODELO – VALOR M2 VS ESTADO Y LOCALIZACIÓN



Los mayores valores m² se encuentran en la localización 3, Barrios San Joaquín, La Castellana y Cuarta Brigada; se observa incremento del valor m² para inmuebles nuevos.

- La fórmula para la quinta modelación es: (esta se realiza intercambiando las bases de datos)

$$((-2.80904816782174) + 3.4437571575208 * \text{Squish}((-10.0447179825553)) + -0.421482238463796 * :Name("nuevo =1; usado=0")) + 0.67926286376836 *$$

```
:Name("LOCALIZACIÓN") + 3.00758437586678 * :ESTRATO + -
0.0288227713182284 * :AREAPRIVADA + -0.00290643734182264 *
:VETUSTEZ) + -1.90106155269584 * Squish(4.37105502701233 +
0.439607490745946 * :Name("nuevo =1; usado=0") + -0.290945238221383 *
:Name("LOCALIZACIÓN") + -0.481970820996685 * :ESTRATO + -
0.0226005682778736 * :AREAPRIVADA + 0.177581749884772 *
:VETUSTEZ) + 0.661778897866282 * Squish(29.8093586864373 +
0.731813583185108 * :Name("nuevo =1; usado=0") + -4.52298300417514 *
:Name("LOCALIZACIÓN") + -3.48880551617639 * :ESTRATO + -
0.0426163782160606 * :AREAPRIVADA + 0.435665314253781 *
:VETUSTEZ) + 2.03543977189063 * Squish(17.5511695016318 +
4.05262302855394 * :Name("nuevo =1; usado=0") + -1.74662562402004 *
:Name("LOCALIZACIÓN") + -5.6179241631509 * :ESTRATO +
0.066507023869263 * :AREAPRIVADA + 0.0448672147236692 *
:VETUSTEZ) + 2.30986392482798 * Squish(5.02319590319454 +
2.04916798186239 * :Name("nuevo =1; usado=0") + -0.196994387359899 *
:Name("LOCALIZACIÓN") + -0.598263659719277 * :ESTRATO + -
0.0201068972632632 * :AREAPRIVADA + -0.0391835519473179 *
:VETUSTEZ) + -1.40023881871969 * Squish((-5.78104072370611) +
2.93352968627062 * :Name("nuevo =1; usado=0") + 0.439101619574542 *
:Name("LOCALIZACIÓN") + 1.50086921333373 * :ESTRATO + -
0.00593303633828282 * :AREAPRIVADA + -0.358729706302196 *
:VETUSTEZ)) * 1193663.61255722 + 3426338.48632578
```

Nuevamente Squish es un cálculo eficiente de la función $1/(1 + e^{-x})$, donde x es cualquier columna numérica, variable o expresión.

ILUSTRACIÓN 74. 5TO MODELO - VALOR M2 REAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED

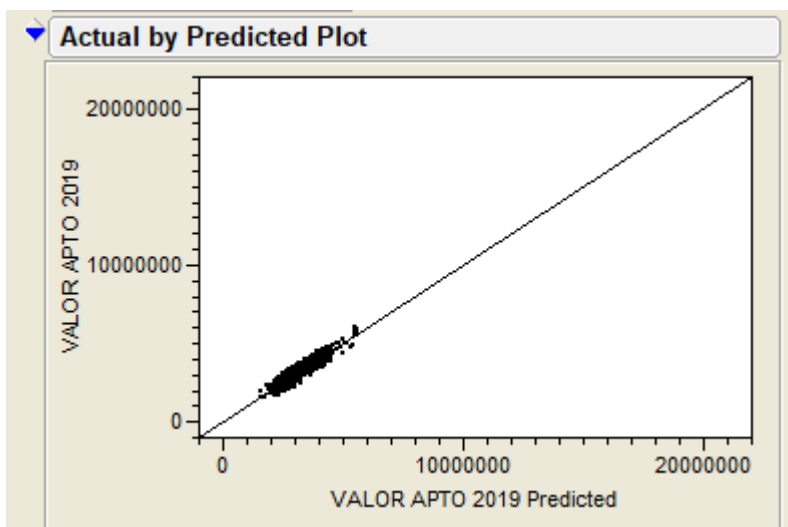
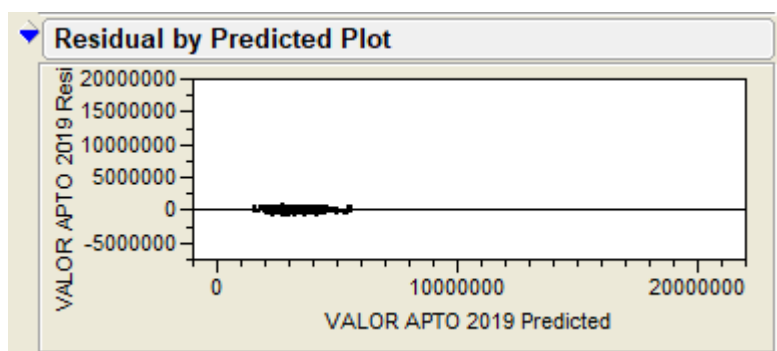


