



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

“Variables explicativas para la predicción del valor comercial en el sector habitacional mediante redes neuronales artificiales y métodos multicriterio”

Tesis

Que como parte de los requisitos para
obtener el Grado de

Maestro en Valuación de Bienes

Presenta

Anaisabel Olvera Alacio

Dirigido por

Dr. José Gabriel Ríos Moreno

Querétaro, Qro. a 15 de octubre del 2021



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Valuación de Bienes

“Variables explicativas para la predicción del valor comercial en el sector habitacional mediante redes neuronales artificiales y métodos multicriterio”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Maestro en Valuación de Bienes

Presenta

Anaisabel Olvera Alacio

Dirigido por

Dr. José Gabriel Ríos Moreno

Dr. José Gabriel Ríos Moreno
Presidente

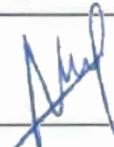
Dr. Mario Trejo Perea
Secretario

M.C. Verónica Leyva Picazo
Vocal

Dr. José Manuel Álvarez Alvarado
Suplente

M.V.B. Wendy Alejandra Quintas Frías
Suplente


Firma


Firma


Firma


Firma


Firma

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario (julio 2021)
México

RESUMEN

La valuación inmobiliaria consiste en la estimación del valor de un inmueble a través del análisis de variables como ubicación, superficie de terreno, superficie de construcción, ubicación dentro de la manzana, así como atractivo visual y calidad de proyecto; entre otras. La consideración de diversos datos cuantitativos y cualitativos hacen que la estimación sea compleja y un tanto subjetiva, por lo que el objetivo de esta investigación es determinar las variables explicativas del valor comercial en el sector habitacional y disminuir la subjetividad en el proceso de homologación para estimar valores más precisos de los inmuebles. Se utilizaron los métodos multicriterio proceso analítico jerárquico (AHP) y programación por metas extendida (GP extendida) para seleccionar las variables explicativas. Se encontró que las variables más valoradas son seguridad (14.07%), superficie de construcción (10.57%), superficie de terreno (10.46%) y amenidades (7.65%). Estas variables se aplicaron en una red neuronal artificial (RNA) multicapa de propagación hacia atrás para predecir el precio de propiedades muestra. Cuando los inmuebles se ubicaron en la misma zona, Juriquilla, Querétaro, el error absoluto medio del modelo fue 8,523.238 MXN (0.284%) y el coeficiente de determinación (R^2) 0.9994; mientras que cuando las muestras fueron de diferentes zonas en Querétaro el error absoluto medio fue 11,598.022 MXN (0.492%) y el coeficiente de determinación 0.9974. Estos resultados muestran un buen ajuste a los precios de mercado. También se comparó la capacidad de predicción de la RNA respecto al método de mercado por homologación mediante la estimación del comparable 9 por ser el mayor error del modelo con propiedades en Juriquilla. La valuación de la RNA fue más precisa en relación con el precio de oferta, ya que la propiedad se subvaluó por 42,992.536 MXN, mientras que en el método de mercado por 82,358.94 MXN. Así, mediante la valuación por RNA el vendedor obtendría una mayor ganancia y el comprador adquiriría la propiedad en un valor acorde al mercado ya que los resultados muestran que con el modelo se obtienen valores cercanos a los precios de oferta.

Palabras clave: valuación de inmuebles, valor comercial, redes neuronales artificiales, proceso analítico jerárquico, programación por metas, métodos multicriterio

ABSTRACT

Real estate appraisal can be defined as the estimation of the price of a property. This involves the analysis of variables such as location, plot area, built up area, location within the block, as well as qualitative variables like visual appeal and quality of the project, among others. The consideration of different types of quantitative and qualitative data makes the valuation complex and somewhat subjective, so the objective of this research is to determine the explanatory variables of the market value in the housing sector and reduce the subjectivity of the sales comparison process to estimate real estate values with more precision. The analytic hierarchy process (AHP) and extended goal programming (extended GP) multicriteria methods were used for the selection of the explanatory variables. It was found that the most valued variables are security (14.07%), built up area (10.57%), plot area (10.46%) and amenities (7.65%). These variables were applied in a multilayer backpropagation artificial neural network (ANN) to predict the price of sample properties. When the properties were located in the same area, Juriquilla, Querétaro, the mean absolute error of the model was 8,523,238 MXN (0.284%) and the coefficient of determination (R^2) 0.9994; while when the samples were from different areas in Querétaro, the mean absolute error was 11,598,022 MXN (0.492%) and the coefficient of determination 0.9974. These results show a good fit to the market prices. The predictive ability of the ANN was also compared to the sales comparison method by estimating the price of property 9 as it was the largest error in the model with properties in Juriquilla. The ANN's appraisal was lower by 42,992,536 MXN and the sales comparison method by 82,358.94 MXN, so the ANN was more accurate in relation to the offered price. Thus, through the ANN appraisal the seller would obtain a higher profit and the buyer would get the property at a value according to the market since the results show that the model estimates values close to the offered prices.

Key words: real estate appraisal, market value, artificial neural networks, analytic hierarchy process, goal programming, multicriteria methods

DEDICATORIA

A mi familia, por los logros que juntos hemos alcanzado.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera muy especial a mi esposo y a mi familia por su apoyo incondicional y constante motivación.

A mi director de tesis, el Dr. José Gabriel Ríos Moreno, por sus valiosos consejos y retroalimentaciones. A los doctores y maestros que contribuyeron con sus conocimientos y experiencia en mi formación académica y profesional, así como por su asesoría para llevar a cabo este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) del Gobierno de México y a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) por la beca recibida para realizar esta investigación.

A mis compañeros y colegas por su solidaridad.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Antecedentes	10
1.1.1 La valuación de bienes inmuebles	10
1.1.2 El desarrollo inmobiliario en Querétaro	12
1.2 Planteamiento del problema	13
1.3 Hipótesis	15
1.4 Objetivos	15
2. MARCO DE REFERENCIA	16
2.1 Métodos de valuación de inmuebles	16
2.2 Variables explicativas del valor	16
2.3 Métodos multicriterio: Proceso analítico jerárquico y programación por metas extendida (AHP + GP extendida)	18
2.4 Redes Neuronales Artificiales (RNA)	22
2.4.1 Clasificación de las RNA	22
2.4.2 Ventajas de las RNA	23
3. METODOLOGÍA	24
3.1 Recopilación de información	24
3.2 Identificación de las variables explicativas del valor	25
3.2.1 Características de la vivienda de calidad de acuerdo con la ley de vivienda	25
3.2.2 Características de las viviendas según INEGI	25
3.2.3 Características de una vivienda residencial determinadas por el gobierno de Querétaro	27
3.2.4 Variables explicativas del valor en el sector habitacional medio según las personas encuestadas	29
3.2.5 Clasificación de las variables explicativas del valor	32
3.3 Ponderación y selección de variables mediante el método multicriterio AHP + GP extendida	33
3.3.1 Ponderación de variables mediante AHP	34

3.3.2 Agrupación de opiniones mediante GP extendida	45
3.4 Estudio de mercado	47
3.5 Estimación de los valores de oferta mediante RNA	49
3.6 Validación del modelo de RNA	52
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1 Variables explicativas del valor comercial en el sector habitacional	56
4.2 Predicción de los valores de oferta por RNA	58
4.3 Comportamiento del modelo de RNA en otras zonas de Querétaro	64
5. CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS	70
ANEXO 1	75
ANEXO 2	76

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de métodos de valuación de inmuebles.	16
Tabla 2. Escala fundamental de Saaty.	18
Tabla 3. Consideraciones, según INEGI, de las viviendas particulares.	26
Tabla 4. Las viviendas de tipo residencial medio en Querétaro.	27
Tabla 5. Variables explicativas del valor según los propietarios.	30
Tabla 6. Variables explicativas del valor según los potenciales compradores.	30
Tabla 7. Variables explicativas del valor según los arquitectos/constructores.	30
Tabla 8. Variables explicativas del valor según los valuadores de bienes inmuebles.	30
Tabla 9. Variables explicativas del valor según los asesores inmobiliarios.	31
Tabla 10. Categorías de las variables explicativas.	32
Tabla 11. Matriz de comparación pareada del propietario 1.	34
Tabla 12. Matriz de comparación pareada del propietario 2.	35
Tabla 13. Matriz de comparación pareada del propietario 3.	35
Tabla 14. Matriz de comparación pareada del potencial comprador 1.	36
Tabla 15. Matriz de comparación pareada del potencial comprador 2.	36
Tabla 16. Matriz de comparación pareada del potencial comprador 3.	37
Tabla 17. Matriz de comparación pareada del arquitecto/constructor 1.	37
Tabla 18. Matriz de comparación pareada del arquitecto/constructor 2.	38
Tabla 19. Matriz de comparación pareada del arquitecto/constructor 3.	38
Tabla 20. Matriz de comparación pareada del valuador de bienes inmuebles 1.	39
Tabla 21. Matriz de comparación pareada del valuador de bienes inmuebles 2.	39
Tabla 22. Matriz de comparación pareada del valuador de bienes inmuebles 3.	40
Tabla 23. Matriz de comparación pareada del asesor inmobiliario 1.	40
Tabla 24. Matriz de comparación pareada del asesor inmobiliario 2.	41
Tabla 25. Matriz de comparación pareada del asesor inmobiliario 3.	41
Tabla 26. Agregación de prioridades: Propietarios.	42
Tabla 27. Agregación de prioridades: Potenciales compradores.	42
Tabla 28. Agregación de prioridades: Arquitectos/constructores.	43

Tabla 29. Agregación de prioridades: Valuadores de bienes inmuebles.	43
Tabla 30. Agregación de prioridades: Asesores inmobiliarios.	44
Tabla 31. Resumen de opiniones de los grupos encuestados.	44
Tabla 32. Soluciones del modelo de GP extendida para los valores de λ .	45
Tabla 33. Resumen de soluciones del modelo de GP extendida.	46
Tabla 34. Ponderación de variables mediante el modelo de GP extendida.	47
Tabla 35. Estudio de mercado en Juriquilla.	48
Tabla 36. Índice de la variable seguridad.	48
Tabla 37. Índice de la variable amenidades.	49
Tabla 38. Resultados de la estructura de RNA seleccionada.	51
Tabla 39. Predicciones de la RNA de propiedades en Juriquilla.	51
Tabla 40. Factor de negociación.	52
Tabla 41. Factor de ubicación dentro de la colonia.	52
Tabla 42. Factor de estado de conservación.	53
Tabla 43. Factor de proyecto.	54
Tabla 44. Tabla de homologación.	55
Tabla 45. Comparación de resultados del modelo de RNA y el método de mercado.	55
Tabla 46. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 1 nodo.	58
Tabla 47. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 2 nodos.	59
Tabla 48. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 3 nodos.	59
Tabla 49. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 4 nodos.	60
Tabla 50. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 5 nodos.	60
Tabla 51. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 6 nodos.	61
Tabla 52. Resumen de resultados del modelo de RNA.	61
Tabla 53. Estudio de mercado en Querétaro.	64
Tabla 54. Resultados de los modelos de RNA con propiedades de Querétaro.	65
Tabla 55. Predicciones de la RNA de propiedades en Querétaro.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de metodología.	24
Figura 2. Variables mencionadas por los encuestados.	31
Figura 3. Diagrama de flujo del método AHP + GP extendida.	33
Figura 4. Diagrama de flujo para la predicción de valores en Weka.	49
Figura 5. Variables utilizadas en el modelo de RNA.	50
Figura 6. Estructura de la RNA.	50
Figura 7. Ponderación de variables explicativas del valor según los encuestados.	57
Figura 8. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 1 nodo.	58
Figura 9. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 2 nodos.	59
Figura 10. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 3 nodos.	59
Figura 11. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 4 nodos.	60
Figura 12. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 5 nodos.	60
Figura 13. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 6 nodos.	61
Figura 14. Gráfica comparativa de los precios de oferta y los valores de predicción de propiedades en Juriquilla (MXN).	62
Figura 15. Gráfica comparativa de valores de propiedades en Juriquilla (MXN).	63
Figura 16. Gráfica comparativa de los precios de oferta y los valores de predicción de propiedades en Querétaro (MXN).	66
Figura 17. Gráfica de valores de propiedades en Querétaro (MXN).	67

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 La valuación de bienes inmuebles

En la historia de la humanidad, la valuación comenzó con el intercambio de bienes que las personas realizaban en función de su valor, el cual se regía por su valor sentimental, su utilidad y su demanda (Restrepo y Velásquez, 2020). En relación con los bienes inmuebles, se considera que a nivel internacional surgieron los estudios de mercado inmobiliario en los años 50 y en las siguientes dos décadas se desarrolló el método de precios hedónicos (MPH), el cual asume que el valor de un bien se compone del conjunto de precios individuales de cada uno de sus atributos. Ridker y Henning (1967) realizaron el primer proyecto de valuación que utilizó el MPH en el sector habitacional, con el que comprobaron que la contaminación afecta el precio de la vivienda; no obstante, se considera que Rosen (1974) fue quien unificó el modelo teórico y estableció el enfoque que actualmente se utiliza (Caridad, Núñez y Ceular, 2008). Aunque el MPH sigue vigente, el método carece de multicolinealidad de variables ya que no toma en cuenta la relación que puede existir entre una variable explicativa y otra (Rivas, 2015). Por ello, han surgido otros métodos de valuación de bienes como los métodos multicriterio y las redes neuronales artificiales (RNA) que sí son capaces de establecer relaciones no lineales.

La metodología de las decisiones multicriterio se reforzó a mediados del siglo XX. Kuhn y Tucker (1951) dedujeron condiciones para la solución eficiente de problemas multiobjetivos y, diez años después, Charnes y Cooper (1961) desarrollaron el método de programación por metas (GP). En los años 80 se consolidaron todavía más los métodos de análisis multicriterio con el surgimiento de las computadoras y los avances tecnológicos, los cuales fueron utilizados por Saaty (1980) para sentar las bases del método proceso analítico jerárquico (AHP) que consiste en la selección de alternativas a través de matrices de comparación por pares (Aznar y Guijarro, 2012).

El uso de sistemas neuronales artificiales, por su parte, se remonta a los años 40 con los proyectos de McCulloch y Pitts (1943), quienes buscaban resolver problemas cognitivos; sin embargo, es hasta los años 90 que la inteligencia artificial mediante RNA se comenzó a aplicar en la valuación de bienes inmuebles con la investigación de Borst (1991) en Nueva Inglaterra en la que obtuvo un error de predicción inusualmente bajo entre el 5 y el 7.5% (Núñez, Rey y Caridad, 2017).

A nivel nacional surge la valuación de bienes inmuebles en 1607 cuando todavía era la Nueva España y se impusieron impuestos en las casas habitacionales con el fin de obtener recursos para obras hidráulicas. Dichos impuestos se basaron en un avalúo realizado por el Arq. Andrés de la Concha. Casi 200 años más tarde, Don Francisco de Cedano (1790) publicó un censo de valores inmuebles y Don Ignacio Castera (1794) realizó un plano regulador con el fin de establecer las contribuciones que deberían hacer los dueños de fincas. Sin embargo, hasta 1830 se realizaron los primeros avalúos periciales en el México independiente y en 1857 se estableció en la Constitución la obligación de los mexicanos a contribuir con los gastos públicos (Méndez, 2010). A finales del siglo XIX, se obtuvo la primera ley de Catastro del Distrito Federal con fines tributarios de impuesto predial (Quintas, 2019).

Actualmente, la valuación de inmuebles en el país está regulada por la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) para bienes privados y por el Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales (INDAABIN) para bienes de propiedad de la nación (Galindo, 2018). Los métodos de valuación de inmuebles que más se utilizan en México son tres: el de mercado, el de capitalización y el de costo. Estos métodos son, además, los recomendados en los Estándares de Valuación Internacional (IVSC, 2019). El método de mercado consiste en estimar el valor de un bien inmueble mediante el proceso de homologación (comparación) del inmueble a valorar (sujeto) respecto a inmuebles similares (comparables). Este método asume que una persona no pagaría más por esa propiedad de lo que pagaría por otra propiedad similar disponible en el mercado. Por otro lado, el método de capitalización consiste en calcular el valor de un inmueble mediante el valor presente de los ingresos o beneficios futuros que el bien puede producir. Por último, el método del costo se realiza a través del

análisis de los costos necesarios para construir un inmueble con las mismas características y condiciones (Quirós, 2020). El enfoque de costo se integra por el valor del terreno, el costo de la construcción, los honorarios y los costos de financiación. En este método se realiza un ajuste por las obsolescencias físicas y funcionales (Guadalajara, 2014).

1.1.2 El desarrollo inmobiliario en Querétaro

Esta investigación tiene un enfoque en Querétaro. El Estado de Querétaro conforma el 0.6% del territorio nacional y está dividido en 18 municipios (INEGI, 2019). Su población se encuentra en constante crecimiento en gran medida debido a la migración de personas del norte del país que buscan un lugar más seguro para vivir o personas que provienen de otros estados en busca de mejores oportunidades laborales. En el 2018, el Consejo Estatal de Población (COESPO) estimó una población total de 2.2 millones, de los cuales 18,415 son resultado del intercambio migratorio (Estrella, 2018).

En Querétaro no había un mercado formal de tierra y vivienda urbana hasta los años 50, ya que fue entre 1950-1960 que se crearon los primeros fraccionamientos como Cimatario y Jardines de Querétaro, ambos enfocados en la clase media (Hernández, 2016). A la fecha, el estado sigue en crecimiento y ocupa el quinto lugar en mayor oferta de vivienda con más de 12 mil inmuebles de los cuales 50% son casas en venta según un reporte por el portal inmobiliario Vivanuncios (Rudo, 2019). Además, de acuerdo con un reporte por Tasvalú, una de las unidades de valuación inmobiliaria más importantes del país, la vivienda residencial ocupa el primer lugar de proyectos habitacionales en Querétaro, ya que un 62% de las viviendas en venta son de este tipo y su precio varía entre 1.9 y 3.8 millones de pesos (Albores, 2019). Debido a su plusvalía, algunas de las zonas de clase media con mayor demanda en Querétaro son El Refugio, Milenio III, Juriquilla y Zibatá, donde el valor de la vivienda aumentó hasta en 20% entre el 2017 y el 2019 (Márquez, 2019).