ILUSTRACIÓN 75. 5TO MODELO - VALOR M2 RESIDUAL VS VALOR M2 ESTIMADO POR LA RED

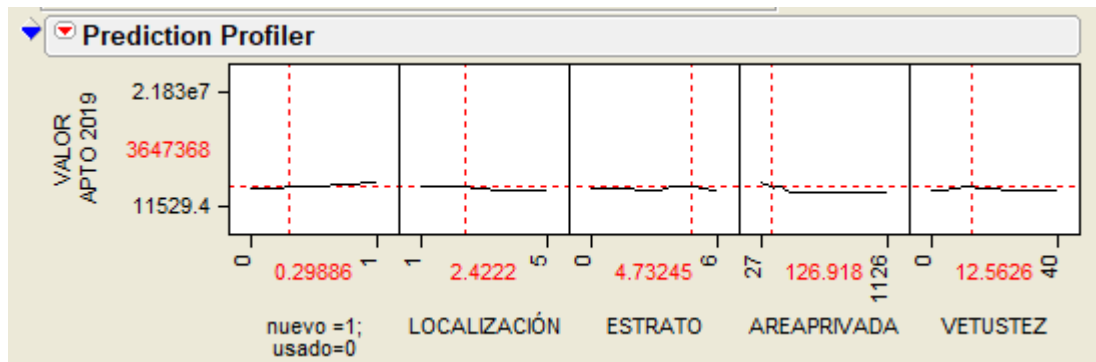


La Grafica Prediction Profiler (Predicción de perfiles), muestra la predicción de perfiles de dos carreras de la plataforma de red neuronal, usando dos números diferentes de nodos ocultos. Para este caso, se toma como referencia el valor m² \$3,698,236.6; la gráfica muestra el comportamiento de cada una de las variables.

Si se analiza el comportamiento del Valor m², de acuerdo con la variable Área Privada; el valor baja a medida que crece el área privada, estabilizándose a partir de 15 m² aproximadamente.

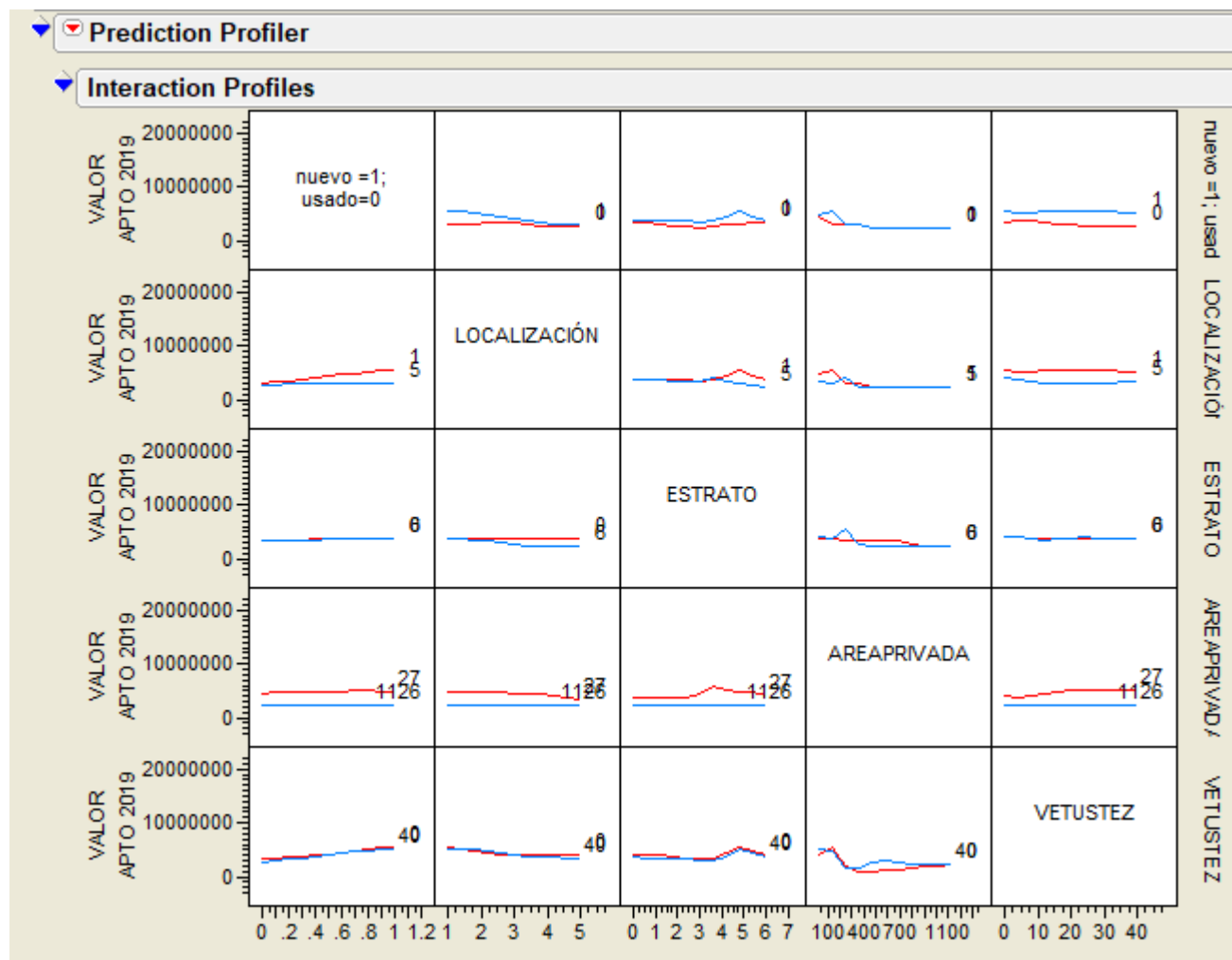
También se identifica un mayor valor m² para los apartamentos nuevos.

ILUSTRACIÓN 76. 5TO MODELO - PREDICCIÓN DE PERFILES



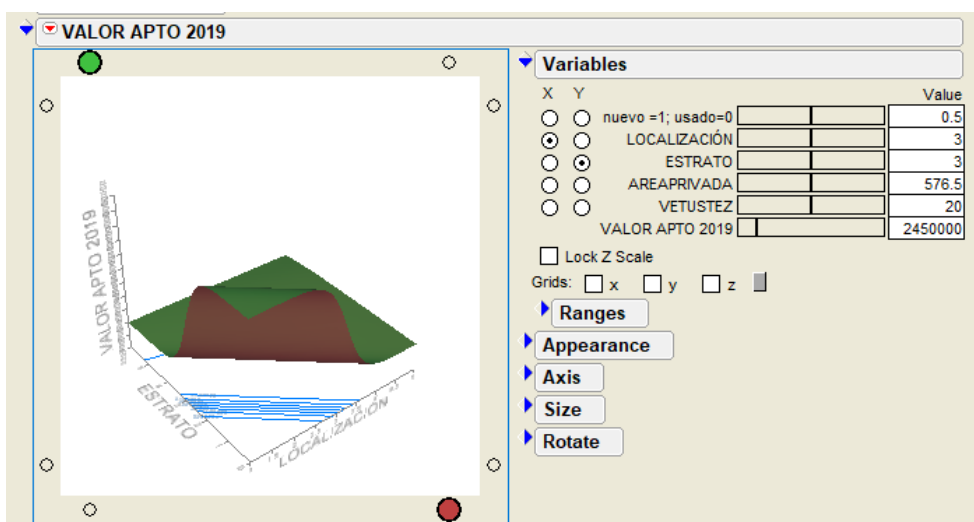
En la siguiente grafica denominada “Interaction Profiles”, podemos observar el comportamiento del valor m² para cada una de las interacciones entre las variables, tomando como base el mayor y menor valor para cada una de las variables.

ILUSTRACIÓN 77. 5TO MODELO - ITERACIÓN DE PERFILES



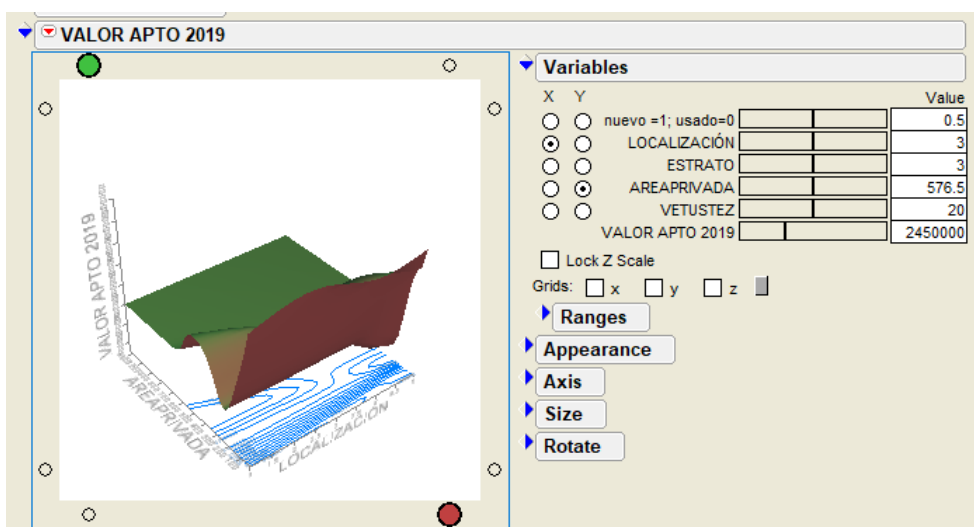
En las gráficas siguientes, se observa el comportamiento de Valor m², con referencia a dos de las variables utilizadas en el modelo.

ILUSTRACIÓN 78. 5TO MODELO - VALOR M2 VS LOCALIZACIÓN Y ESTRATO



En la gráfica anterior, se tienen mayores valores m² en los barrios Bolivariana (7), Laureles (8) y Velódromo (12), correspondientes al grupo con valor 1.

ILUSTRACIÓN 79. 5TO MODELO - VALOR M2 VS LOCALIZACIÓN Y ÁREA PRIVADA



Para esta gráfica, los valores m² más altos se tienen en Áreas Privadas pequeñas. Se observa además un incremento en el valor m² para Áreas Privadas mayores a 120 m².