1.2 Planteamiento del problema

Propietarios, arquitectos y desarrolladores invierten en mejorar o enaltecer las características que consideran que aportan valor a sus inmuebles para comercializar una vivienda y así hacerla más rentable; no obstante, en la mayoría de los casos dichas decisiones son subjetivas basadas en suposiciones. Es común que los propietarios estimen que su inmueble debe valer más por ciertos aspectos que ellos consideran relevantes, pero el mercado demuestra que tales características no tienen un peso considerable sobre el valor de la propiedad ya que normalmente no existe disposición a pagar más por parte de los potenciales compradores.

Asimismo, las variables explicativas del valor han cambiado a través del tiempo. Antes, por ejemplo, la demanda valoraba una vivienda por su diseño; mientras que actualmente las personas valoran más las amenidades como áreas de recreación, gimnasios y albercas, que pueden aumentar entre 15 al 20% el valor del inmueble (Obras, 2020).

Por otra parte, aunque un avalúo sirve como guía para que los propietarios tengan una referencia del precio al que podrían ofertar su inmueble, existe un alto grado de subjetividad en el cálculo del valor comercial de la propiedad. Esto se debe a que el método que comúnmente se utiliza para determinar dicho valor es el de mercado por homologación, uno de los tres métodos promovidos en México por la SHF (Salas, 2015). Este método puede no ser el más adecuado si no hay suficientes comparables de calidad, si los comparables no se seleccionan con rigor o si los factores de homologación elegidos por el valuador según su experiencia son insuficientes o irrelevantes.

Además, no existe un estándar del tipo o número de variables explicativas que se deben considerar en la estimación del valor. Fitch (2016) concluyó que los factores determinantes de los valores inmobiliarios son ubicación, accesibilidad, características de paisaje, infraestructura y servicios. Montoya (2019) utilizó para la construcción de su modelo

de red neuronal artificial variables como estrato, ubicación, tipo de cocina, tipo de gas, número de habitaciones, número de closets, número de baños, número de sanitarios, número de lavamanos, número de espacios de estacionamiento, tipo de estacionamiento y área. Kuvalekar, Shivani, Mahadik y Jawale (2020) integraron en su modelo de inteligencia artificial las variables número de recámaras, número de baños, coeficiente de ocupación del suelo (C.O.S.), coeficiente de utilización del suelo (C.U.S.), antigüedad, ubicación, latitud y longitud de las propiedades.

Por otro lado, las propiedades cuentan con características tanto cuantitativas como cualitativas que aportan valor y, aunque algunas de las variables son menos comunes, también podrían ser esenciales. Crosby, Davis, Damoulas y Jarvis (2016) crearon un modelo de regresión gaussiano para la predicción del valor de una casa con un 96.6% de precisión en el que incluyeron factores medioambientales como el riesgo de inundaciones y la proximidad a costas. Jiayin, Jianguang y Shengjun (2018) realizaron una investigación en 35 ciudades chinas en la que demostraron que factores no tradicionales como el acceso a servicios de salud y ambientes agradables pueden incrementar significativamente los precios de los bienes inmuebles en mercados desarrollados.

En conclusión, los factores determinantes del precio de un bien inmueble suelen ser muchos y complejos, por lo que utilizar varios tipos de datos es un reto en la valuación de inmuebles (Niu y Niu, 2019). Por ello, en este trabajo de investigación se utilizan métodos de valuación avanzados multicriterio y RNA, los cuales permiten discriminar las variables explicativas con mayor objetividad y estimar el valor de un bien raíz de manera más precisa.

1.3 Hipótesis

El método AHP + GP extendida y la aplicación de RNA disminuyen la subjetividad en la selección y análisis de los factores de homologación en el método de mercado, ya que permiten discriminar las variables para la valuación de bienes inmuebles y estimar el valor comercial de una vivienda con mayor precisión.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar los factores que influyen en el valor comercial de una vivienda de tipo residencial, a partir de la aplicación del método AHP + GP extendida y RNA, para generar mayor valor comercial y disminuir la subjetividad en el proceso de homologación de comparables con un valor más preciso en la estimación del bien inmueble.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Identificar las variables explicativas del valor comercial de una vivienda de tipo residencial mediante el método multicriterio AHP + GP extendida.
2. Estimar el valor comercial de los bienes inmuebles mediante el análisis de las variables explicativas seleccionadas en el objetivo anterior para el modelo de RNA.
3. Validar la precisión del modelo de RNA respecto al método de mercado por homologación.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Métodos de valuación de inmuebles

La valuación inmobiliaria tiene como objetivo estimar el valor de un bien inmueble. Para ello, se han desarrollado diferentes métodos que se pueden clasificar en técnicos y avanzados. Los métodos técnicos tienen un gran nivel de aceptación, pero tienen un alto grado de subjetividad y su capacidad para producir valores es baja. Los métodos avanzados, en cambio, utilizan la automatización y consisten en la construcción de modelos matemáticos para estimar los valores, por lo que su eficiencia y capacidad de producción es mayor (Tabla 1) (Rey y Núñez, 2017).

Tabla 1. Tipos de métodos de valuación de inmuebles (Rey y Núñez, 2017).

Técnicos	Avanzados
Costo.	Precios hedónicos.
Comparación de mercado.	Inteligencia artificial (RNA, lógica difusa, sistemas expertos y algoritmos genéticos).
Capitalización de rentas.	Análisis espacial.
Residual.	K-vecinos.
	Multicriterio.
	Técnicas Box-Jenkins.

2.2 Variables explicativas del valor

Las variables explicativas son aquellas características que definen el valor de un bien. Por ejemplo, el precio de un automóvil se puede determinar por variables como modelo, tipo de transmisión, kilometraje, calidad del material de los asientos, tipo de llantas, número de pasajeros, etc. En relación con el precio de un bien, las variables explicativas se dividen en:

- Variables explicativas directas: son las variables que si aumentan, el precio también aumenta. Por ejemplo, la calidad del equipo de sonido.

- Variables explicativas inversas: son las variables que si aumentan, el precio disminuye. Por ejemplo, el kilometraje.

Para que las variables explicativas inversas puedan ser incluidas en los métodos de valuación, es conveniente transformarlas a directas. Para ello, se puede hacer una transformación por la inversa o una transformación por la diferencia a una constante (Aznar y Guijarro, 2012):

- Transformación por la inversa: consiste en la sustitución de la variable x_i por su inversa $\frac{1}{x_i}$. Sin embargo, si la variable es 0 no se puede utilizar.
- Transformación por la diferencia a una constante: en este caso se sustituye la variable x_i por la diferencia con una constante, es decir $(k - x_i)$, donde k debe tener un valor superior al valor máximo posible de la variable. No obstante, este tipo de transformación presenta el inconveniente que según el valor elegido para k , el resultado puede variar.

Las variables explicativas también se clasifican según su tipo en:

- Variables cuantitativas: son las variables que pueden medirse numéricamente de manera directa. Por ejemplo: el número de puertas.
- Variables cualitativas: son las variables que no se pueden medir de manera directa y requieren que el experto las cuantifique mediante una escala predefinida o las categorice. Por ejemplo: la calidad del material de los asientos.

2.3 Métodos multicriterio: Proceso analítico jerárquico y programación por metas extendida (AHP + GP extendida)

El método AHP fue presentado por Saaty (1980) para facilitar la toma multidisciplinar de decisiones. En este método se selecciona una alternativa, estrategia o inversión con base en diversos criterios que pudieran estar en conflicto. Para ello se califican los criterios mediante la escala fundamental propuesta por Saaty (Tabla 2) en matrices de comparación por pares. Las comparaciones se realizan de manera pareada ya que, aunque un decisor puede determinar la importancia de cada criterio a través de una escala del 1 al 10, resulta complejo establecer un orden de importancia cuando existen muchas variables o cuando algunas de ellas son similares. Miller (1956) argumentó que el ser humano es capaz de comparar de manera eficiente un máximo de 7 criterios; mientras que Arrow y Raynaud (1986) estimaron que son 4 criterios (Aznar y Estruch, 2015). Por otro lado, la ventaja de utilizar este método de calificación es que permite valorar tanto variables cuantitativas como cualitativas (García, 2016). En el caso de la vivienda, la integración de factores cualitativos facilita la comprensión de la percepción y las motivaciones del mercado (Lopez-Arredondo, Perez, Castro y Rodriguez, 2019).

Tabla 2. Escala fundamental de Saaty.

1	El criterio A es igual de importante que el criterio B.	1	El criterio A es igual de importante que el criterio B.
3	El criterio A es ligeramente más importante que el criterio B.	1/3	El criterio A es ligeramente menos importante que el criterio B.
5	El criterio A es más importante que el criterio B.	1/5	El criterio A es menos importante que el criterio B.
7	El criterio A es mucho más importante que el criterio B.	1/7	El criterio A es mucho menos importante que el criterio B.
9	El criterio A es extremadamente más importante que el criterio B.	1/9	El criterio A es extremadamente menos importante que el criterio B.

El método AHP consiste en que una vez establecida la matriz de comparación pareada (A) se normalizan las variables por la suma para uniformizar la información de los diferentes tipos de variables (Ecuación 1) (Aznar y Guijarro, 2012):

$$A_{normalizada} = \left[\frac{a_{ij}}{\sum_{k=i}^n a_{kj}} \right] \quad (1)$$

Donde A es la matriz de comparación pareada, n es el número de variables, a_{ij} es la calificación de la variable en la fila i respecto a la variable de la columna j y a_{kj} es la calificación en la columna j .

Se suman las filas (Ecuación 2):

$$\frac{a_{11}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \frac{a_{12}}{\sum_{k=1}^n a_{k2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}} = b_1 \quad (2)$$

$$\frac{a_{21}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \frac{a_{22}}{\sum_{k=1}^n a_{k2}} + \dots + \frac{a_{2n}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}} = b_2$$

$$\frac{a_{n1}}{\sum_{k=1}^n a_{k1}} + \frac{a_{n2}}{\sum_{k=1}^n a_{k2}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}} = b_n$$

Donde $\frac{a_{nn}}{\sum_{k=1}^n a_{kn}}$ es la calificación normalizada y b_n es la suma de las calificaciones normalizadas de la variable n .

Y se calcula un vector columna denominado vector media de sumas o vector de prioridades globales B (Ecuación 3):

$$B = \left[\frac{b_1}{n}, \frac{b_2}{n}, \dots, \frac{b_n}{n} \right]^T \quad (3)$$

Donde B es el vector de prioridades globales, b_n es la suma de la fila y n es el rango de la matriz.

El producto de la matriz A por el vector de prioridades globales B proporciona una matriz columna conocida como vector fila total C (Ecuación 4):

$$A * B = C = [c_1, c_2, \dots, c_n]^T \quad (4)$$

Donde A es la matriz de comparación pareada, B es el vector de prioridades globales y c es el producto de la variable n .

Luego, se calcula el cociente entre los valores del vector fila total C y el vector de prioridades globales B , para obtener el vector columna D (Ecuación 5):

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (5)$$

Donde $d_i = \frac{c_n}{B}$, c_n es el vector fila total de la variable n , B es el vector de prioridades globales, i el número de fila y n es el rango de la matriz.

Finalmente, se calcula la consistencia de la matriz denominada razón de consistencia (RC). La RC sirve para comprobar la congruencia en las respuestas. Por ejemplo, si una persona dijo preferir la variable 1 sobre la variable 2 y la variable 2 sobre la variable 3, no debería preferir la variable 3 sobre la variable 1. Asimismo, si la variable 1 es 1/3 respecto a la variable 2 y la variable 2 es 1/3 respecto a la variable 3, la variable 1 debería ser 1/9 respecto a la variable 3 (García, 2016). La RC se considera aceptable cuando es menor a 10% y se determina de la siguiente manera (Ecuación 6) (Muñoz y Romana, 2019):

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (6)$$

Donde el índice de consistencia $IC = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$, el índice de consistencia aleatoria $IA = 1.98(n - 2)/n$, λ_{max} es el mayor valor propio de la matriz traspuesta de la matriz de comparaciones pareadas y n es el rango de la matriz.

Si la matriz resulta inconsistente, debe volverse a realizar o ser rechazada. Si la matriz es consistente se determina la ponderación de cada criterio mediante el cálculo del vector propio de la matriz que consiste en multiplicar la matriz A por ella misma para obtener una matriz E (Ecuación 7). Se suman las filas y se normaliza por la suma. La operación se repite hasta que el vector columna normalizado coincide en sus cuatro primeros decimales con los del producto anterior.

$$A * A = E \quad (7)$$

Donde A es la matriz de comparación pareada y E es la matriz resultante.

En algunas ocasiones se requiere considerar la opinión de diferentes grupos de expertos o decisores para la toma de decisiones. Estos grupos pueden ser homogéneos, es decir, que comparten el mismo tipo de formación o área profesional (*i.e.*, un grupo de ingenieros que valoran una maquinaria) o heterogéneos, que son los grupos que pueden tener visiones diferentes sobre un activo debido a su formación, experiencia, intereses, área de trabajo, etc. (*i.e.* un grupo de políticos y un grupo de ecologistas que valoran un espacio medioambiental) (Aznar y Guijarro, 2012). Para agregar las diferentes opiniones, si el grupo es homogéneo, se calcula el vector agregado mediante la media geométrica de los vectores propios de las diferentes matrices; mientras que, si el grupo es heterogéneo, se realiza una agregación con GP extendida en la que se determina la solución que más se acerca a la opinión de todos los grupos. Para este fin, se minimizan la suma de desviaciones y la desviación máxima (Ecuación 8).

$$\text{Min}(1 - \lambda)D + \lambda \sum_{i=1}^Q (u_i n_i + v_i p_i) \quad (8)$$

s. a.

$$f_i(x) + n_i - p_i = b_i \quad i = 1 \dots Q$$

$$(1 - \lambda)(n_i + p_i) \leq D \quad i = 1 \dots Q$$

$$n_i \geq 0; p_i \geq 0$$

Donde D es la distancia máxima, u_i y v_i son las ponderaciones de las desviaciones, n_i y p_i son las ponderaciones negativas y positivas respecto a la meta, $f_i(x)$ es la función lineal de x , es decir, $f_i(x) = \sum_{j=1}^p a_{ij}x_{ij}$ con p como el número de variables y b_i es la meta (goal).

En el método GP extendida λ varía entre 0 y 1. Si se prioriza la desviación máxima λ tomará el valor de 0, mientras que si se prioriza la suma de desviaciones λ tomará el valor de 1. Para la aplicación del método se utilizó el programa LINGO®, con el cual se resuelven problemas no lineales y se optimizan datos mediante fórmulas matemáticas.

2.4 Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Las RNA forman parte de las herramientas de inteligencia artificial y son métodos computacionales automatizados inspirados en las redes biológicas del cerebro humano y las neuronas del sistema nervioso. Los modelos de RNA son diseñados con el fin de realizar predicciones mediante el aprendizaje basado en otros ejemplos. Normalmente, se selecciona 70% de los datos para realizar el entrenamiento de la red y el 30% restante se utiliza para la fase de prueba (Tello, Eslava y Tobías, 2013). Las RNA se han aplicado en diferentes áreas como la visión computarizada, reconocimiento de patrones, lenguaje y diagnósticos médicos, entre otros (Peter, Okagbue, Obasi y Akinola, 2020).

2.4.1 Clasificación de las RNA

De acuerdo con Flórez y Fernández (2008), las RNA se clasifican de la siguiente manera:

Según su estructura:

- Redes monocapa: son redes que consisten en una sola capa de neuronas con conexiones laterales para resolver problemas autoasociativos y de clusterización.

- Redes multicapa: son redes que se componen de varias capas (entrada, oculta(s) y salida), en donde la capa de entrada contiene los datos, las capas ocultas procesan la información y la capa de salida produce el resultado.

Según el flujo de datos:

- Propagación hacia adelante (*feedforward*): la información se transmite en un solo sentido, desde las neuronas de entrada hasta las neuronas de salida.
- Propagación hacia atrás (*backforward*): las salidas pueden ser neuronas de entrada y se crea un sistema recurrente.

Según el tipo de respuesta:

- Heteroasociativas: si existe un patrón (A) el sistema responde con otro patrón (B) y pueden utilizarse para tareas de clasificación o asociación de patrones.
- Autoasociativas: asocian un patrón afectado por ruido (A') con el patrón original (A) y se emplean para tareas de filtrado de información, clustering y optimización.

2.4.2 Ventajas de las RNA

Las ventajas de las RNA respecto a otros métodos de valuación son que aprenden de la experiencia, son capaces de realizar objetivos específicos y son tolerantes a fallos sin afectar el comportamiento del sistema (Restrepo y Velásquez, 2020). Por otro lado, la función de aprendizaje de las RNA y procesamiento de información no lineal mejora la imprecisión y aleatoriedad de los métodos tradicionales (Peter, et.al., 2020).

Dentro de las ventajas de las RNA también se encuentran que tienen la capacidad de procesar grandes cantidades de información (Quintas, 2019), pueden organizar la información de manera automática, realizar generalizaciones con nuevos datos y tienen una relativa facilidad de operación con la tecnología existente (Torres y Munguia, 2016).