ILUSTRACIÓN 80. 5TO MODELO - VALOR M2 VS ESTRATO Y VETUSTEZ

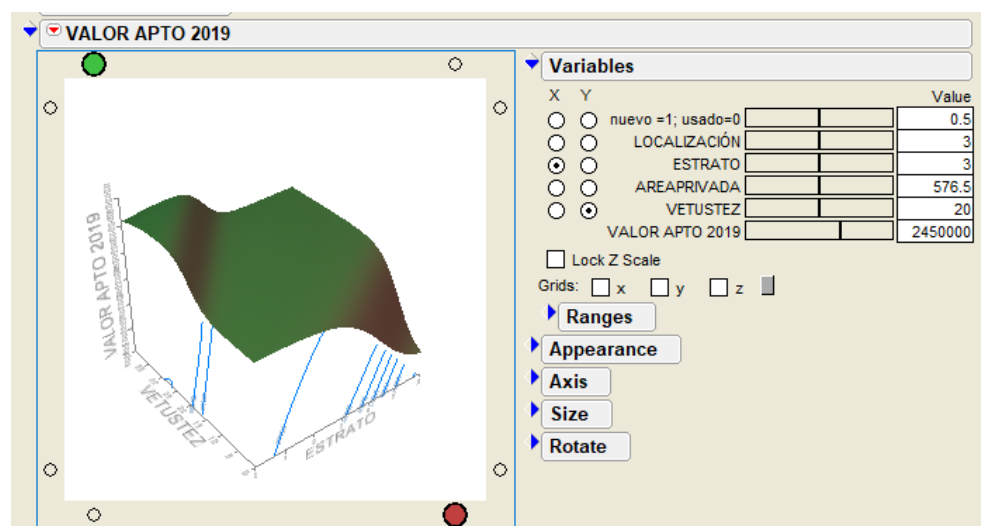


ILUSTRACIÓN 81. 5TO MODELO - VALOR M2 VS ESTRATO Y ÁREA PRIVADA

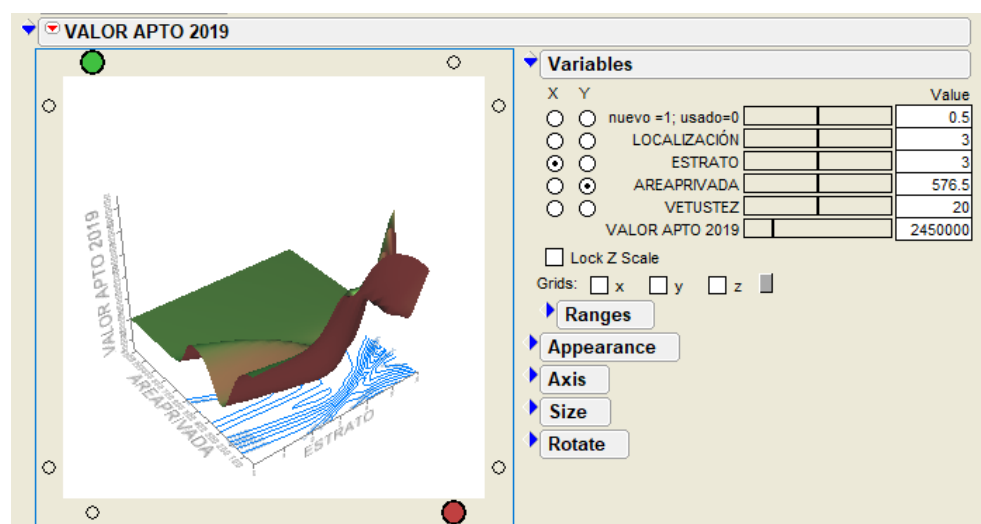


ILUSTRACIÓN 82. 5TO MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y VETUSTEZ

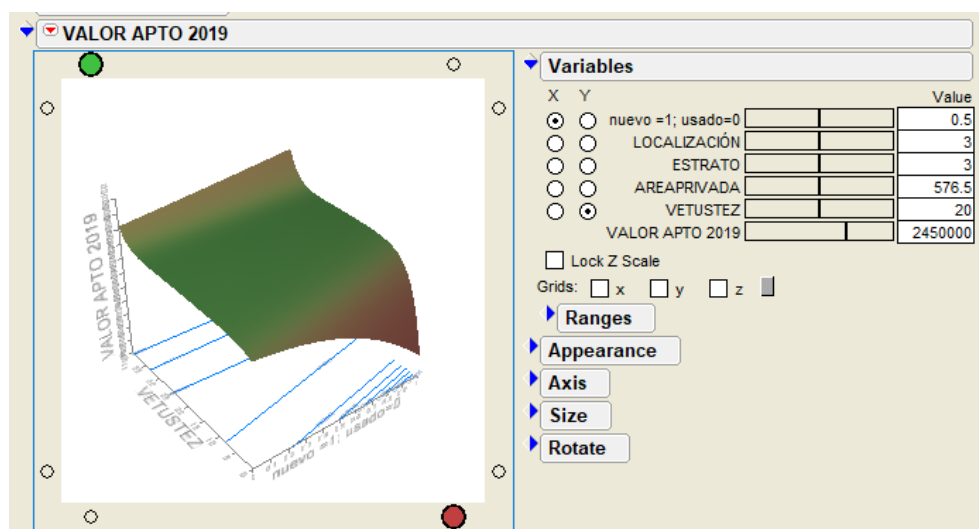


ILUSTRACIÓN 83. 5TO MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y LOCALIZACIÓN

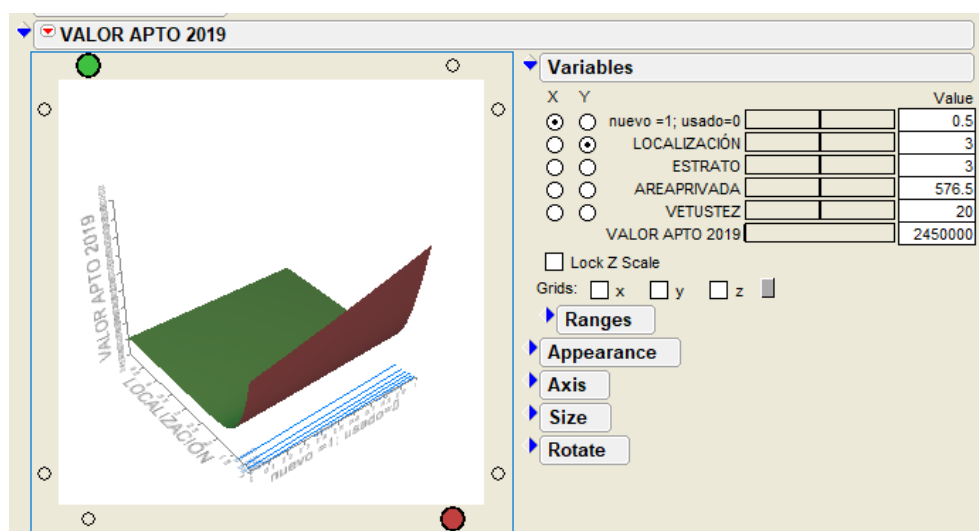


ILUSTRACIÓN 84. 5TO MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y ESTRATO

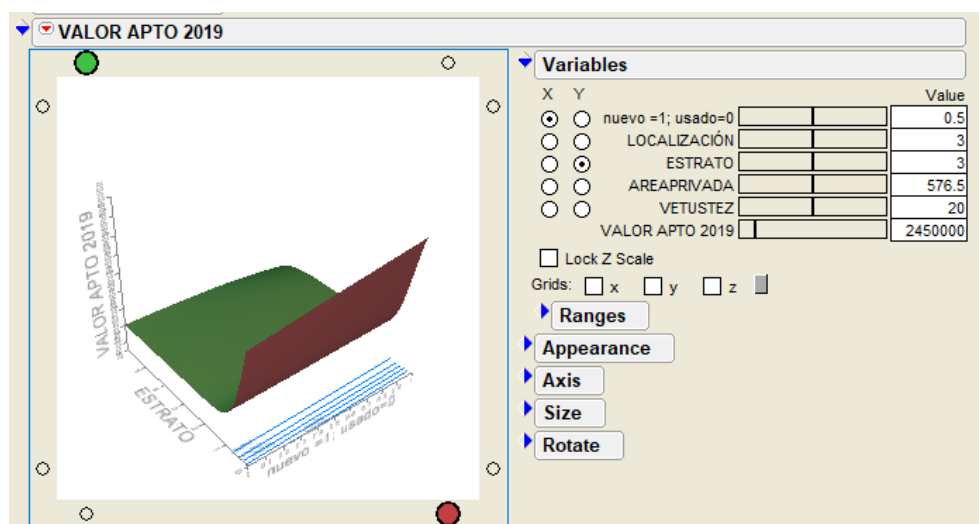
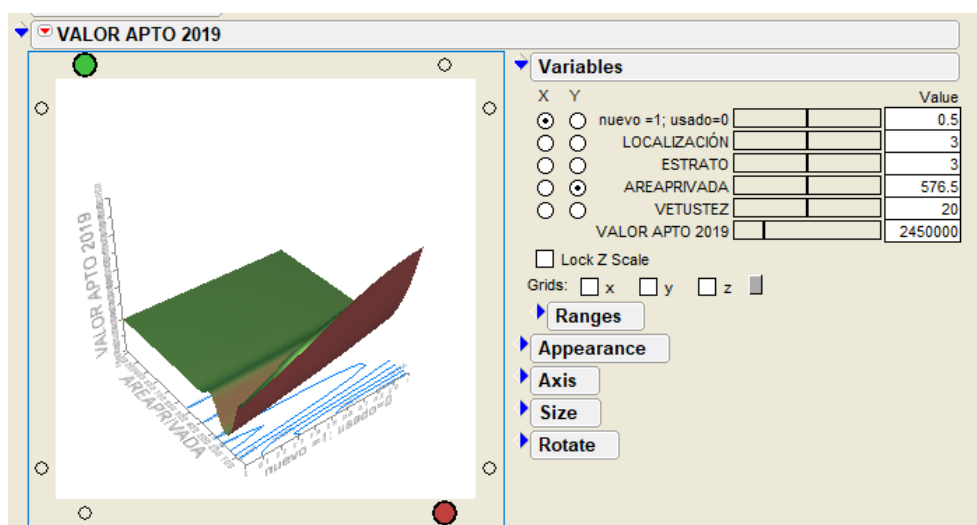


ILUSTRACIÓN 85. 5TO MODELO - VALOR M2 VS ESTADO Y ÁREA PRIVADA



Nuevamente, los valores m² más altos se tienen en Áreas Privadas pequeñas. Así mismo Valores m² más altos en inmuebles nuevos.