3. METODOLOGÍA

El desarrollo de este proyecto de investigación se dividió en las siguientes etapas (Figura 1):

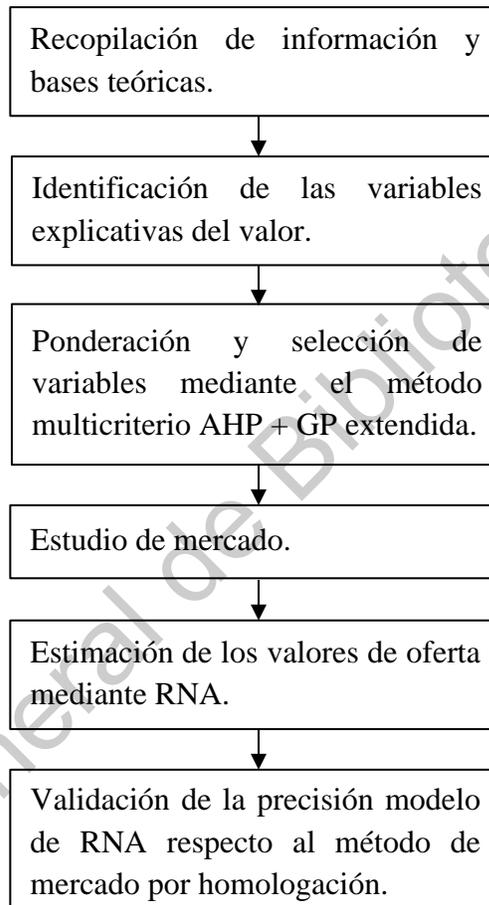


Figura 1. Diagrama de flujo de metodología.

3.1 Recopilación de información

Se revisaron documentos emitidos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Gobierno de México, el Gobierno de Querétaro y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas (SDUOP) con el fin de identificar las variables que estas entidades propician en la construcción de viviendas de clase media. Asimismo, se recopilaron

bases teóricas a través de una investigación exhaustiva en diferentes revistas, artículos científicos, libros y tesis.

3.2 Identificación de las variables explicativas del valor

3.2.1 Características de la vivienda de calidad de acuerdo con la ley de vivienda

En México la vivienda es un tema de prioridad para el desarrollo nacional, por lo que la ley de vivienda es reglamentaria del artículo 4o. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En la ley de vivienda se establecen y regulan las políticas y los programas para promover la vivienda digna y decorosa. El Gobierno de México (2019) valora las siguientes características para una vivienda de calidad según la ley:

1. Servicio de agua potable.
2. Desalojo de aguas residuales.
3. Suministro de energía eléctrica.
4. Seguridad estructural.
5. Sustentabilidad.
6. Eficiencia energética.
7. Ecotecnologías.

3.2.2 Características de las viviendas según INEGI

Cada 10 años INEGI realiza un censo nacional cuyo objetivo es medir la población de México en términos de estructura, características socioeconómicas, aspectos culturales y distribución geográfica; así como realizar un conteo del total de viviendas en el país y sus características. Para ello, INEGI realiza cuestionarios con los cuales mide las características de las viviendas particulares habitadas que considera más relevantes (Tabla 3).

Tabla 3. Consideraciones, según INEGI, de las viviendas particulares (INEGI, 2020).

Características	Cuestionario básico	Cuestionario ampliado
Material en paredes.		X
Material en techos.		X
Material en pisos.	X	X
Disponibilidad de cocina.		X
Número de dormitorios.	X	X
Número de cuartos.	X	X
Lugar donde cocinan.		X
Combustible para cocinar.		X
Disponibilidad de fogón o chimenea.		X
Disponibilidad de energía eléctrica.	X	X
Número de focos y número de focos ahorradores.		X
Disponibilidad y abastecimiento de agua entubada.	X	X
Abastecimiento de agua no entubada.	X	X
Equipamiento para disposición de agua.	X	X
Disponibilidad de sanitario.	X	X
Admisión de agua al sanitario.	X	X
Uso del sanitario.		X
Disponibilidad de drenaje.	X	X
Separación y reutilización de la basura y desperdicios.		X
Forma de eliminación de la basura.		X
Bienes electrodomésticos y medios de transporte.	X	X
Tecnologías de la información y la comunicación.	X	X
Tenencia de la vivienda.		X
Condición de existencia de escrituras o título de propiedad.		X
Adquisición de la vivienda.		X
Financiamiento para la adquisición.		X
Deuda.		X
Identificación del(os) dueño(s) o propietario(s) de la vivienda.		X

INEGI utiliza el cuestionario básico para enumerar exhaustivamente la población y las viviendas habitadas en todo el territorio nacional, mientras que el cuestionario avanzado se aplica únicamente a una muestra probabilística para profundizar en temas en municipios considerados socialmente rezagados, donde 40% o más de su población mayor de 3 años habla una lengua indígena y no habla español y 40% o más de su población se considera afrodescendiente (INEGI, 2020). Ya que Querétaro no cumple con las características

consideradas para la aplicación del cuestionario avanzado, en esta investigación se tomaron en cuenta las variables del cuestionario básico.

3.2.3 Características de una vivienda residencial determinadas por el gobierno de Querétaro

En Querétaro, la SDUOP se encarga de formular, conducir, promover y vigilar las políticas estatales de asentamientos humanos, desarrollo urbano de comunidades y centros de población del estado de Querétaro. La Tabla 4 muestra un resumen de las características que el gobierno establece para una vivienda de tipo residencial publicadas en el Reglamento de Construcción del municipio de Querétaro y en el periódico oficial del Estado de Querétaro, La Sombra de Arteaga.

Tabla 4. Las viviendas de tipo residencial medio en Querétaro (Gobierno del Estado de Querétaro y Municipio de Querétaro, 2019).

Característica	Descripción
Coefficiente de Ocupación del Suelo (COS).	Máximo el 75%.
Coefficiente de Absorción del Suelo (CAS).	Mínimo del 12.5%.
Superficie de construcción.	100 a 250 m ² .
Servicios.	Servicios sanitarios indispensables y agua potable. Cocina.
Estacionamiento.	Mínimo 2 cajones para construcciones de tipo habitacional unifamiliar de 120 a 250 m ² .
Dimensiones.	Pasillos interiores de 0.90 m como mínimo. Altura interior libre de 2.10 m como mínimo. Ancho mínimo de escalera de 0.90 m.
Cimentación.	Mampostería de piedra braza, zapatas corridas de concreto armado, losa de cimentación de concreto armado o pilotes de concreto armado.
Estructura.	Muros de carga de mampostería con claros menores de 6 m, columnas y traveses de concreto armado o columnas y traveses de acero.
Muros.	A base de block, block hueco, tabicón, tabique o sillar, de 14 a 28 cm de espesor, decorativos de piedra natural o artificial y divisorios a base de elementos ligeros.

Techos.	Losa aligerada plana o inclinada con nervadura de concreto armado y casetón de diversos materiales, losa maciza plana o inclinada de concreto armado de 10 a 15 cm, bóveda de cuña de barro recocido con acabado natural, bóveda catalana con vigas de madera o losa de concreto sobre duela machimbrada y vigas de madera.
Entrepisos.	Losa aligerada con nervadura de concreto armado y casetón de diversos materiales o losa maciza de concreto armado de 10 a 15 cm.
Azotea.	Entortado enladrillado y lechadeado, impermeabilización asfáltica o base de elastoméricos, de tres capas de teja de barro natural o vidriada o ladrillo de barro recocido traslapado.
Escaleras.	Losa de concreto armado con escalones forjados de mampostería (tabique) recubierto con material de piso, madera de pino, parquet o escalones prefabricados de diversos materiales a base de grano de mármol o grava de río deslavada con estructura de madera o perfiles estructurales.
Aplanados.	Aplanado de mezcla de mortero, aplanado de yeso o pasta de buena calidad con acabado en tirol planchado.
Plafones.	Aplanado de mezcla de cemento, aplanado de yeso o pasta de buena calidad con acabado en tirol rústico o planchado.
Lambrines.	Loseta de cerámica de buena calidad en zona húmeda o de piso a techo en cocina y baño de parquet, de mármol en zonas húmedas o de piso a techo.
Zoclos.	Material de piso, madera de pino o laminado.
Vidriería.	Cristal de 4 a 6 mm, claro, reflecta o tintex.
Pisos.	Terrazos, loseta cerámica de buena calidad, parquet de mármol, cemento pulido con acabado estampado u oxidado, alfombra de buena calidad, losetas de cantera natural, piso laminado comercial, piso flotante de melamina o piso marmolizado.
Herrería.	Perfiles tubulares, perfil de aluminio anodizado o natural, protecciones de fierro estructural, barandales de aluminio con cristal, barandal de acero estructural o cancel de aluminio con acrílico.
Carpintería.	Puertas de intercomunicación tipo tambor de triplay, pino o entableradas de pino, guardarropas con puertas corredizas o abatibles de tambor de pino con cajones y maleteros, lambrines de duela o triplay de pino, piso de duela o parquet de pino, barandales y pasamanos de madera de pino sencilla o labrada y ventanas de pino.
Pintura.	Vinílica de buena calidad, esmalte, epóxica o barniz.

Fachadas.	Aplanados de mezcla y pintura incluyendo detalles decorativos de cantera, fachaleta o similares.
Instalación eléctrica.	Ocultas con elementos intercambiables de buena calidad con salidas profusas, lámparas cfl, de halógeno o incandescentes.
Instalación hidráulica. Instalación sanitaria.	Ocultas con diámetros suficientes, de cobre o cpvc. Muebles de baño de buena calidad con instalación oculta de pvc y albañal, mínimo 2 ½ baños. Al menos un excusado, regadera y lavabo. Al menos un fregadero.
Cerrajería.	Chapas de entrada y de intercomunicación del país de buena calidad.
Instalaciones especiales.	Cisterna, bomba electromecánica, cocina integral, portón eléctrico, sistema hidroneumático, calentador solar, aire acondicionado, aire lavado y tanque estacionario de gas.

3.2.4 Variables explicativas del valor en el sector habitacional medio según las personas encuestadas

Se realizó una encuesta a 3 propietarios, 3 potenciales compradores, 3 arquitectos/construtores, 3 valuadores inmobiliarios y 3 asesores inmobiliarios para identificar las variables explicativas que consideran que generan valor en el sector habitacional de clase media. Se seleccionaron estos 5 grupos ya que son los grupos involucrados en la oferta y la demanda de viviendas residenciales.

A las personas encuestadas se les realizó la pregunta “¿Cuáles son las variables que considera que describen el valor de una vivienda de clase media? Escriba todas las variables que considere pertinentes (Ejemplo: tamaño de lote, acabados, ubicación, etc.)”. La pregunta se realizó de forma abierta con el fin de no influir en su opinión ni sesgar la información. Las respuestas obtenidas por cada persona encuestada, donde se subrayan las variables que cada encuestado consideró que tienen mayor influencia en el precio de una vivienda, fueron las siguientes (Tabla 5-Tabla 9):

Tabla 5. Variables explicativas del valor según los propietarios.

Tipo de encuestado	VARIABLES MENCIONADAS
Propietario 1	<u>Metros cuadrados de terreno, metros cuadrados de construcción, número de recámaras, jardín, número de estacionamientos de auto, seguridad y tecnología (automatización).</u>
Propietario 2	<u>Accesibilidad al transporte público, seguridad, cercanía a escuelas, cercanía a centros comerciales, <u>sociedad</u>, distribución funcional.</u>
Propietario 3	<u>Ubicación, tamaño de la casa, acabados.</u>

Tabla 6. Variables explicativas del valor según los potenciales compradores.

Tipo de encuestado	VARIABLES MENCIONADAS
Potencial comprador 1	<u>Ubicación, dimensión, accesibilidad, seguridad.</u>
Potencial comprador 2	<u>Tamaño del lote, tamaño de la construcción, diseño, acabados, <u>ubicación</u>, número de recámaras, espacios de estacionamiento.</u>
Potencial comprador 3	<u>Ubicación, accesibilidad, equipamiento, servicios, entretenimiento cercano, comercio, <u>tamaño</u>, número de recámaras, tamaño de las recámaras, número de baños, tamaño de los baños, acabados, materiales duraderos en cocina, número de espacios de estacionamiento, patio, jardín, lugar para lavar, distribución.</u>

Tabla 7. Variables explicativas del valor según los arquitectos/construtores.

Tipo de encuestado	VARIABLES MENCIONADAS
Arquitecto/ constructor 1	<u>Tipología de la construcción, estado de conservación de la construcción, zona urbana, edad de la construcción, tipo y estado de urbanización de la zona, sociedad, comercio, servicios, infraestructura.</u>
Arquitecto/ constructor 2	<u>Ubicación, tamaño del lote, metros cuadrados construidos, acabados, edad del inmueble.</u>
Arquitecto/ constructor 3	<u>Ubicación, dimensiones, acabados, tecnología, <u>acceso a servicios</u>.</u>

Tabla 8. Variables explicativas del valor según los valuadores de bienes inmuebles.

Tipo de encuestado	VARIABLES MENCIONADAS
Valuador de bienes inmuebles 1	<u>Ubicación, infraestructura, equipamiento, uso de suelo, acabados, <u>mercado</u>, tamaño de lote, <u>proyecto</u>.</u>
Valuador de bienes inmuebles 2	<u>Zona, <u>ubicación</u>, metros cuadrados de terreno, metros cuadrados de construcción.</u>
Valuador de bienes inmuebles 3	<u>Tamaño de la construcción, <u>tamaño del lote</u>, <u>ubicación</u>, edad, conservación de la construcción, forma del predio.</u>

Tabla 9. Variables explicativas del valor según los asesores inmobiliarios.

Tipo de encuestado	Variables mencionadas
Asesor inmobiliario 1	<u>Zona</u> , tamaño, construcción, acabados, amenidades.
Asesor inmobiliario 2	Tamaño del terreno, <u>ubicación</u> .
Asesor inmobiliario 3	<u>Ubicación</u> , seguridad, acceso a crédito, acabados, amenidades, jardín.

En la Figura 2 se muestra la compilación de todas las variables mencionadas por los encuestados:

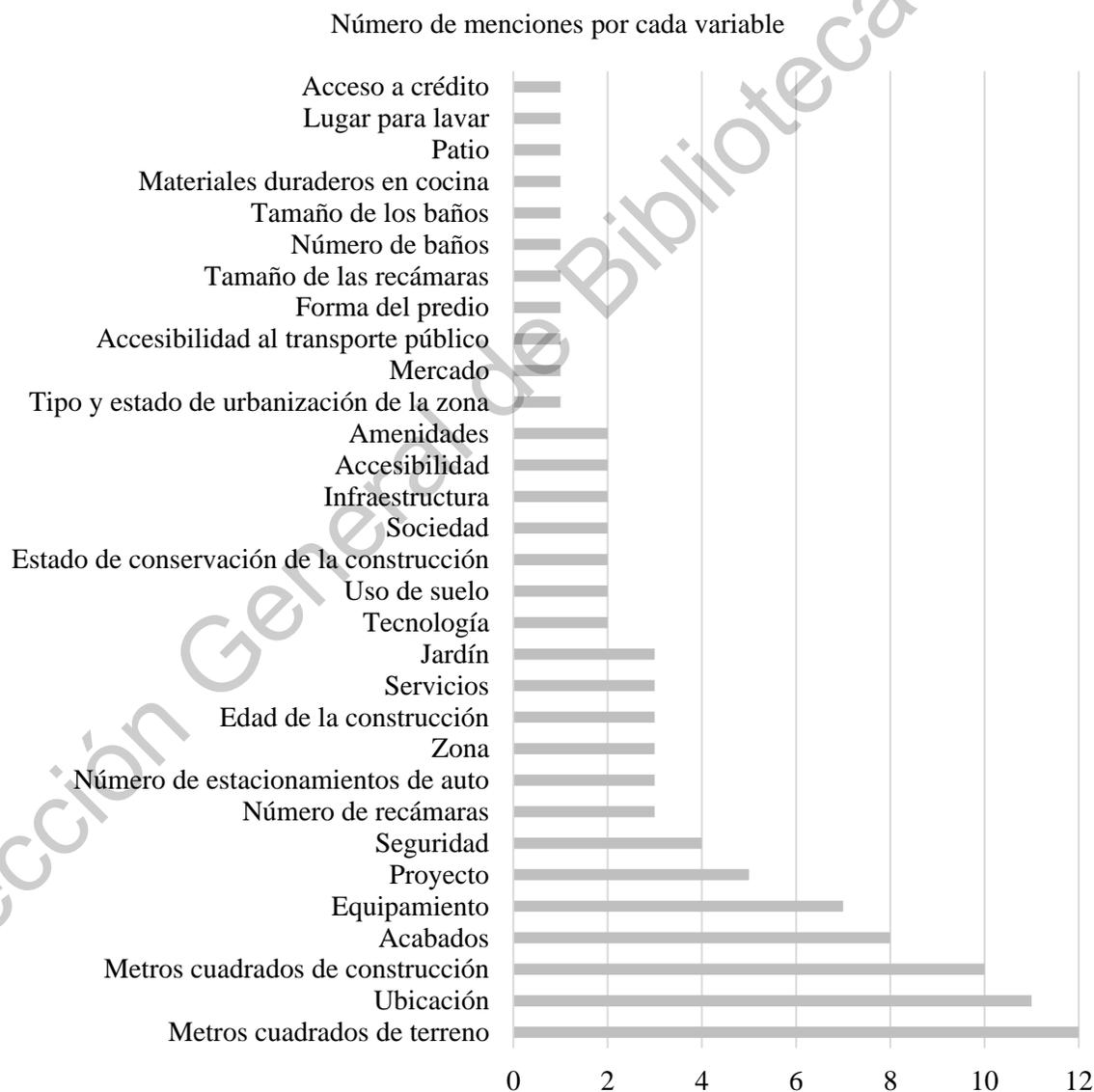


Figura 2. Variables mencionadas por los encuestados.