ILUSTRACIÓN 86. 5TO MODELO - VALOR M2 VS ÁREA PRIVADA Y VETUSTEZ

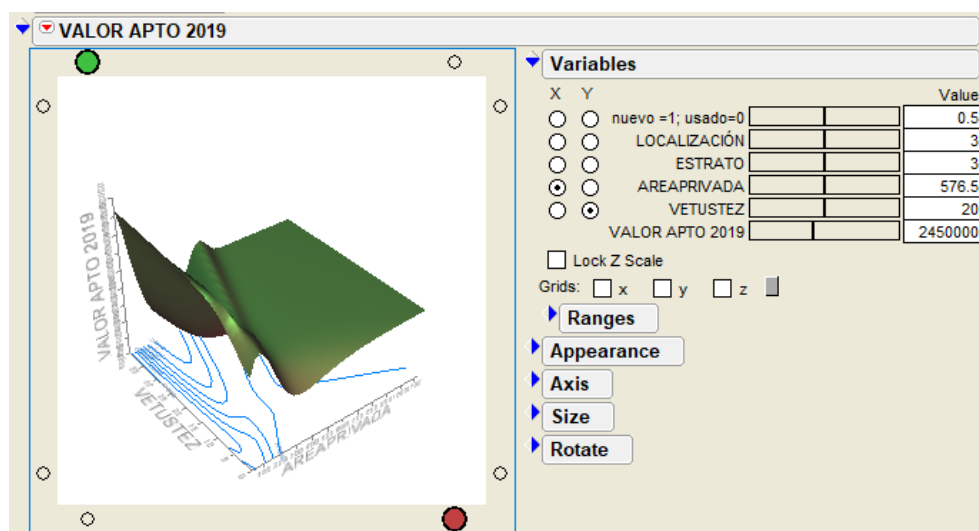
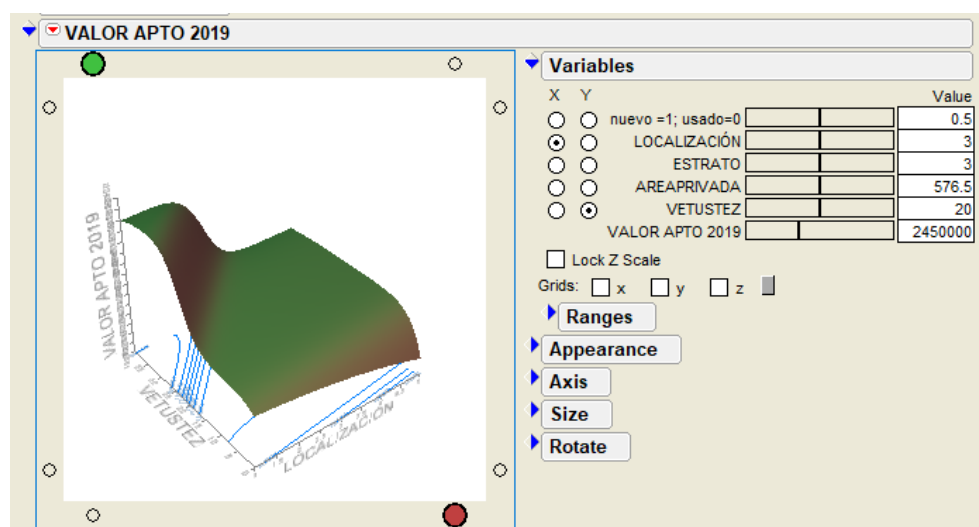


ILUSTRACIÓN 87. 5TO MODELO - VALOR M2 VS LOCALIZACIÓN Y VETUSTEZ



2.3.2 Método Analítico Jerárquico (AHP) – Multicriterio

Los resultados obtenidos por la metodología Multicriterio son los siguientes:

TABLA 49. RESULTADOS MULTICRITERIO

ÍTEM	BARRIO	DIRECCIÓN	VALOR m ² MUESTRA	VALOR m ² MULTICRITERIO RATIO MEDIO	VALOR m ² MULTICRITERIO RATIO GLOBAL	INDICE DE ADECUACIÓN RATIO MEDIO	INDICE DE ADECUACIÓN RATIO GLOBAL
1	CARLOS E. RESTREPO	CL 051 065 128 00312	\$ 3,921,141	\$ 2,302,881	\$ 2,303,636	29.02%	29.01%
2	SURAMERICANA	CL 049 065 045 0000	\$ 1,579,841	\$ 2,464,378	\$ 2,470,969	61.72%	61.64%
3	NARANJAL	CL 046 B 069 027 00201	\$ 2,689,520	\$ 2,631,990	\$ 2,594,546	61.28%	62.82%
4	SAN JOAQUIN	CR 069 042 A 040 00901	\$ 2,938,747	\$ 3,597,215	\$ 3,553,135	-39.56%	-27.59%
5	LOS CONQUISTADORES	CL 038 066 A 002 00702	\$ 3,311,635	\$ 3,411,857	\$ 3,418,447	6.91%	7.63%
6	BOLIVARIANA	CQ 003 073 038 00000	\$ 4,954,977	\$ 5,487,325	\$ 5,480,703	8.68%	8.17%
7	LAURELES	TV 039 A 070 011 00401	\$ 2,403,208	\$ 2,363,931	\$ 2,374,180	75.29%	75.62%
8	LAS ACACIAS	CL 033 AA 078 A 046 0701	\$ 4,555,345	\$ 4,348,776	\$ 4,271,697	15.97%	23.01%
9	LA CASTELLANA	CL 034 083 C 025 00206	\$ 2,870,138	\$ 2,358,261	\$ 2,361,006	28.85%	28.87%
10	LORENA	CL 042 080 B 034 00000	\$ 2,347,800	\$ 3,842,816	\$ 3,484,386	-85.63%	-85.01%
11	EL VELODROMO	CL 044 A 077 011 0201	\$ 2,136,061	\$ 2,704,414	\$ 2,676,873	18.15%	18.08%
12	EL ESTADIO	CR 077 B 048 C 054 00701	\$ 2,871,240	\$ 4,099,839	\$ 4,011,707	43.18%	44.69%
13	LOS COLORES	CR 078 A 054 050 0502	\$ 3,389,798	\$ 3,399,927	\$ 3,298,934	-65.62%	-61.25%
14	CUARTA BRIGADA	CR 071 A 051 A 075 00302	\$ 2,884,979	\$ 2,484,149	\$ 2,360,243	-432.17%	-339.19%
15	FLORIDA NUEVA	CR 072 044 A 013 00000	\$ 4,154,271	\$ 2,974,460	\$ 3,054,213	65.49%	67.24%

Se tienen índices de adecuación buenos para 5 inmuebles valorados (Suramericana, Naranjal, Laureles, El Estadio y Florida nueva; índices mayores a 0 en 6 inmuebles (Calos E. Restrepo, Los Conquistadores, Bolivariana, Las Acacias, La Castellana y el Velódromo); Índices inferiores a 0 en 4 inmuebles (San Joaquín, Lorena, Los Colores y Cuarta Brigada).

Si comparamos los valores calculados por el Método Multicriterio con los valores de las muestras, se observa que solo en 5 casos los valores son cercanos (Naranjal, Los Conquistadores, Laureles, Las Acacias y Los Colores). Si revisamos los índices de adecuación para cada muestra, tenemos adecuados para Naranjal y Laureles, Superiores a 0 en Los Conquistadores y Las Acacias e inferiores a 0 en Los Colores.

3. Conclusiones y Recomendaciones

3.1 Conclusiones

A partir de la aplicación del método de RNA y el método multicriterio se puede concluir que con la muestra de mercado obtenida del observatorio de Medellín desde el año 2017 hasta el 2019 y con las variables seleccionadas para desarrollar el método RNA (área privada, estado, estrato socioeconómico, vetustez, localización y barrio) y el método multicriterio (entorno, características del edificio, características de la vivienda, localización, estado, vetustez, superficie, estrato socioeconómico, cuarto útil y parqueadero) que el método que tiene mayor asertividad para determinar los valores integrales de mercado en la comuna 11 - laureles es el método RNA.

El desarrollo de este trabajo llevo a cabo la ejecución de cinco modelos de RNA, el que mayor asertividad tuvo fue el modelo cuatro, el cual incluye las variables estado, estrato, área privada, vetustez y barrio; esto se establece a partir del R^2 de 86.34%. inicialmente los modelos se ejecutaron sin la variable localización, sin embargo, se puede asegurar que una vez la variable localización fue incluida en la modelación, el R^2 tuvo un incremento significativo.

Consideramos que la cantidad de variables utilizadas para el método multicriterio fueron limitadas, lo que lleva a un resultado de investigación sesgado. Para los datos implementados se concluye que luego de comparar los valores integrales reales y los obtenidos por el método multicriterio, los valores más cercanos a los reales no corresponden a los índices de adecuación más alto, lo que genera una inconsistencia en las variables utilizadas en este método.

Luego de ejecutar ambos métodos, se establece que de las variables explicativas seleccionadas la que tiene mayor grado de significancia para la determinación de valor integral por m² es el área privada.

3.2 Recomendaciones

Es indispensable comprender el mercado inmobiliario, tener un buen manejo del software de redes neuronales artificiales y conocer el desarrollo del método multicriterio.

Para definir los valores de mercado se debe hacer uso de una fuente confiable como el observatorio inmobiliario de Medellín, sin embargo, es indispensable realizar la depuración de la información de los datos de mercado recolectados antes de ejecutar los métodos propuestos en este trabajo, hay que tener en cuenta que existen valores que incrementan el sesgo, valores atípicos pueden alterar los resultados obtenidos, por lo que se recomienda excluirllos de la muestra de mercado.

Adicionalmente se hace necesario conocer el sector al que se aplicaran los métodos, con el fin de saber identificar los datos atípicos de la muestra.

4. Bibliografía

¿Qué es el mercado inmobiliario? | Realia. (n.d.). Retrieved January 11, 2020, from <https://www.realia.es/que-es-mercado-inmobiliario>

| Banco de la República (banco central de Colombia). (n.d.). Retrieved January 11, 2020, from <https://www.banrep.gov.co/es/contenidos/page/qu-inflacion>
<https://www.redalyc.org/pdf/755/75507104.pdf><https://pdfs.semanticscholar.org/d909/8fe3b0620bb9491f6f7c41f71e1306219869.pdf>

Bellver, J. A., González, R., Francisco, M., Martínez, G., Perales, A. A. L., López, A. A., ... Aplicaciones, Y. (2012). *VALORACIÓN INMOBILIARIA. MÉTODOS Y APLICACIONES (ESPAÑA E IBEROAMÉRICA)* EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA *VALORACIÓN INMOBILIARIA VALORACIÓN INMOBILIARIA. MÉTODOS Y APLICACIONES (ESPAÑA E IBEROAMÉRICA)*. Retrieved from www.editorial.upv.es

Bellver, J. A., & Guijarro Martínez, F. (n.d.). *NUEVOS MÉTODOS DE VALORACIÓN MODELOS MULTICRITERIO*. Retrieved from [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/19181/nuevos Métodos de dvaloración - 20modelos multicriterio.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/19181/nuevos_Métodos_de_valoración_20modelos_multicriterio.pdf?sequence=1)

Bibliografía Recomendada: Comuna 11 de Medellín «Hemeroteca - Biblioteca Pública Piloto. (2013). Retrieved January 11, 2020, from <https://hemerotecabpp.wordpress.com/2013/07/03/bibliografia-recomendada-comuna-11-de-medellin/>

Breve Historia de las Redes Neuronales Artificiales | Aprende Machine Learning. (2018). Retrieved July 15, 2019, from <https://www.aprendemachinellearning.com/breve-historia-de-las-redes-neuronales-artificiales/>

CAPÍTULO 2 HERRAMIENTAS DE EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN: REDES

NEURONALES. (n.d.). Retrieved from

https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1455/3.CAPITULO_2.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Caridad, J. ., & Villamandos, N. . (2001). *Un análisis del ,ercado de la vivienda a través de redes neuronales artificiales*. 67–81. Retrieved from file:///C:/Users/Laura Restrepo/Downloads/Dialnet-UnAnalisisDelMercadoDeLaViviendaATravesDeRedesNeur-1218288.pdf

Caridad, J. ., & Villamandos, N. . (2004). *Revista de Estudios Regionales*. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75507104>

De, C., Ubicados, I., La, E. N., De, Z., Antonio, L., Gómez, C., ... Romero, S. (2017). *FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL PROPUESTA DE NUEVO MÉTODOS PARA ESTIMAR EL VALOR "MESA REDONDA" (CERCADO DE LIMA) COMO APORTE AL REGLAMENTO NACIONAL DE TASACIONES-2017 PRESENTADA POR PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL*. Retrieved from http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/usmp/3127/1/carrasco_martel.pdf

de Proveedores Toskano Hurtado, S., & Bruno, G. (n.d.). *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la*.