3.2.5 Clasificación de las variables explicativas del valor

Las variables recopiladas de la ley de vivienda, INEGI, Gobierno de Querétaro y las encuestas se agruparon en 14 categorías para facilitar su análisis. No se tomaron en cuenta las características consideradas como estándar en una vivienda de clase media (por ejemplo, disponibilidad de energía eléctrica), con el propósito de analizar únicamente las variables que influyen en la variación del valor de una propiedad respecto a otra (Tabla 10).

Tabla 10. Categorías de las variables explicativas.

#	Variable	Consideraciones
1	Superficie de terreno	Coefficiente de Ocupación del Suelo (COS) máximo el 75%. Metros cuadrados de lote.
2	Superficie de construcción	Metros cuadrados de construcción (100 a 250 m ²).
3	Espacios abiertos	Coefficiente de Absorción del Suelo (CAS) mínimo del 12.5%. Jardín, patio.
4	Materiales de construcción	Cimentación, estructura, muros, techos, entrepisos, azotea, escaleras, aplanados, plafones, pisos, lambrines, zoclos, carpintería, herrería, vidriería, pintura, fachadas, cerrajería. Acabados, materiales duraderos en cocina.
5	Recámaras	Número de dormitorios y número de cuartos. Número y tamaño de recámaras.
6	Baños	Servicio de agua potable, desalojo de aguas residuales. Disponibilidad y abastecimiento de agua entubada, equipamiento para disposición de agua, disponibilidad de un sanitario, admisión de agua al sanitario, disponibilidad de drenaje. Al menos un excusado, regadera y lavabo, instalaciones hidráulicas, servicios sanitarios indispensables, servicio de agua potable, instalación sanitaria: muebles de baño de buena calidad con instalación oculta de pvc y albañal, mínimo 2 ½ baños. Número y tamaño de baños.
7	Cajones de estacionamiento	Número de estacionamientos de auto. Mínimo 2 cajones de estacionamiento para construcciones de tipo habitacional unifamiliar de 120 a 250 m ² .
8	Instalaciones especiales	Ecotecnologías, eficiencia energética, tecnologías de información y comunicación, cisterna y bomba electromecánica, cocina integral, portón eléctrico, sistema hidroneumático, calentador solar, aire acondicionado, aire lavado y tanque estacionario.

9	Equipamiento	Cercanía a escuelas, cercanía a comercio, cercanía a entretenimiento.
10	Proyecto	Pasillos interiores de 0.90 m como mínimo, altura interior libre de 2.10 m como mínimo, ancho mínimo de escalera de 0.90 m. Distribución y diseño.
11	Seguridad	Tipo y número de elementos de seguridad.
12	Edad de la construcción	Vida útil y número de años remanente.
13	Estado de conservación de la construcción	Estado de la construcción, mantenimiento preventivo y correctivo.
14	Amenidades	Número y tipo de amenidades.

3.3 Ponderación y selección de variables mediante el método multicriterio AHP + GP extendida

Para desarrollar el método multicriterio AHP + GP extendida con el objetivo de seleccionar las variables explicativas más valoradas de acuerdo con la ponderación asignada por los encuestados, se realizó el siguiente proceso (Figura 3):

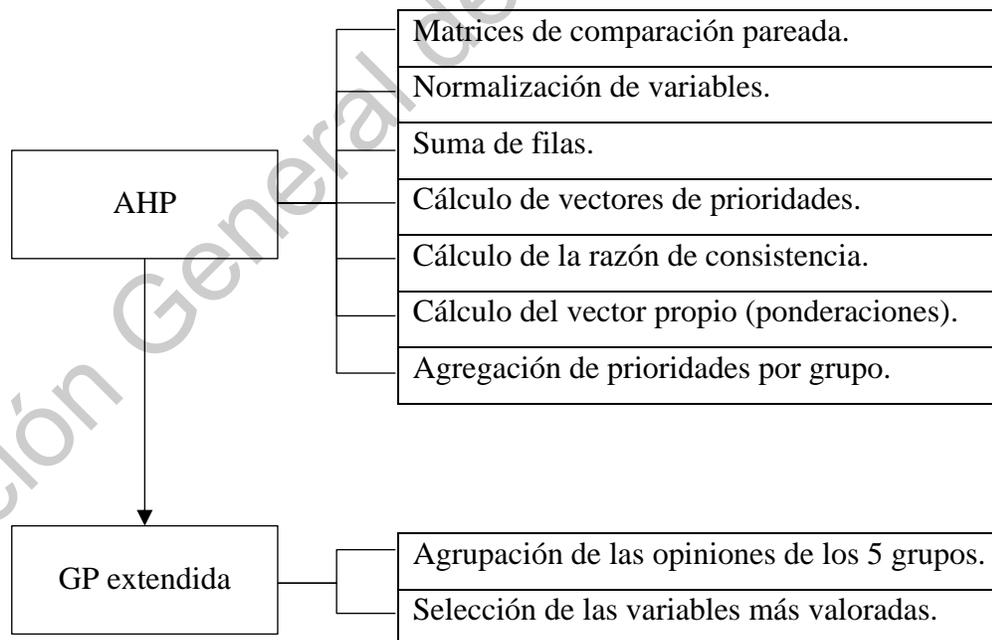


Figura 3. Diagrama de flujo del método AHP + GP extendida.

3.3.1 Ponderación de variables mediante AHP

Una vez establecidas las categorías de las variables, se les pidió a las 15 personas encuestadas realizar comparaciones por pares, con el objetivo de determinar el grado de influencia de cada variable en el precio de la vivienda de acuerdo con el método AHP, donde ST es la superficie de terreno, SC la superficie de construcción, EA los espacios abiertos, MC los materiales de construcción, NR el número de recámaras, NB el número de baños, CE los cajones de estacionamiento, IE las instalaciones especiales, EQ el equipamiento, PR el proyecto, SE la seguridad, EC la edad de la construcción, ECC el estado de conservación de la construcción y AM las amenidades. Se calculó la razón de consistencia (RC) y el vector propio de cada matriz (Tabla 11 – Tabla 25).

Tabla 11. Matriz de comparación pareada del propietario 1.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1/3	1/3	1	1/3
SC	1	1	1/3	1	1	1	1	1	1/3	1	1/3	1	1	1/3
EA	1	3	1	1	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	1/3	1	1/3	1
MC	1	1	1	1	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1/3	1/3	1	1
NR	1	1	3	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3
NB	1	1	3	3	1/3	1	3	1	1	1	1/3	1	1	1/3
CE	1	1	3	3	1/3	1/3	1	1	1	1	1	1	1	3
IE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EQ	1/3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1/3	1	1	3
PR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3
SE	3	3	3	3	1	3	1	1	3	3	1	3	1	7
EC	3	1	1	3	1	1	1	1	1	3	1/3	1	1/3	1/3
ECC	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	3
AM	3	3	1	1	1/3	3	1/3	1	1/3	3	1/7	3	1/3	1
Suma	19.3333	22.0000	25.3333	24.0000	10.6667	18.0000	16.0000	14.0000	16.0000	22.0000	7.8095	18.0000	11.3333	24.6667
Vector propio	0.0591	0.0478	0.0449	0.0430	0.0998	0.0687	0.0751	0.0618	0.0742	0.0462	0.1457	0.0673	0.0907	0.0758
RC	9.92%	<10%												

Tabla 12. Matriz de comparación pareada del propietario 2.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	1	3
SC	1	1	1	1	1	5	3	1	1	1	3	5	5	5
EA	1	1	1	1	1	5	1	1	3	3	3	3	3	3
MC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NR	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	3	3	3	3
NB	1	1/5	1/5	1	1	1	1	1	1	1/3	5	5	5	5
CE	1	1/3	1	1	1/3	1	1	1	3	3	5	5	5	5
IE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5
EQ	1	1	1/3	1	1/3	1	1/3	1	1	1	3	3	3	5
PR	1	1	1/3	1	1	3	1/3	1	1	1	5	1	5	5
SE	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	1	1	1	3
EC	1/3	1/5	1/3	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/3	1	1	1	1/3	5
ECC	1	1/5	1/3	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	1	3	1	1/3
AM	1/3	1/5	1/3	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	3	1
Suma	12.0000	9.4667	9.2000	14.0000	10.0000	20.8000	13.4667	10.8000	17.2000	14.9333	39.3333	39.2000	41.3333	49.3333
Vector propio	0.0728	0.1190	0.1142	0.0621	0.0974	0.0760	0.1008	0.0911	0.0667	0.0834	0.0283	0.0332	0.0303	0.0246
RC	9.64%	<10%												

Tabla 13. Matriz de comparación pareada del propietario 3.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1	3	1/3	3	3	3	1/3	1/3	1	1/5	3	1	1
SC	1	1	1	1/3	3	3	1/3	1	1/3	1/5	1/5	1/3	1/3	3
EA	1/3	1	1	1	3	3	1/3	1	1/3	1/3	1/5	1	1/5	3
MC	3	3	1	1	1	3	1	1	1	1	1/5	1/3	1/3	3
NR	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1	1	1/3	1/5	1/5	1/3	1/5	1
NB	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1	1/5	1/3	1/5	1/3	1/5	1
CE	1/3	3	3	1	1	1	1	3	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3
IE	3	1	1	1	1	1	1/3	1	1/3	1/3	1/5	1	1/3	3
EQ	3	3	3	1	3	5	1	3	1	1	1	1	1	5
PR	1	5	3	1	5	3	3	3	1	1	1	1	1	5
SE	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	3	1	5
EC	1/3	3	1	3	3	3	3	1	1	1	1/3	1	1	3
ECC	1	3	5	3	5	5	3	3	1	1	1	1	1	5
AM	1	1/3	1/3	1/3	1	1	3	1/3	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	1
Suma	20.6667	30.0000	28.0000	19.3333	36.0000	38.0000	26.0000	24.6667	9.0667	8.9333	6.1333	14.0000	8.1333	39.3333
Vector propio	0.0728	0.0408	0.0438	0.0661	0.0278	0.0251	0.0529	0.0503	0.1051	0.1080	0.1739	0.0820	0.1197	0.0317
RC	9.77%	<10%												

Tabla 14. Matriz de comparación pareada del potencial comprador 1.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	3	5	1	3	3	5	1	1/3	1	1/3	3	3	5
SC	1/3	1	3	1	3	1	3	1/3	1/3	1	1/5	3	1	3
EA	1/5	1/3	1	1/5	1/5	1/5	1	1/7	1/7	1/7	1/7	1/3	1/3	3
MC	1	1	5	1	1	1	3	1	5	1	3	1	1	5
NR	1/3	1/3	5	1	1	1	5	1	3	1	1	3	5	5
NB	1/3	1	5	1	1	1	5	1	3	1	1	3	5	5
CE	1/5	1/3	1	1/3	1/5	1/5	1	1/5	1/3	1/5	1/5	1/3	1/3	3
IE	1	3	7	1	1	1	5	1	3	1	1	1	3	7
EQ	3	3	7	1/5	1/3	1/3	3	1/3	1	1/3	1/7	1	1	3
PR	1	1	7	1	1	1	5	1	3	1	1	3	3	7
SE	3	5	7	1/3	1	1	5	1	7	1	1	5	5	7
EC	1/3	1/3	3	1	1/3	1/3	3	1	1	1/3	1/5	1	1	3
ECC	1/3	1	3	1	1/5	1/5	3	1/3	1	1/3	1/5	1	1	3
AM	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	1/5	1/3	1/7	1/3	1/7	1/7	1/3	1	1
Suma	12.2667	20.6667	59.3333	10.2667	13.4667	11.4667	47.3333	9.4857	28.4762	9.4857	9.5619	26.0000	30.6667	58.0000
Vector propio	0.1063	0.0660	0.0166	0.1063	0.0899	0.0926	0.0194	0.0992	0.0649	0.0963	0.1472	0.0423	0.0375	0.0155
RC	9.84%	<10%												

Tabla 15. Matriz de comparación pareada del potencial comprador 2.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1	7	1	1	5	7	7	3	1	1	3	3	3
SC	1	1	5	1	5	5	7	5	1	1	1/3	3	3	3
EA	1/7	1/5	1	1/5	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/7	1/3	1/3	1/3
MC	1	1	5	1	3	7	7	7	3	3	3	3	5	5
NR	1	1/5	3	1/3	1	3	3	3	3	1/3	1/5	1/3	1	1/3
NB	1/5	1/5	1/3	1/7	1/3	1	3	3	1/3	1/5	1/7	1/5	3	1
CE	1/7	1/7	3	1/7	1/3	1/3	1	1	1/3	1/7	1/7	1/5	1/5	1/3
IE	1/7	1/5	3	1/7	1/3	1/3	1	1	1/5	1/5	1/9	1/3	1/3	1/3
EQ	1/3	1	3	1/3	1/3	3	3	5	1	1	1/5	1	1	1
PR	1	1	5	1/3	3	5	7	5	1	1	1/5	3	3	1
SE	1	3	7	1/3	5	7	7	9	5	5	1	5	5	5
EC	1/3	1/3	3	1/3	3	5	5	3	1	1/3	1/5	1	1	1/3
ECC	1/3	1/3	3	1/5	1	1/3	5	3	1	1/3	1/5	1	1	3
AM	1/3	1/3	3	1/5	3	1	3	3	1	1	1/5	3	1/3	1
Suma	7.9619	9.9429	51.3333	5.6952	26.6667	46.0000	59.3333	55.3333	21.2000	14.7429	7.0730	24.4000	27.2000	24.6667
Vector propio	0.1146	0.1081	0.0199	0.1680	0.0493	0.0301	0.0167	0.0174	0.0516	0.0870	0.1859	0.0531	0.0457	0.0527
RC	9.73%	<10%												

Tabla 16. Matriz de comparación pareada del potencial comprador 3.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	3	1	5	3	3	3	7	1	1	1/3	5	3	1
SC	1/3	1	1	3	1	3	1	5	1/3	1/3	1/3	3	1/3	1/3
EA	1	1	1	3	1/3	1/3	1/3	3	1/3	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3
MC	1/5	1/3	1/3	1	1/7	1/3	1/7	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5
NR	1/3	1	3	7	1	3	1	5	1	3	1/3	3	3	5
NB	1/3	1/3	3	3	1/3	1	1	5	1	1	1	1	1/3	1/3
CE	1/3	1	3	7	1	1	1	5	1	1	1/3	3	3	3
IE	1/7	1/5	1/3	1	1/5	1/5	1/5	1	1/5	1/7	1/9	1/7	1/7	1/5
EQ	1	3	3	5	1	1	1	5	1	3	1	3	1	3
PR	1	3	3	5	1/3	1	1	7	1/3	1	1/3	3	1	3
SE	3	3	5	5	3	1	3	9	1	3	1	5	5	5
EC	1/5	1/3	3	5	1/3	1	1/3	7	1/3	1/3	1/5	1	1/3	1/3
ECC	1/3	3	3	5	1/3	3	1/3	7	1	1	1/5	3	1	3
AM	1	3	3	5	1/5	3	1/3	5	1/3	1/3	1/5	3	1/3	1
Suma	10.2095	23.2000	32.6667	60.0000	12.2095	21.8667	13.6762	72.0000	9.0667	15.6762	5.7778	33.6762	19.0095	25.7333
Vector propio	0.1176	0.0524	0.0318	0.0141	0.1072	0.0533	0.0835	0.0119	0.1002	0.0764	0.1764	0.0361	0.0774	0.0618
RC	9.93%	<10%												

Tabla 17. Matriz de comparación pareada del arquitecto/constructor 1.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1/3	1	1/3	1/5	3	3	1/3	3	1/5	1/7	1/3	1/3	1/3
SC	3	1	7	5	1	7	7	3	7	1	3	1	5	1/3
EA	1	1/7	1	1/5	1/7	1/5	1/3	1/5	1/5	1/5	1/9	1/7	1/7	1/5
MC	3	1/5	5	1	3	3	9	3	7	1	1	3	3	1/3
NR	5	1	7	1/3	1	3	9	3	7	1	1	1	1	1
NB	1/3	1/7	5	1/3	1/3	1	3	1	3	1/5	1/9	1/5	1/3	1
CE	1/3	1/7	3	1/9	1/9	1/3	1	1/5	1/3	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7
IE	3	1/3	5	1/3	1/3	1	5	1	3	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3
EQ	1/3	1/7	5	1/7	1/7	1/3	3	1/3	1	1/5	1/7	1/7	1/5	1/5
PR	5	1	5	1	1	5	9	3	5	1	1	3	1	1/3
SE	7	1/3	9	1	1	9	7	5	7	1	1	3	3	3
EC	3	1	7	1/3	1	5	7	3	7	1/3	1/3	1	1	1
ECC	3	1/5	7	1/3	1	3	7	3	5	1	1/3	1	1	1
AM	3	3	5	3	1	1	7	3	5	3	1/3	1	1	1
Suma	38.0000	8.9714	72.0000	13.4540	11.2635	41.8667	77.3333	29.0667	60.5333	10.5778	8.8508	15.2952	17.4857	10.2095
Vector propio	0.0292	0.1533	0.0123	0.1064	0.0902	0.0316	0.0121	0.0370	0.0178	0.0996	0.1414	0.0791	0.0695	0.1204
RC	9.83%	<10%												

Tabla 18. Matriz de comparación pareada del arquitecto/constructor 2.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	3	3	3	3	3	7	3	1	3	1/3	1	1	3
SC	1/3	1	3	1	3	5	7	3	3	1	1/3	1/3	1	3
EA	1/3	1/3	1	3	3	3	7	3	1/3	1	1/3	1	3	3
MC	1/3	1	1/3	1	3	3	5	1	1/3	3	1/3	1	3	1
NR	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	5	3	1/3	3	1/3	1/3	1/3	1/3
NB	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3	1	3	1	1/5	1	1/3	1/5	1/3	1/5
CE	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/3	1	1/3	1/7	1/5	1/7	1/5	1/5	1/7
IE	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	3	1	1/7	1/3	1/5	1/7	1/3	1/5
EQ	1	1/3	3	3	3	5	7	7	1	3	1/3	3	3	3
PR	1/3	1	1	1/3	1/3	1	5	3	1/3	1	1/5	1/3	1	1
SE	3	3	3	3	3	3	7	5	3	5	1	1	5	1
EC	1	3	1	1	3	5	5	7	1/3	3	1	1	3	3
ECC	1	1	1/3	1/3	3	3	5	3	1/3	1	1/5	1/3	1	1
AM	1/3	1/3	1/3	1	3	5	7	5	1/3	1	1	1/3	1	1
Suma	9.8095	15.0095	17.1429	18.5333	29.2000	41.3333	74.0000	45.3333	10.8190	26.5333	6.0762	10.2095	23.2000	20.8762
Vector propio	0.1127	0.0968	0.0784	0.0645	0.0399	0.0229	0.0111	0.0225	0.1253	0.0409	0.1623	0.1100	0.0518	0.0609
RC	9.40%	<10%												

Tabla 19. Matriz de comparación pareada del arquitecto/constructor 3.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1/5	1/3	1/5	1/7	1/5	1/9	1/5	1	1/5	1/9	1/3	1/3	1/5
SC	5	1	5	5	1	3	1	3	7	3	1	5	3	1
EA	3	1/5	1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	1/5	3	1	1/5
MC	5	1/5	5	1	1/7	1/5	1/7	1/3	1	1/3	1/7	1	1	1/5
NR	7	1	5	7	1	3	1	5	7	3	1	5	3	1
NB	5	1/3	3	5	1/3	1	1/3	5	5	1	1/5	1/3	1/3	1/5
CE	9	1	5	7	1	3	1	5	7	5	1	5	3	1
IE	5	1/3	3	3	1/5	1/5	1/5	1	3	1	1/5	3	1	1/3
EQ	1	1/7	3	1	1/7	1/5	1/7	1/3	1	1/3	1/7	1/3	1/3	1/7
PR	5	1/3	5	3	1/3	1	1/5	1	3	1	1/7	3	1	1/3
SE	9	1	5	7	1	5	1	5	7	7	1	5	5	1
EC	3	1/5	1/3	1	1/5	3	1/5	1/3	3	1/3	1/5	1	1/3	1/5
ECC	3	1/3	1	1	1/3	3	1/3	1	3	1	1/5	3	1	1/5
AM	5	1	5	5	1	5	1	3	7	3	1	5	5	1
Suma	66.0000	7.2762	46.6667	46.4000	7.0286	28.1333	6.8635	30.5333	55.3333	26.4000	6.5397	40.0000	25.3333	7.0095
Vector propio	0.0129	0.1199	0.0251	0.0296	0.1307	0.0580	0.1387	0.0443	0.0190	0.0508	0.1582	0.0328	0.0471	0.1330
RC	9.05%	<10%												

Tabla 20. Matriz de comparación pareada del valuator de bienes inmuebles 1.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	3	5	5	5	5	7	3	1	7	9	5	5	7
SC	1/3	1	5	3	5	3	3	1	1/3	5	5	1	1	7
EA	1/5	1/5	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/9	3	3	1/5	1/5	1/3
MC	1/5	1/3	3	1	1	1	1	1	1/5	7	3	1	1	5
NR	1/5	1/5	3	1	1	3	3	1	1/7	3	3	1	1	5
NB	1/5	1/3	3	1	1/3	1	3	1	1/7	3	3	1	1	1
CE	1/7	1/3	3	1	1/3	1/3	1	1/3	1/9	5	1	1	1	1/3
IE	1/3	1	3	1	1	1	3	1	1/9	3	3	1	1	5
EQ	1	3	9	5	7	7	9	9	1	9	7	3	3	5
PR	1/7	1/5	1/3	1/7	1/3	1/3	1/5	1/3	1/9	1	1/7	1/7	1/7	1/7
SE	1/9	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1/7	7	1	1/5	1/5	1/3
EC	1/5	1	5	1	1	1	1	1	1/3	7	5	1	1	7
ECC	1/5	1	5	1	1	1	1	1	1/3	7	5	1	1	7
AM	1/7	1/7	3	1/5	1/5	1	3	1/5	1/5	7	3	1/7	1/7	1
Suma	4.4063	11.9429	48.6667	21.0095	23.8667	25.3333	36.5333	20.5333	4.2730	74.0000	51.1429	16.6857	16.6857	51.1429
Vector propio	0.2006	0.1012	0.0202	0.0546	0.0596	0.0443	0.0324	0.0603	0.2227	0.0118	0.0204	0.0697	0.0697	0.0325
RC	9.64%	<10%												

Tabla 21. Matriz de comparación pareada del valuator de bienes inmuebles 2.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1/3	5	3	7	3	9	9	3	3	3	1/3	1/3	3
SC	3	1	9	5	7	3	9	9	7	7	5	3	5	9
EA	1/5	1/9	1	1/5	1/5	1/7	3	3	1/3	1	1/3	1/9	1/5	1/3
MC	1/3	1/5	5	1	1	3	3	5	1	3	1/3	1/5	1/3	3
NR	1/7	1/7	5	1	1	1	5	7	3	3	3	1/3	1	3
NB	1/3	1/3	7	1/3	1	1	5	7	3	3	1	1/3	1	3
CE	1/9	1/9	1/3	1/3	1/5	1/5	1	3	1/3	1/3	1/3	1/9	1/5	1
IE	1/9	1/9	1/3	1/5	1/7	1/7	1/3	1	1/5	1/3	1/7	1/9	1/7	1/3
EQ	1/3	1/7	3	1	1/3	1/3	3	5	1	1	1/3	1/7	1/5	1
PR	1/3	1/7	1	1/3	1/3	1/3	3	3	1	1	1/3	1/5	3	3
SE	1/3	1/5	3	3	1/3	1	3	7	3	3	1	1/3	1/5	3
EC	3	1/3	9	5	3	3	9	9	7	5	3	1	3	9
ECC	3	1/5	5	3	1	1	5	7	5	1/3	5	1/3	1	5
AM	1/3	1/9	3	1/3	1/3	1/3	1	3	1	1/3	1/3	1/9	1/5	1
Suma	12.5651	3.4730	56.6667	23.7333	22.8762	17.4857	59.3333	78.0000	35.8667	31.3333	23.1429	6.6540	15.8095	44.6667
Vector propio	0.1149	0.2393	0.0180	0.0549	0.0663	0.0634	0.0146	0.0097	0.0292	0.0440	0.0566	0.1677	0.1000	0.0214
RC	9.98%	<10%												

Tabla 22. Matriz de comparación pareada del valuador de bienes inmuebles 3.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1	9	7	3	3	3	5	5	3	5	7	7	5
SC	1	1	9	7	3	3	3	7	5	3	5	7	7	5
EA	1/9	1/9	1	1	1/7	1/7	1/7	1/3	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/5
MC	1/7	1/7	1	1	1/7	1/7	1/5	1	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1/3
NR	1/3	1/3	7	7	1	1	3	9	5	5	3	5	5	3
NB	1/3	1/3	7	7	1	1	5	5	5	3	5	5	5	3
CE	1/3	1/3	7	5	1/3	1/5	1	3	3	3	3	3	3	3
IE	1/5	1/7	3	1	1/9	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1/5
EQ	1/5	1/5	5	5	1/5	1/5	1/3	3	1	3	3	5	3	3
PR	1/3	1/3	5	3	1/5	1/3	1/3	3	1/3	1	3	5	3	3
SE	1/5	1/5	5	3	1/3	1/5	1/3	1	1/3	1/3	1	5	3	1
EC	1/7	1/7	3	3	1/5	1/5	1/3	3	1/5	1/5	1/5	1	1/5	1/7
ECC	1/7	1/7	3	1	1/5	1/5	1/3	3	1/3	1/3	1/3	5	1	1/7
AM	1/5	1/5	5	3	1/3	1/3	1/3	5	1/3	1/3	1	7	7	1
Suma	4.6730	4.6159	70.0000	54.0000	10.1968	10.1524	17.6762	49.3333	26.2667	23.0667	31.0667	56.0000	45.8667	28.0190
Vector propio	0.1817	0.1840	0.0111	0.0151	0.1278	0.1304	0.0770	0.0185	0.0631	0.0558	0.0370	0.0204	0.0262	0.0518
RC	9.78%	<10%												

Tabla 23. Matriz de comparación pareada del asesor inmobiliario 1.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1	3	5	1	1	1	3	1	1	1/3	1/3	1	1/3
SC	1	1	1	5	1	1	1	3	1/3	1	1/3	1	1/3	1
EA	1/3	1	1	3	1	1	1	3	1/3	1	1/5	1/3	1	1/5
MC	1/5	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	1/9	1/3	1/7	1/9
NR	1	1	1	5	1	3	1	3	1	1	1/5	1	1	3
NB	1	1	1	3	1/3	1	1/5	1	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/7
CE	1	1	1	3	1	5	1	1/3	1/3	1/3	1/9	1/9	1/5	1/7
IE	1/3	1/3	1/3	3	1/3	1	3	1	1	1/3	1/7	1/5	1/5	1/7
EQ	1	3	3	5	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
PR	1	1	1	5	1	3	3	3	1	1	1/5	1/5	1/3	1/5
SE	3	3	5	9	5	5	9	7	1	5	1	3	3	1
EC	3	1	3	3	1	5	9	5	1	5	1/3	1	1	1
ECC	1	3	1	7	1	5	5	5	1	3	1/3	1	1	1/3
AM	3	1	5	9	1/3	7	7	7	1	5	1	1	3	1
Suma	17.8667	18.5333	26.6667	66.0000	15.2000	39.3333	44.5333	42.6667	11.2000	25.2000	5.4984	10.7111	13.4095	9.6063
Vector propio	0.0556	0.0540	0.0406	0.0130	0.0807	0.0296	0.0358	0.0290	0.0813	0.0514	0.1856	0.1128	0.0897	0.1409
RC	9.81%	<10%												

Tabla 24. Matriz de comparación pareada del asesor inmobiliario 2.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	3	7	9	7	9	7	7	9	7	3	5	5	7
SC	1/3	1	7	7	7	9	9	7	7	5	3	1	5	3
EA	1/7	1/7	1	3	3	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3
MC	1/9	1/7	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/7	1/7	1/7	1/9
NR	1/7	1/7	1/3	3	1	3	3	3	1	1/3	1/5	1/5	1/5	1/5
NB	1/9	1/9	1/3	3	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/7	1/7	1/7	1/5
CE	1/7	1/9	1/3	3	1/3	1	1	1/5	1/5	1/5	1/7	1/7	1/9	1/9
IE	1/7	1/7	1	3	1/3	3	5	1	1	3	1/3	1/3	1/5	1/5
EQ	1/9	1/7	1	3	1	3	5	1	1	1/3	1/7	1/5	1/3	1/5
PR	1/7	1/5	1	5	3	3	5	1/3	3	1	1/5	1	1/3	1/3
SE	1/3	1/3	3	7	5	7	7	3	7	5	1	1/7	1/5	1/3
EC	1/5	1	3	7	5	7	7	3	5	1	7	1	1	1
ECC	1/5	1/5	3	7	5	7	9	5	3	3	5	1	1	1
AM	1/7	1/3	3	9	5	5	9	5	5	3	3	1	1	1
Suma	3.2571	7.0032	31.3333	70.0000	43.3333	61.3333	71.3333	37.2000	43.8667	30.4000	23.6381	11.6381	14.9968	15.0222
Vector propio	0.2575	0.1670	0.0313	0.0105	0.0259	0.0134	0.0124	0.0319	0.0248	0.0404	0.0766	0.1117	0.1014	0.0950
RC	9.84%	<10%												

Tabla 25. Matriz de comparación pareada del asesor inmobiliario 3.

	ST	SC	EA	MC	NR	NB	CE	IE	EQ	PR	SE	EC	ECC	AM
ST	1	1/5	5	5	7	9	7	7	9	7	3	5	3	3
SC	5	1	7	7	7	9	9	5	7	5	3	3	5	1
EA	1/5	1/7	1	3	1	3	3	1	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3
MC	1/5	1/7	1/3	1	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1/5	1/7	1/7	1/7	1/9
NR	1/7	1/7	1	3	1	3	3	3	1	1	1/5	1/5	1/5	1/5
NB	1/9	1/9	1/3	1	1/3	1	1	1/3	1/3	1/3	1/7	1/7	1/7	1/7
CE	1/7	1/9	1/3	3	1/3	1	1	1/5	1/5	1/5	1/7	1/7	1/9	1/9
IE	1/7	1/5	1	3	1/3	3	5	1	1	3	1/3	1/3	1/5	1/3
EQ	1/9	1/7	1	3	1	3	5	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1/5
PR	1/7	1/5	1	5	1	3	5	1/3	1	1	1/5	1	1/3	1/3
SE	1/3	1/3	3	7	5	7	7	3	7	5	1	1/7	1/5	1/3
EC	1/5	1/3	3	7	5	7	7	3	5	1	7	1	1	1
ECC	1/3	1/5	3	7	5	7	9	5	3	3	5	1	1	1
AM	1/3	1	3	9	5	7	9	3	5	3	3	1	1	1
Suma	8.3937	4.2603	30.0000	64.0000	39.3333	64.0000	71.3333	33.2000	41.8667	31.7333	23.6381	13.6381	12.9968	9.0984
Vector propio	0.1858	0.2245	0.0292	0.0124	0.0293	0.0119	0.0126	0.0331	0.0270	0.0349	0.0776	0.1087	0.1053	0.1076
RC	9.06%	<10%												

Posteriormente, se agregaron las prioridades de cada grupo de encuestados mediante la media geométrica (Tabla 26 - Tabla 30):

Tabla 26. Agregación de prioridades: Propietarios.

Variables	PR 1	PR 2	PR 3	Promedio	Porcentaje
Superficie de terreno.	0.0591	0.0728	0.0728	0.0682	6.82
Superficie de construcción.	0.0478	0.1190	0.0408	0.0692	6.92
Espacios abiertos.	0.0449	0.1142	0.0438	0.0676	6.76
Materiales de construcción.	0.0430	0.0621	0.0661	0.0571	5.71
Número de recámaras.	0.0998	0.0974	0.0278	0.0750	7.50
Número de baños.	0.0687	0.0760	0.0251	0.0566	5.66
Cajones de estacionamiento.	0.0751	0.1008	0.0529	0.0763	7.63
Instalaciones especiales.	0.0618	0.0911	0.0503	0.0677	6.77
Equipamiento.	0.0742	0.0667	0.1051	0.0820	8.20
Proyecto.	0.0462	0.0834	0.1080	0.0792	7.92
Seguridad.	0.1457	0.0283	0.1739	0.1159	11.59
Edad de la construcción.	0.0673	0.0332	0.0820	0.0608	6.08
Estado de conservación de la construcción.	0.0907	0.0303	0.1197	0.0803	8.03
Amenidades.	0.0758	0.0246	0.0317	0.0440	4.40
			Total	1.0000	100.00

Tabla 27. Agregación de prioridades: Potenciales compradores.

Variables	PC 1	PC 2	PC 3	Promedio	Porcentaje
Superficie de terreno.	0.1063	0.1146	0.1176	0.1128	11.28
Superficie de construcción.	0.0660	0.1081	0.0524	0.0755	7.55
Espacios abiertos.	0.0166	0.0199	0.0318	0.0227	2.27
Materiales de construcción.	0.1063	0.1680	0.0141	0.0961	9.61
Número de recámaras.	0.0899	0.0493	0.1072	0.0821	8.21
Número de baños.	0.0926	0.0301	0.0533	0.0586	5.86
Cajones de estacionamiento.	0.0194	0.0167	0.0835	0.0399	3.99
Instalaciones especiales.	0.0992	0.0174	0.0119	0.0428	4.28
Equipamiento.	0.0649	0.0516	0.1002	0.0722	7.22
Proyecto.	0.0963	0.0870	0.0764	0.0866	8.66
Seguridad.	0.1472	0.1859	0.1764	0.1699	16.99
Edad de la construcción.	0.0423	0.0531	0.0361	0.0438	4.38
Estado de conservación de la construcción.	0.0375	0.0457	0.0774	0.0535	5.35
Amenidades.	0.0155	0.0527	0.0618	0.0433	4.33
			Total	1.0000	100.00

Tabla 28. Agregación de prioridades: Arquitectos/construtores.

Variables	A/C 1	A/C 2	A/C 3	Promedio	Porcentaje
Superficie de terreno.	0.0292	0.1127	0.0129	0.0516	5.16
Superficie de construcción.	0.1533	0.0968	0.1199	0.1233	12.33
Espacios abiertos.	0.0123	0.0784	0.0251	0.0386	3.86
Materiales de construcción.	0.1064	0.0645	0.0296	0.0668	6.68
Número de recámaras.	0.0902	0.0399	0.1307	0.0869	8.69
Número de baños.	0.0316	0.0229	0.0580	0.0375	3.75
Cajones de estacionamiento.	0.0121	0.0111	0.1387	0.0540	5.40
Instalaciones especiales.	0.0370	0.0225	0.0443	0.0346	3.46
Equipamiento.	0.0178	0.1253	0.0190	0.0540	5.40
Proyecto.	0.0996	0.0409	0.0508	0.0638	6.38
Seguridad.	0.1414	0.1623	0.1582	0.1540	15.40
Edad de la construcción.	0.0791	0.1100	0.0328	0.0740	7.40
Estado de conservación de la construcción.	0.0695	0.0518	0.0471	0.0561	5.61
Amenidades.	0.1204	0.0609	0.1330	0.1048	10.48
			Total	1.0000	100.00

Tabla 29. Agregación de prioridades: Valuadores de bienes inmuebles.