Desarrollo Sostenible Y Ley de Desarrollo Territorial. (n.d.).

Desormeaux, D., & Piguillem, F. (2003). *Precios Hedónicos e Índices de Precios de Viviendas*. Retrieved from <http://biblioteca.cchc.cl/DataFiles/19010.pdf>

DICCIONARIO INMOBILIARIO A. (n.d.).

Emilcen, A., & Fajardo, C. (2014). *Propuesta Metodológica para Calcular el Avalúo Catastral de un Predio Utilizando Redes Neuronales Artificiales*. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/49434/1/51964148.2015.pdf.pdf>

Factores económicos que influyen en el mercado inmobiliario. (2018). Retrieved January 11, 2020, from <https://www.metrocubicos.com/articulo/busqueda-de->

inmuebles/2018/02/21/factores-economicos-que-influyen-en-el-mercado-inmobiliario

García Almirall, M. P. (2007). *Introducción a la Valoración Inmobiliaria*.

González Alonso, J., & Pérez González, Y. (2015). Análisis de las revistas latinoamericanas de Acceso Abierto: el caso Ecuador. In *Revista Publicando* (Vol. 4). Retrieved from https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/290/pdf_339

GUADALAJARA OLMEDA, N. (2014): Métodos de valoración inmobiliaria. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Sistema Gestión de Calidad Certificado. (2008).

Introducción a las redes neuronales aplicadas Conceptos básicos. (n.d.).

Izaurieta, F., & Saavedra, C. (n.d.). *Redes Neuronales Artificiales*. Retrieved from https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36957207/Redes_neuronales.pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DRedes_Neuronales_Artificiales.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190715%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20190715T053618Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=bf26b340c18c90b6f54f6709c63b8ec61d7b6178fdb55445ddf4d7be7f33a9de

La Valoración Inmobiliaria - Google Libros. (2005). Retrieved January 11, 2020, from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3MhkqKVc8bcC&oi=fnd&pg=PA1940&dq=valoracion+inmobiliaria&ots=b6-ATUeGKZ&sig=kbo86H7X77UWd3mGg2MHPVheyxc#v=onepage&q=valoracion+inmobiliaria&f=false>

Lenguaje Inmobiliario | Casas y Negocios. (n.d.). Retrieved January 11, 2020, from <https://casasynegocios.co/lenguaje-inmobiliario/>

LEY 1673 DE 2013. (2013).

Lever, G. (n.d.). *EL MODELO DE PRECIOS HEDONICOS*. Retrieved from

<http://www.ucipfg.com/Repositorio/MAES/PED/Semana4/PreciosHedonicos.pdf>

Matich, D. J. (2001). *Redes Neuronales: conceptos básicos y aplicaciones*. Retrieved from file:///C:/Users/Laura Restrepo/Downloads/matich-redesneuronales.pdf

Modelo AHP: toma de decisiones mediante su desglose : PDCA Home. (n.d.). Retrieved January 11, 2020, from <https://www.pdcahome.com/planificacion/modelo-ahp-toma-de-decisiones-mediante-su-desglose/>

Oferta y demanda - Enciclopedia | Banrepcultural. (n.d.). Retrieved January 11, 2020, from https://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php/Oferta_y_demanda

Olabe, X. B. (n.d.). *REDES NEURONALES ARTIFICIALES Y SUS APLICACIONES*. Retrieved from https://ocw.ehu.eus/file.php/102/redes_neuro/contenidos/pdf/libro-del-curso.pdf

Pol, P., Moreno, A. *, M., & Palmer, A. (1999). ¿Qué son las redes neuronales artificiales? Aplicaciones realizadas en el ámbito de las adicciones. In *ADICCIONES* (Vol. 11).

Redes Neuronales Artificiales y Deep Learning, explicado para dummies. (n.d.). Retrieved January 11, 2020, from <https://blog.enzymeadvisinggroup.com/redes-neuronales-artificiales-y-deep-learning>

Resolución Número 0070 de 2011. (2011).

Rey Carmona, F. J. (2014). *Alternativas determinantes en valoración de inmuebles urbanos*. Retrieved from <https://helvia.uco.es/handle/10396/12473>

Rosen, S. (1974). *Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition*. Retrieved from <http://www.journals.uchicago.edu/t-and-c>

Tabales, J. N., Ocerin, J. M. C. y, Villamondos, N. C., & Jiménez, A. M. F. (2009). Estimación del precio de la vivienda mediante redes neuronales artificiales (RNA) en diferentes marcos temporales. *Metodología de Encuestas*, 11(1), 79–101. Retrieved from <http://casus.usal.es/pkp/index.php/MdE/article/view/994>

Ventajas de las redes neuronales - Inteligencia Artificial. (n.d.). Retrieved January 11, 2020, from <https://sites.google.com/site/proyecto inteligencia artificial/indice/las-redes-neuronales/ventajas-de-las-redes-neuronales>