Variables	VI 1	VI 2	VI 3	Promedio	Porcentaje
Superficie de terreno.	0.2006	0.1149	0.1817	0.1657	16.57
Superficie de construcción.	0.1012	0.2393	0.1840	0.1748	17.48
Espacios abiertos.	0.0202	0.0180	0.0111	0.0164	1.64
Materiales de construcción.	0.0546	0.0549	0.0151	0.0415	4.15
Número de recámaras.	0.0596	0.0663	0.1278	0.0845	8.45
Número de baños.	0.0443	0.0634	0.1304	0.0794	7.94
Cajones de estacionamiento.	0.0324	0.0146	0.0770	0.0413	4.13
Instalaciones especiales.	0.0603	0.0097	0.0185	0.0295	2.95
Equipamiento.	0.2227	0.0292	0.0631	0.1050	10.50
Proyecto.	0.0118	0.0440	0.0558	0.0372	3.72
Seguridad.	0.0204	0.0566	0.0370	0.0380	3.80
Edad de la construcción.	0.0697	0.1677	0.0204	0.0860	8.60
Estado de conservación de la construcción.	0.0697	0.1000	0.0262	0.0653	6.53
Amenidades.	0.0325	0.0214	0.0518	0.0352	3.52
			Total	1.0000	100.00

Tabla 30. Agregación de prioridades: Asesores inmobiliarios.

Variables	AI 1	AI 2	AI 3	Promedio	Porcentaje
Superficie de terreno.	0.0556	0.2575	0.1858	0.1663	16.63
Superficie de construcción.	0.0540	0.1670	0.2245	0.1485	14.85
Espacios abiertos.	0.0406	0.0313	0.0292	0.0337	3.37
Materiales de construcción.	0.0130	0.0105	0.0124	0.0119	1.19
Número de recámaras.	0.0807	0.0259	0.0293	0.0453	4.53
Número de baños.	0.0296	0.0134	0.0119	0.0183	1.83
Cajones de estacionamiento.	0.0358	0.0124	0.0126	0.0203	2.03
Instalaciones especiales.	0.0290	0.0319	0.0331	0.0313	3.13
Equipamiento.	0.0813	0.0248	0.0270	0.0444	4.44
Proyecto.	0.0514	0.0404	0.0349	0.0422	4.22
Seguridad.	0.1856	0.0766	0.0776	0.1133	11.33
Edad de la construcción.	0.1128	0.1117	0.1087	0.1111	11.11
Estado de conservación de la construcción.	0.0897	0.1014	0.1053	0.0988	9.88
Amenidades.	0.1409	0.0950	0.1076	0.1145	11.45
			Total	1.0000	100.00

La Tabla 31 muestra el resumen de las opiniones de los grupos de encuestados, donde PR son los propietarios, PC los potenciales compradores, A/C los arquitectos/constructores, VI los valuadores de bienes inmuebles y AI los asesores inmobiliarios.

Tabla 31. Resumen de opiniones de los grupos encuestados.

Variables	Grupo				
	PR	PC	A/C	VI	AI
Superficie de terreno.	0.0682	0.1128	0.0516	0.1657	0.1663
Superficie de construcción.	0.0692	0.0755	0.1233	0.1748	0.1485
Espacios abiertos.	0.0676	0.0227	0.0386	0.0164	0.0337
Materiales de construcción.	0.0571	0.0961	0.0668	0.0415	0.0119
Número de recámaras.	0.0750	0.0821	0.0869	0.0845	0.0453
Número de baños.	0.0566	0.0586	0.0375	0.0794	0.0183
Cajones de estacionamiento.	0.0763	0.0399	0.0540	0.0413	0.0203
Instalaciones especiales.	0.0677	0.0428	0.0346	0.0295	0.0313
Equipamiento.	0.0820	0.0722	0.0540	0.1050	0.0444
Proyecto.	0.0792	0.0866	0.0638	0.0372	0.0422
Seguridad.	0.1159	0.1699	0.1540	0.0380	0.1133
Edad de la construcción.	0.0608	0.0438	0.0740	0.0860	0.1111
Estado de conservación de la construcción.	0.0803	0.0535	0.0561	0.0653	0.0988
Amenidades.	0.0440	0.0433	0.1048	0.0352	0.1145

3.3.2 Agrupación de opiniones mediante GP extendida

Con las opiniones de los 5 grupos encuestados, se estableció el modelo de GP extendida en el programa LINGO®. Se resolvió el modelo para los diferentes valores de λ (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 y 1.0) y se obtuvieron las siguientes soluciones (Tabla 32):

Tabla 32. Soluciones del modelo de GP extendida para los valores de λ .

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
W1	0.1017	0.0903	0.0903	0.0903	0.0903	0.0903	0.0903	0.0903	0.0903	0.0903	0.0903
W2	0.1089	0.0913	0.0913	0.0913	0.0913	0.0913	0.0913	0.0913	0.0913	0.0913	0.0913
W3	0.0280	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455	0.0455
W4	0.0302	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477	0.0477
W5	0.0369	0.0529	0.0529	0.0529	0.0529	0.0529	0.0529	0.0529	0.0529	0.0529	0.0529
W6	0.0170	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345
W7	0.0367	0.0542	0.0542	0.0542	0.0542	0.0542	0.0542	0.0542	0.0542	0.0542	0.0542
W8	0.0281	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456
W9	0.0424	0.0599	0.0599	0.0599	0.0599	0.0599	0.0599	0.0599	0.0599	0.0599	0.0599
W10	0.0396	0.0571	0.0571	0.0571	0.0571	0.0571	0.0571	0.0571	0.0571	0.0571	0.0571
W11	0.1040	0.1215	0.1215	0.1215	0.1215	0.1215	0.1215	0.1215	0.1215	0.1215	0.1215
W12	0.0465	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387
W13	0.0407	0.0582	0.0582	0.0582	0.0582	0.0582	0.0582	0.0582	0.0582	0.0582	0.0582
W14	0.0548	0.0661	0.0661	0.0661	0.0661	0.0661	0.0661	0.0661	0.0661	0.0661	0.0661
Z	124.9805	124.7397	124.7397	124.7397	124.7397	124.7397	124.7397	124.7397	124.7397	124.7397	124.7397
D	0.0660	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835
D1	0.0397	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221
D2	0.0660	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484	0.0484
D3	0.0501	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387	0.0387
D4	0.0660	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835	0.0835
D5	0.0647	0.0760	0.0760	0.0760	0.0760	0.0760	0.0760	0.0760	0.0760	0.0760	0.0760

Donde W_i es la ponderación de las diferentes variables, Z la suma de distancias a todas las metas, D la distancia máxima en cada valor de λ y D_i la distancia a cada ponderación por grupo.

De acuerdo con los resultados anteriores se determinaron dos posibles soluciones (Tabla 33):

Tabla 33. Resumen de soluciones del modelo de GP extendida.

	0.0	0.1-1.0
W1	0.1017	0.0903
W2	0.1089	0.0913
W3	0.0280	0.0455
W4	0.0302	0.0477
W5	0.0369	0.0529
W6	0.0170	0.0345
W7	0.0367	0.0542
W8	0.0281	0.0456
W9	0.0424	0.0599
W10	0.0396	0.0571
W11	0.1040	0.1215
W12	0.0465	0.0387
W13	0.0407	0.0582
W14	0.0548	0.0661
Z	124.9805	124.7397
D	0.0660	0.0835
D1	0.0397	0.0221
D2	0.0660	0.0484
D3	0.0501	0.0387
D4	0.0660	0.0835
D5	0.0647	0.0760

La solución para $\lambda = 0.0$ tiene un valor de $Z=124.9805$ y es la solución más cercana a la opinión de los valuadores de bienes inmuebles (D4) y de los asesores inmobiliarios (D5). Sin embargo, la mejor solución global es el intervalo [0.1-1.0] que tiene el menor valor de $Z=124.7397$. Esta solución es la más cercana a la opinión de los propietarios (D1), potenciales compradores (D2) y arquitectos/constructores (D3).

Las ponderaciones obtenidas para cada variable ordenadas de mayor a menor importancia son las siguientes (Tabla 34):

Tabla 34. Ponderación de variables mediante el modelo de GP extendida.

Variable	Ponderación	Ponderación normalizada
	%	%
Seguridad.	12.15	14.07
Superficie de construcción.	9.13	10.57
Superficie de terreno.	9.03	10.46
Amenidades.	6.61	7.65
Equipamiento.	5.99	6.94
Estado de conservación de la construcción.	5.82	6.74
Proyecto.	5.71	6.61
Cajones de estacionamiento.	5.42	6.28
Número de recámaras.	5.29	6.13
Materiales de construcción.	4.77	5.52
Instalaciones especiales.	4.56	5.28
Espacios abiertos.	4.55	5.27
Edad de la construcción.	3.87	4.48
Número de baños.	3.45	4.00
Suma	86.35	100.00

De acuerdo con lo anterior, se seleccionaron las variables seguridad, superficie de construcción, superficie de terreno y amenidades para el modelo de predicción de RNA, ya que son las variables que resultaron ser más valoradas.

3.4 Estudio de mercado

Para poder determinar el valor de una vivienda (sujeto), se requiere una base de datos con información de otras viviendas con características similares (comparables) (Reséndiz, 2018), por lo que se realizó un estudio de mercado con el fin de recopilar el precio de oferta y las características de dichos comparables. Las fuentes de información que se utilizaron fueron los portales inmobiliarios Inmuebles 24 y Propiedades.com, ya que son de los clasificados en línea más conocidos en el país. Esta información se verificó además mediante llamadas telefónicas, con el fin de incrementar la confiabilidad de los datos.

Para este proyecto de investigación se seleccionó la zona de Juriquilla, una de las áreas de mayor demanda en Querétaro. Se eligieron comparables publicados en un periodo máximo de 45 días y con 100 a 250 m² de construcción, el área que el Gobierno del Estado de Querétaro (2019) estima para el tipo residencial medio. Aunque la SHF establece un mínimo de 6 comparables para el método de mercado, se tomaron como muestra 10 propiedades para proveer al modelo de más información para su aprendizaje (Tabla 35). No se consideró aumentar el número de comparables ya que se busca que el modelo tenga mayor aceptación entre valuadores, por lo que la recolección de datos debía ser eficaz.

Tabla 35. Estudio de mercado en Juriquilla (Inmuebles 24 y Propiedades.com, 2020).

Comparable	Seguridad	Superficie de construcción	Superficie de terreno	Amenidades	Precio de oferta
		m ²	m ²		\$
1	1	230	185	3	3,700,000
2	1	210	160	3	3,200,000
3	1	217	298	2	3,650,000
4	2	250	180	1	4,150,000
5	1	195	128	3	2,660,000
6	2	130	210	3	2,550,000
7	1	160	200	3	3,150,000
8	1	246	250	2	3,990,000
9	1	145	160	3	2,670,000
10	1	150	277	1	3,300,000

Las consideraciones que se tomaron para cada variable fueron las siguientes:

- Seguridad: existencia de cámaras de vigilancia, caseta de vigilancia o portón eléctrico, protecciones y sistema de alarma. Se consideró suficiente si la casa contaba con al menos 2 elementos e insuficiente si contaba con 1 elemento (Tabla 36).

Tabla 36. Índice de la variable seguridad.

Descripción	Asignación numérica
Suficiente	2
Insuficiente	1

- Superficie de construcción: área de construcción en metros cuadrados.
- Superficie de terreno: área del lote en metros cuadrados.
- Amenidades: alberca, área de negocios, canchas deportivas, parques, área de juegos, salón de eventos, lago, gimnasio y ciclovía. Se consideró excelente si en la casa, o en una distancia caminable de 200 m lineales, se encontraban alberca, parque o área de juegos y una amenidad más, buena si se encontraba alberca y parque o área de juegos y regular si solo existía un parque o área de juegos (Tabla 37).

Tabla 37. Índice de la variable amenidades.

Descripción	Asignación numérica
Excelente	3
Buena	2
Regular	1

3.5 Estimación de los valores de oferta mediante RNA

Para estimar el valor de oferta de las propiedades se creó un modelo de RNA con el programa de uso libre Weka desarrollado por la Universidad de Waikato en Nueva Zelanda. La Figura 4 muestra la secuencia de pasos realizados en Weka para predecir los valores.

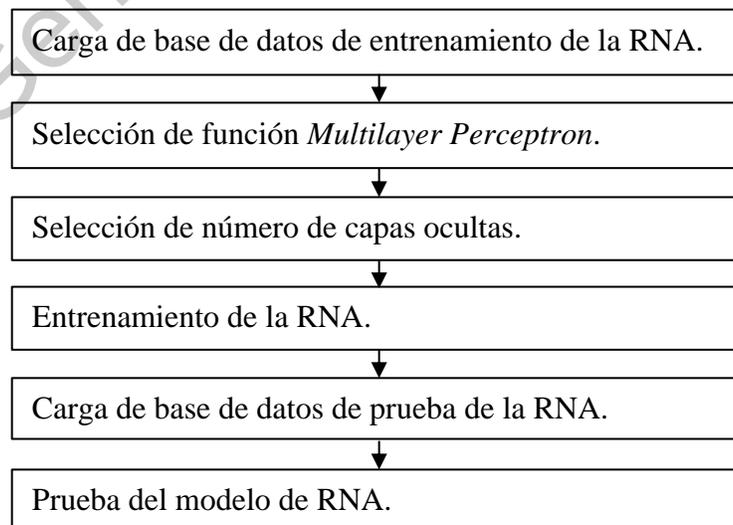


Figura 4. Diagrama de flujo para la predicción de valores en Weka.

La Figura 5 muestra las variables tomadas en cuenta para el modelo:

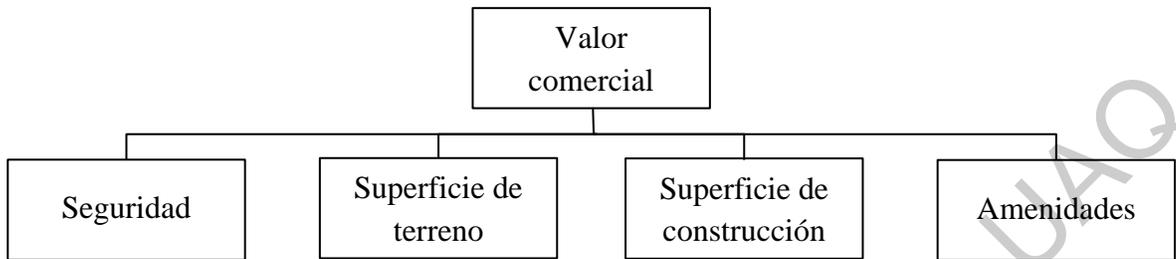


Figura 5. Variables utilizadas en el modelo de RNA.

La RNA se programó en dos etapas:

1. Entrenamiento: se utilizó un subconjunto de 70% de los datos, los cuales se procesaron mediante una red multicapa de propagación hacia atrás para minimizar el error cuadrático medio (ECM).
2. Prueba: con el fin de evitar un sobreajuste en el modelo y que perdiera su habilidad para generalizar el aprendizaje, se utilizó otro subconjunto de 30% de los datos.

Para el entrenamiento, se realizaron iteraciones con diferente número de nodos en la capa oculta. La Figura 6 muestra la estructura de RNA con un coeficiente de correlación de 1, así como un menor porcentaje de error donde x_1 es la variable seguridad, x_2 superficie de terreno, x_3 superficie de construcción, x_4 amenidades y y el valor comercial estimado.

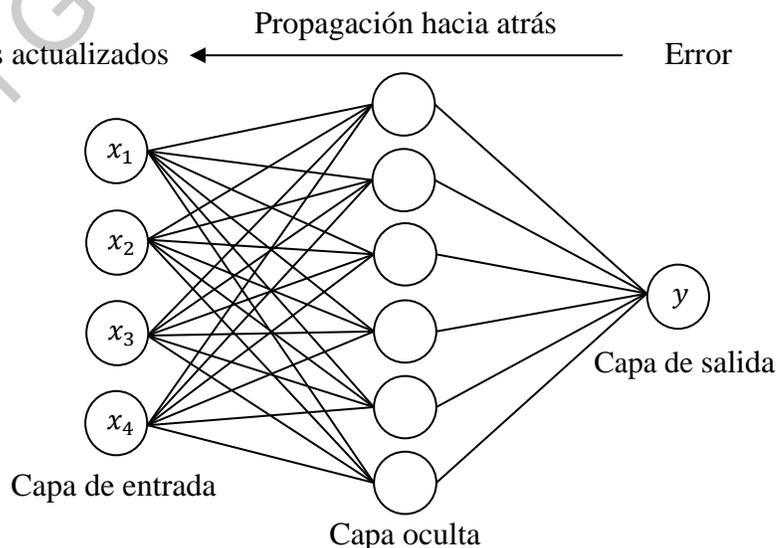


Figura 6. Estructura de la RNA.

Con la estructura anterior, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 38):

Tabla 38. Resultados de la estructura de RNA seleccionada.

Número de comparables.	7
Capa de entrada.	Seguridad, superficie de construcción (m^2), superficie de terreno (m^2) y amenidades.
Capa oculta.	6 nodos.
Capa de salida.	Precio de oferta (\$).
Tiempo de construcción del modelo.	33.63 segundos.
Tiempo para probar el modelo en los datos de entrenamiento.	0.01 segundos.
Coefficiente de correlación.	1
Error absoluto promedio.	\$2,259.9567
Error cuadrático promedio.	\$3,331.8081
Error absoluto relativo.	0.4891%
Error cuadrático relativo.	0.6219%

Después de proveer a la red la base de datos de prueba, las predicciones de los valores comerciales de las 10 propiedades resultaron ser las siguientes (Tabla 39):

Tabla 39. Predicciones de la RNA de propiedades en Juriquilla.

Comparable	Precio de oferta	Valor de predicción	Error de predicción	Error de predicción
	\$	\$	\$	%
1	3,700,000	3,700,719.384	719.384	0.019
2	3,200,000	3,207,838.787	7,838.787	0.245
3	3,650,000	3,652,927.505	2,927.505	0.080
4	4,150,000	4,152,405.795	2,405.795	0.058
5	2,660,000	2,659,541.702	-458.298	-0.017
6	2,550,000	2,550,518.170	518.170	0.020
7	3,150,000	3,150,951.756	951.756	0.030
8	3,990,000	3,998,249.496	8,249.496	0.207
9	2,670,000	2,627,007.464	-42,992.536	-1.610
10	3,300,000	3,318,170.651	18,170.651	0.551

3.6 Validación del modelo de RNA

Para validar la precisión del modelo de RNA respecto al método de mercado tradicional se realizó la estimación del valor comercial de una propiedad por el método de mercado por homologación y se comparó el error de estimación con el obtenido mediante la RNA. Se tomó como muestra la propiedad con el más alto error en la RNA, el comparable 9, cuyo precio de oferta es de \$2,670,000 y el valor estimado fue de \$2,627,007.464, es decir, el error de estimación fue de \$-42,992.536 (-1.610%).

La valuación del método de mercado consistió en utilizar las otras propiedades como comparables. Se aplicaron factores de ajuste de negociación, ubicación dentro de la colonia, edad, estado de conservación y proyecto, ya que son los que comúnmente utilizan los valuadores en avalúos comerciales. Cada factor se calculó de la siguiente manera:

- Factor de negociación: Ajuste por la diferencia entre el valor de oferta y el precio de cierre en una negociación en efectivo, en donde el vendedor y comprador actúan libremente y sin presiones (Tabla 40):

Tabla 40. Factor de negociación (INDAABIN, 2009).

Tipo	Comercial	Habitacional	Industrial
Ajuste	1.00 a 0.80	1.00 a 0.75	1.00 a 0.70

- Factor de ubicación dentro de la colonia: Este factor considera la posición del inmueble dentro de la manzana y su número de frentes (Tabla 41):

Tabla 41. Factor de ubicación dentro de la colonia (INDAABIN, 2009).

Tipo	Ajuste
Oculto con acceso.	1.10 a 0.70
Intermedio con 1 frente.	1.00
Esquina con 2 frentes.	1.05 a 1.15
Cabecero con 3 frentes.	1.05 a 1.20
Manzanero con 4 frentes.	1.05 a 1.30

- Factor de edad: Demérito por la antigüedad de la construcción (Ecuación 9) (INDAABIN, 2009):

$$ED = \frac{0.10VUT + 0.90(VUT - Eef)}{VUT} \quad (9)$$

Donde ED es el factor de demérito por edad, VUT la vida útil total, Eef la edad efectiva de la construcción ($VUT - VUR$) y VUR la vida útil remanente.

- Factor de estado de conservación: Es el grado de conservación de la propiedad y se estableció de acuerdo con lo siguiente (Tabla 42):

Tabla 42. Factor de estado de conservación (INDAABIN, 2009).

Grado de conservación	Rango	Descripción
Ruinoso.	0.00 a 0.09	Construcciones que por su estado deberían ser demolidas por tener elementos estructurales fracturados, partes destruidas, losas caídas, etc. También se consideran los inmuebles con acabados inservibles en elementos inservibles o de carga, con fracturas o fallas y que, en general, necesiten reparaciones mayores para ser habitables.
Reparaciones mayores.	0.10 a 0.79	Construcciones que requieren reparaciones o modificaciones que restituyan la estructura original, incluyendo cambio completo de acabados. Incluye construcciones donde la remodelación se combina con otros tipos constructivos.
Reparaciones sencillas.	0.80 a 0.89	Construcciones que necesitan arreglos no estructurales para estar en perfectas condiciones como cambio de cristales, pintura mayor en interiores y fachada, cambio de muebles de cocina y baño, cambio de alfombra, duela y reparación de pisos. Estas construcciones no requieren reparaciones estructurales. Incluye deterioro de instalaciones de drenaje, gas y equipo hidráulico.
Normal.	0.90 a 0.99	Construcciones que no presentan las características del rango “bueno”. Construcciones con humedad en muros y techos, necesidad de pintura en interiores e impermeabilización, pintura en interiores, fachada, en herrería y en general que requieren mantenimiento preventivo para devolverles las condiciones de la categoría de nuevos.
Bueno.	1.00 a 1.10	Construcciones nuevas y usadas que han recibido un mantenimiento adecuado y que están en perfectas condiciones para su función y categoría.

- Factor de proyecto: Este factor considera la funcionalidad, tamaño de los espacios, iluminación, ventilación, estética y confort (Tabla 43):

Tabla 43. Factor de proyecto (Aguilar, 2015).

Calificación	Ajuste
Excelente	1.10
Muy bueno	1.05
Bueno	1.00
Regular	0.95
Malo	0.90
Muy malo	0.85

Para realizar la homologación, primero se calculó el valor unitario de mercado (VUM) de cada comparable (Ecuación 10):

$$VUM = P/SV \quad (10)$$

Donde P es el precio de oferta y SV es la superficie vendible.

Enseguida, se calificaron los factores de ajuste para determinar el factor resultante (FR) (Ecuación 11). El factor resultante debe estar en un rango de 0.50 a 1.50 y si es mayor que 1.00, entonces el sujeto es mejor que el comparable y viceversa.

$$FR = \frac{NEG * UDC * ED * EC * PRO_{Sujeto}}{NEG * UDC * ED * EC * PRO_{Comparable}} \quad (11)$$

Donde NEG es el factor de negociación, UDC es el factor de ubicación dentro de la colonia, ED es el factor de edad, EC es el factor de estado de conservación y PRO es el factor de proyecto.

Una vez establecido el FR, se calculó el valor unitario homologado (VUH) de cada comparable (Ecuación 12):

$$VUH = VUM * FR \quad (12)$$

Finalmente, se obtuvo el valor unitario homologado del sujeto mediante el promedio de los valores unitarios homologados de los comparables y se determinó el nivel de oferta y demanda (OD) para determinar su valor comparativo de mercado (VCM) (Ecuación 13):

$$VCM = VUH * OD * SV \quad (13)$$

Tabla 44. Tabla de homologación.

COM	Precio de oferta	SV	ST	VUM	Factores de ajuste						Valor unitario homologado	POND
	\$	m ²	m ²	\$/m ²	NEG	UDC	ED	EC	PRO	FR	\$/m ²	%
Sujeto		145.00	160.00		0.97	1.00	1.00	1.00	1.00			
1	3,700,000.00	230.00	185.00	16,086.96	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	16,086.98	11.11
2	3,200,000.00	210.00	160.00	15,238.10	0.97	1.00	1.00	1.00	1.05	0.95	14,512.47	11.11
3	3,650,000.00	217.00	298.00	16,820.28	0.97	1.15	1.00	1.00	1.10	0.79	13,296.66	11.11
4	4,150,000.00	250.00	180.00	16,600.00	0.95	1.00	0.99	1.00	1.00	1.03	17,170.23	11.11
5	2,660,000.00	195.00	128.00	13,641.03	0.97	1.00	1.00	1.00	0.95	1.05	14,358.97	11.11
6	2,550,000.00	130.00	210.00	19,615.38	0.95	1.00	0.95	1.00	0.95	1.13	22,225.49	11.11
7	3,150,000.00	160.00	200.00	19,687.50	0.97	1.00	1.00	0.90	1.05	1.06	20,833.33	11.11
8	3,990,000.00	246.00	250.00	16,219.51	0.97	1.00	1.00	0.90	0.95	1.17	18,970.19	11.11
9	3,300,000.00	150.00	277.00	22,000.00	0.97	1.00	1.00	1.00	0.95	1.05	23,157.89	11.11
Valor unitario homologado											17,845.80	100.00
Nivel de oferta y demanda del sujeto											1.00	
Valor unitario de mercado											17,845.80	
Valor comparativo de mercado											2,587,641.06	

La Tabla 45 muestra los resultados de la valuación del sujeto por ambos métodos:

Tabla 45. Comparación de resultados del modelo de RNA y el método de mercado.

	Unidad	RNA	Método de mercado
Estimación del valor	\$	2,627,007.46	2,587,641.06
Error de estimación	\$	-42,992.54	-82,358.94
Error de estimación	%	-1.61	-3.18

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Variables explicativas del valor comercial en el sector habitacional

De acuerdo con las encuestas realizadas a propietarios, potenciales compradores, arquitectos/constructores, valuadores de bienes inmuebles y asesores inmobiliarios, así como la recopilación de las características de la vivienda que el gobierno propicia y valora, las variables que determinan el valor de una vivienda residencial de clase media son:

1. Seguridad
2. Superficie de construcción
3. Superficie de terreno
4. Amenidades
5. Equipamiento
6. Estado de conservación de la construcción
7. Proyecto
8. Cajones de estacionamiento
9. Número de recámaras
10. Materiales de construcción
11. Instalaciones especiales
12. Espacios abiertos
13. Edad de la construcción
14. Número de baños

Cada grupo de encuestados determinó la importancia de estas variables de diferente manera, sin embargo, mediante la agrupación de las opiniones por el método GP extendida, se encontró que las variables más valoradas fueron seguridad (14%), superficie de construcción (11%), superficie de terreno (10%) y amenidades (8%). La importancia del resto de las variables se puede agrupar en equipamiento, estado de conservación de la construcción y proyecto (7%), cajones de estacionamiento, número de recámaras y materiales de

construcción (6%), instalaciones especiales y espacios abiertos (5%) y, finalmente, edad de la construcción y número de baños (4%) (Figura 7).

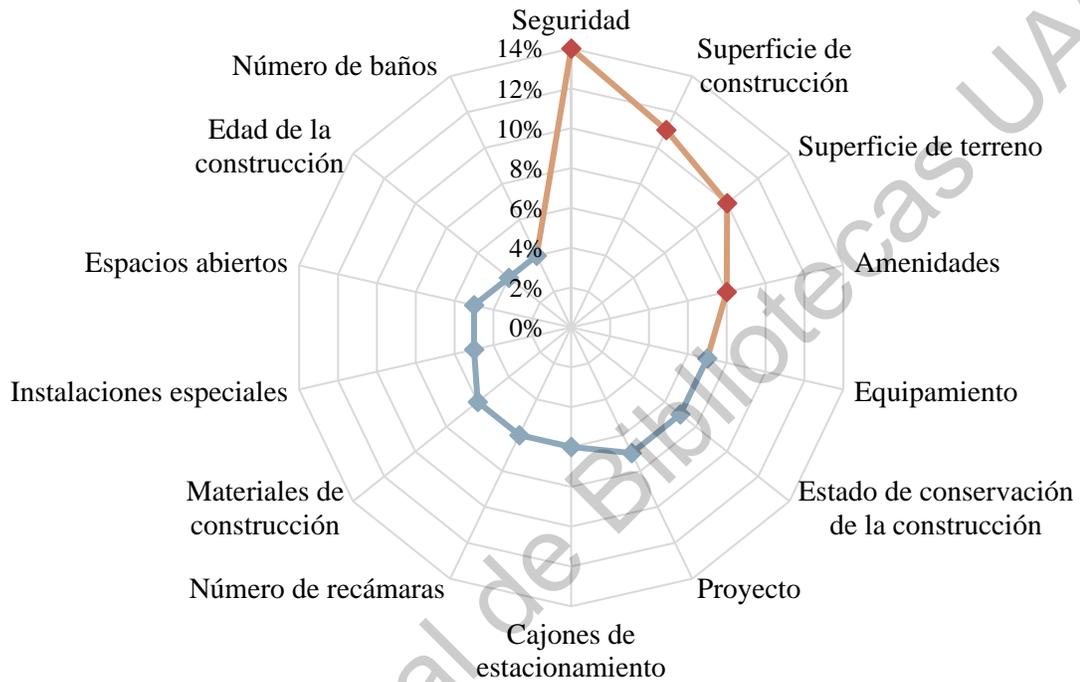


Figura 7. Ponderación de variables explicativas del valor según los encuestados.

Resulta interesante que en la primera parte de las encuestas abiertas la variable seguridad solo fue mencionada 4 veces y la variable amenidades 2 veces; además, nadie las seleccionó en esa etapa de la investigación como parte de las variables que más influyen en el valor de la vivienda. Sin embargo, una vez que los encuestados las ponderaron respecto a las demás variables en las matrices de comparación pareadas resultaron pertenecer al grupo de las variables más valoradas.

Lo anterior añade complejidad en los criterios para la selección de variables en la valuación por mercado, ya que la discrepancia sugiere que el número y tipo de variables dependen de la claridad que tengan los involucrados sobre aquellas que valoran más. Por ello, para evitar la omisión de variables relevantes y sesgos, se realizó la encuesta de forma

abierta y se complementaron las variables con las valoradas por el gobierno. Además, este problema justifica la importancia de usar de manera complementaria métodos más precisos y tolerantes a fallos como las RNA para la estimación de los valores.

4.2 Predicción de los valores de oferta por RNA

La selección del modelo de RNA con las predicciones más precisas implicó realizar entrenamientos de la red con diferente número de nodos en la capa oculta hasta encontrar el modelo con el mayor coeficiente de correlación y menor porcentaje de error. Se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 8-Figura 13) (Tabla 46-Tabla 51):

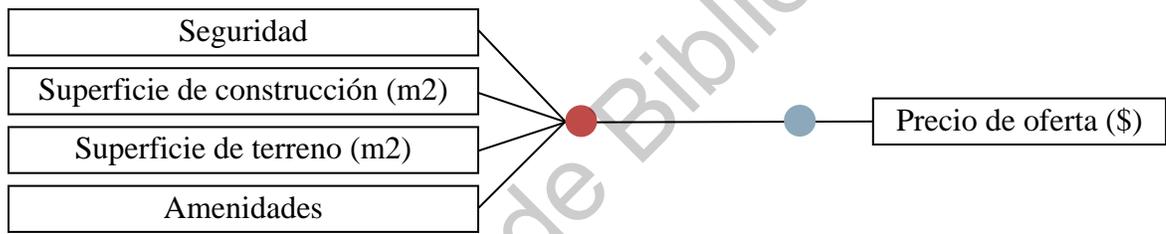


Figura 8. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 1 nodo.

Tabla 46. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 1 nodo.

	Precio de oferta	Predicción	Error	Resumen	
	\$	\$	\$		
1	3,700,000.00	3,660,276.30	-39,723.70	Tiempo de construcción del modelo	5.28 seg.
2	3,200,000.00	3,054,913.12	-145,086.88	Tiempo de prueba del modelo	0 seg.
3	3,650,000.00	3,626,085.25	-23,914.75	Coeficiente de correlación	0.9401
4	4,150,000.00	4,109,247.27	-40,752.73	Error absoluto medio	\$139,233.30
5	2,660,000.00	2,801,449.20	141,449.20	Error absoluto relativo	0.4891%
6	2,550,000.00	2,695,443.48	145,443.48	Número de instancias	7
7	3,150,000.00	2,711,737.65	-438,262.35		

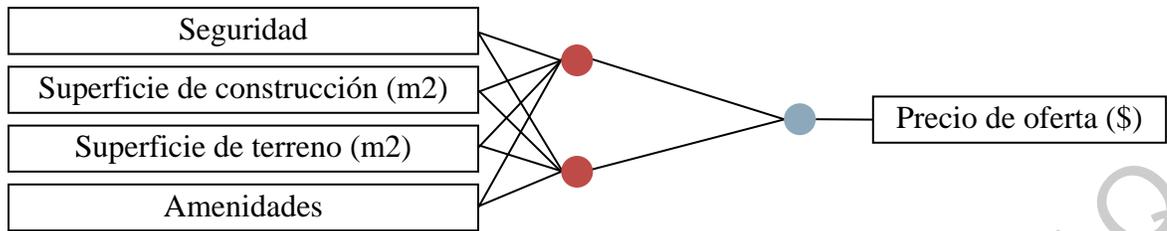


Figura 9. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 2 nodos.

Tabla 47. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 2 nodos.

	Precio de oferta	Predicción	Error	Resumen	
	\$	\$	\$		
1	3,700,000.00	3,699,548.89	-451.11	Tiempo de construcción del modelo	46.95 seg.
2	3,200,000.00	3,235,833.79	35,833.79	Tiempo de prueba del modelo	0 seg.
3	3,650,000.00	3,669,728.61	19,728.61	Coefficiente de correlación	0.9997
4	4,150,000.00	4,155,226.61	5,226.60	Error absoluto medio	\$10,596.75
5	2,660,000.00	2,653,603.57	-6,396.43	Error absoluto relativo	2.2935%
6	2,550,000.00	2,554,812.10	4,812.10	Número de instancias	7
7	3,150,000.00	3,148,271.37	-1,728.63		

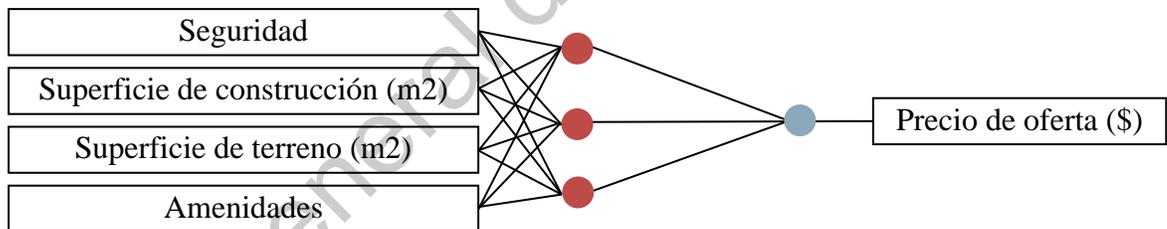


Figura 10. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 3 nodos.

Tabla 48. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 3 nodos.

	Precio de oferta	Predicción	Error	Resumen	
	\$	\$	\$		
1	3,700,000.00	3,661,032.11	-38,967.89	Tiempo de construcción del modelo	50.03 seg.
2	3,200,000.00	3,114,629.54	-85,370.46	Tiempo de prueba del modelo	0 seg.
3	3,650,000.00	3,633,316.05	-16,683.95	Coefficiente de correlación	0.9642
4	4,150,000.00	4,112,383.22	-37,616.78	Error absoluto medio	\$102,226.15
5	2,660,000.00	2,880,700.85	220,700.85	Error absoluto relativo	22.1249%
6	2,550,000.00	2,538,092.08	-11,907.92	Número de instancias	7
7	3,150,000.00	2,845,664.79	-304,335.22		

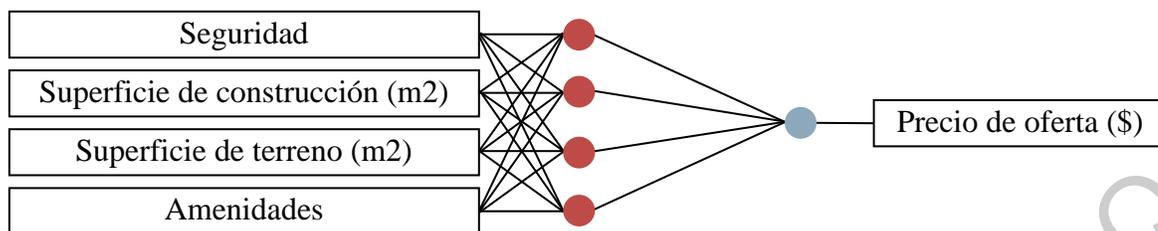


Figura 11. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 4 nodos.

Tabla 49. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 4 nodos.

	Precio de oferta	Predicción	Error	Resumen
	\$	\$	\$	
1	3,700,000.00	3,674,630.91	-25,369.09	Tiempo de construcción del modelo 41.37 seg.
2	3,200,000.00	3,111,613.40	-88,386.60	Tiempo de prueba del modelo 0 seg.
3	3,650,000.00	3,625,706.95	-24,293.05	Coefficiente de correlación 0.9988
4	4,150,000.00	4,115,745.95	-34,254.05	Error absoluto medio \$29,820.01
5	2,660,000.00	2,667,842.14	7,842.14	Error absoluto relativo 6.454%
6	2,550,000.00	2,544,480.77	-5,519.23	Número de instancias 7
7	3,150,000.00	3,126,924.06	-23,075.94	

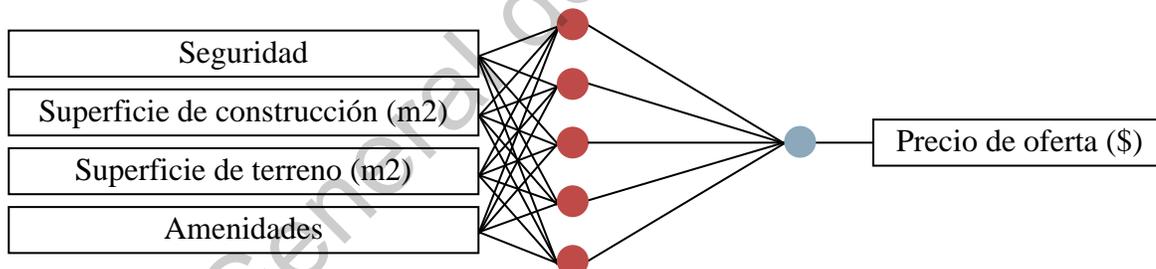


Figura 12. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 5 nodos.

Tabla 50. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 5 nodos.

	Precio de oferta	Predicción	Error	Resumen
	\$	\$	\$	
1	3,700,000.00	3,686,302.23	-13,697.77	Tiempo de construcción del modelo 53.09 seg.
2	3,200,000.00	3,142,275.97	-57,724.03	Tiempo de prueba del modelo 0.02 seg.
3	3,650,000.00	3,636,678.92	-13,321.08	Coefficiente de correlación 0.9995
4	4,150,000.00	4,126,609.42	-23,390.58	Error absoluto medio \$18,801.95
5	2,660,000.00	2,664,071.83	4,071.83	Error absoluto relativo 4.0693%
6	2,550,000.00	2,546,388.15	-3,611.85	Número de instancias 7
7	3,150,000.00	3,134,203.52	-15,796.48	

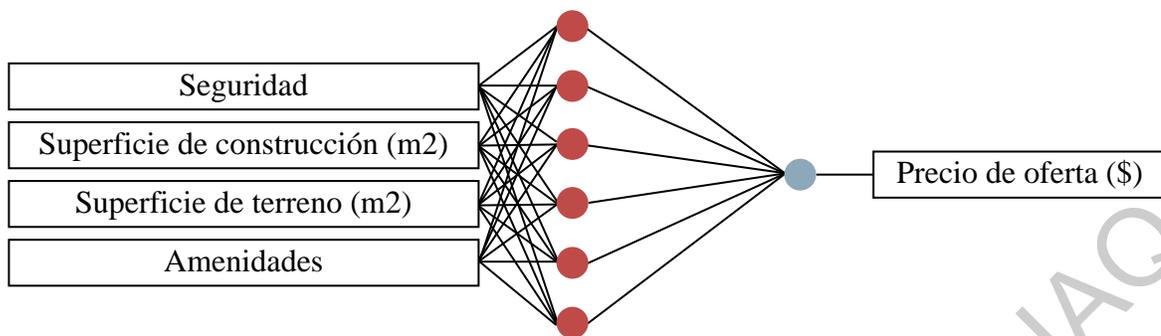


Figura 13. Estructura de la RNA de 1 capa oculta con 6 nodos.

Tabla 51. Resultados de la RNA de 1 capa oculta con 6 nodos.

	Precio de oferta	Predicción	Error	Resumen
	\$	\$	\$	
1	3,700,000.00	3,700,719.38	719.38	Tiempo de construcción del modelo 33.63 seg.
2	3,200,000.00	3,207,838.79	7,838.79	Tiempo de prueba del modelo 0.01 seg.
3	3,650,000.00	3,652,927.51	2,927.51	Coefficiente de correlación 1
4	4,150,000.00	4,152,405.80	2,405.80	Error absoluto medio \$2,259.96
5	2,660,000.00	2,659,541.70	-458.30	Error absoluto relativo 0.4891%
6	2,550,000.00	2,550,518.17	518.17	Número de instancias 7
7	3,150,000.00	3,150,951.76	951.76	

La Tabla 52 muestra el resumen de los resultados obtenidos en el modelo de RNA con diferente número de nodos en la capa oculta:

Tabla 52. Resumen de resultados del modelo de RNA.

Número de nodos en la capa oculta	Tiempo de construcción del modelo	Coefficiente de correlación	Error absoluto medio	Error absoluto relativo
	seg.		\$	%
1 nodo	5.29	0.9401	139,233.2982	30.1344
2 nodos	46.95	0.9947	10,596.7533	2.2935
3 nodos	50.03	0.9642	102,226.1515	22.1249
4 nodos	41.37	0.9988	29,820.0140	6.4540
5 nodos	53.09	0.9995	18,801.9450	4.0693
6 nodos	33.63	1.0000	2,259.9567	0.4891

Aunque se requirió realizar diferentes entrenamientos para encontrar el modelo con el número de nodos en la capa oculta con mejores estimaciones, el tiempo de construcción

del modelo con 10 comparables fue bajo (5.29 seg. a 53.09 seg.). Esto demuestra mayor capacidad de las RNA para la producción de valores que otro tipo de métodos como el método de mercado en el que la valuación de una sola propiedad requiere más tiempo.

Por otro lado, el coeficiente de correlación en todos los casos fue alto (0.9401 a 1.0000), por lo que existe una gran dependencia entre las variables de la capa de entrada del modelo. Asimismo, aunque el error absoluto relativo de la RNA con una capa oculta fue considerable (30.1344%), esto se debió a que el número de nodos en la capa oculta no fue suficiente para el modelo de propagación hacia atrás, ya que la RNA con 6 nodos en la capa oculta tuvo un error absoluto relativo de 0.489%.

La RNA seleccionada con 6 nodos en la capa oculta para la predicción de los valores comerciales de las 10 propiedades en Juriquilla tuvo un error absoluto medio de \$8,523.238 (0.284%) y un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9994, lo que muestra un buen ajuste a los precios de mercado (Figura 14).

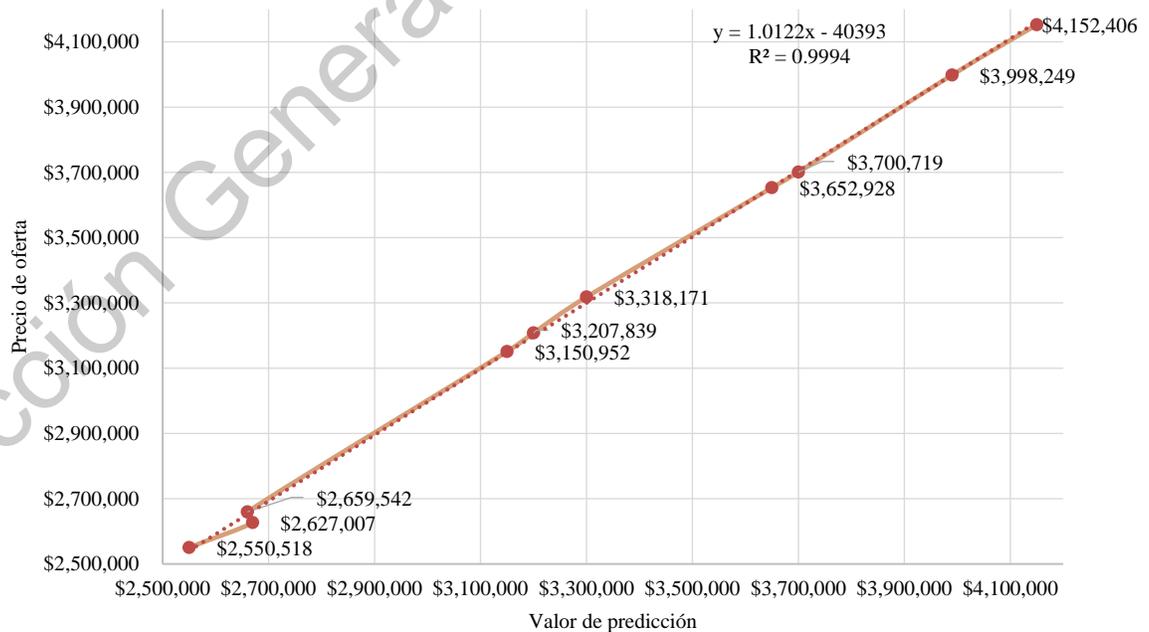


Figura 14. Gráfica comparativa de los precios de oferta y los valores de predicción de propiedades en Juriquilla (MXN).

El menor error se obtuvo en el comparable 5 de $-\$458.298$ (-0.017%), mientras que el mayor error en el comparable 9 de $-\$42,992.54$ (-1.61%). En general, el modelo de RNA mostró un muy buen grado de precisión respecto al precio de oferta con las variables seleccionadas (seguridad, superficie de construcción, superficie de terreno y amenidades) (Figura 15).

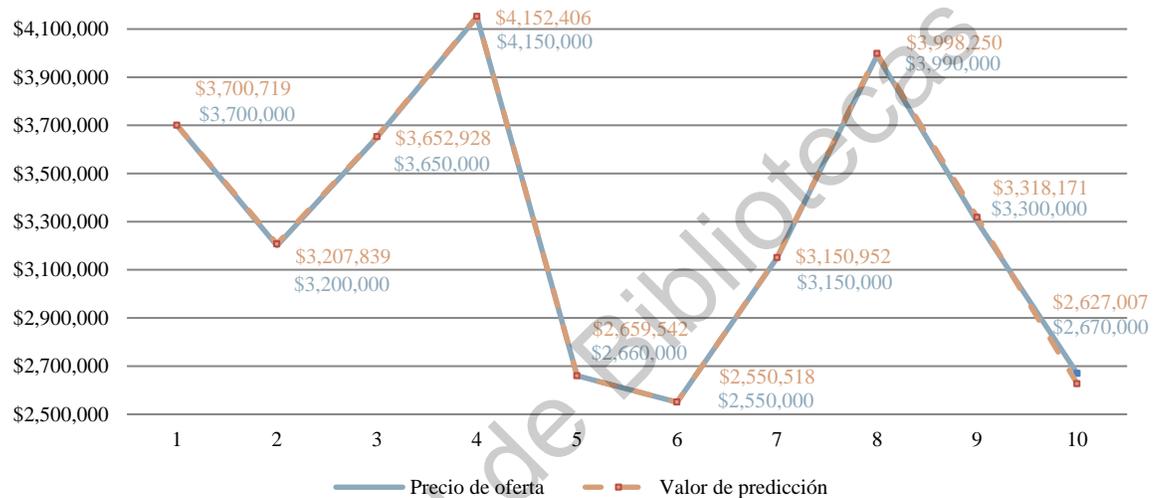


Figura 15. Gráfica comparativa de valores de propiedades en Juriquilla (MXN).

De acuerdo con la predicción de los valores de oferta, se puede inferir que la mayoría de las propiedades muestra están ofertadas en un precio justo respecto al mercado y que las diferencias pueden deberse a que comúnmente los propietarios redondean el precio de sus inmuebles al momento de ofertarlos. Sin embargo, en el caso de los comparables 9 y 10 el error de predicción es más alto, por lo que se concluye que el comparable 9 está sobrevaluado por $-\$42,992.54$ mientras que el comparable 10 está subvaluado por $-\$18,170.65$ en relación con el mercado.

4.3 Comportamiento del modelo de RNA en otras zonas de Querétaro

Con el objetivo de comprobar la importancia de las variables seleccionadas (seguridad, superficie de construcción, superficie de terreno y amenidades) y la capacidad de generalización del modelo, una de las ventajas de las RNA, se creó una segunda base de datos con 10 propiedades muestra de tipo residencial medio en diversas zonas de Querétaro (Tabla 53). Se seleccionaron propiedades considerablemente diferentes respecto a su ubicación, (por ejemplo, Lomas de Casablanca y Juriquilla), seguridad (suficiente e insuficiente), superficie de construcción ($120\text{-}200\text{ m}^2$), superficie de terreno ($105\text{-}250\text{ m}^2$) y amenidades (excelentes, buenas y regulares). Además, se incluyeron propiedades ofertadas en un rango amplio de \$1,950,000 a \$3,150,000.

Tabla 53. Estudio de mercado en Querétaro (Inmuebles 24 y Propiedades.com, 2021).

Comparable	Ubicación	Seguridad	Superficie de construcción m^2	Superficie de terreno m^2	Amenidades	Precio de oferta \$
1	Sonterra	2	140	136	2	2200000
2	Lomas de Casablanca	1	194	129	3	3100000
3	Juriquilla	1	120	165	3	1950000
4	Milenio III	1	187	164	1	3100000
5	El Refugio	1	200	250	2	3000000
6	Plazas del Sol	1	120	105	1	1980000
7	Monteblanco II	1	149	128	1	2300000
8	Quintas del Marqués	2	143	162	1	2350000
9	Cumbres del Lago	1	198	194	1	3150000
10	Misión Cimatario	1	145	126	1	2250000

Con estas propiedades, no fue posible encontrar una estructura de RNA que arrojara un coeficiente de correlación de 1.0000, como en el caso de las propiedades ubicadas en una sola zona, Juriquilla. No obstante, el tiempo de construcción del modelo en la fase de entrenamiento también fue bajo (1.04 seg. a 1.39 seg.) y el coeficiente de correlación alto

(0.9962 a 0.9996). El error absoluto medio varió de \$37,816.6511 a \$71,019.4022 y el error absoluto relativo de 10.6170% a 19.9386% (Tabla 54).

Tabla 54. Resultados de los modelos de RNA con propiedades de Querétaro.

Número de nodos en la capa oculta	Tiempo de construcción del modelo	Coefficiente de correlación	Error absoluto medio	Error absoluto relativo
	seg.		\$	%
1 nodo	1.23	0.9996	43,379.9469	12.1789
2 nodos	1.20	0.9994	43,561.2011	12.2297
3 nodos	1.32	0.9985	37,816.6511	10.6170
4 nodos	1.17	0.9990	42,190.0137	11.8448
5 nodos	1.39	0.9984	44,429.4293	12.4735
6 nodos	1.19	0.9962	71,019.4022	19.9386
7 nodos	1.12	0.9973	61,181.0913	17.1765
8 nodos	1.12	0.9973	43,610.9200	12.2437
9 nodos	1.13	0.9975	65,855.7757	18.4889
10 nodos	1.04	0.9975	61,729.1628	17.3304

Se seleccionó la estructura de red con el menor error absoluto medio para predecir el precio de oferta de las 10 propiedades en Querétaro (Tabla 55). La red consistió en las mismas variables en la capa de entrada (seguridad, superficie de construcción, superficie de terreno y amenidades) y 3 nodos en la capa oculta.

Tabla 55. Predicciones de la RNA de propiedades en Querétaro.

Comparable	Precio de oferta	Valor de predicción	Error de predicción	Error de predicción
	\$	\$	\$	%
1	2,200,000	2,200,223.891	223.891	0.010
2	3,100,000	3,100,193.699	193.699	0.06
3	1,950,000	1,949,216.993	-783.007	-0.040
4	3,100,000	3,099,381.906	-618.094	-0.020
5	3,000,000	3,000,076.268	76.268	0.003
6	1,980,000	1,980,063.869	63.869	0.003
7	2,300,000	2,299,428.559	-571.441	-0.025
8	2,350,000	2,270,324.154	-79,675.846	-3.390
9	3,150,000	3,143,675.243	-6,324.757	-0.201
10	2,250,000	2,222,550.649	-27,449.351	-1.220

A pesar de que la capacidad de predicción del modelo fue menor que en el caso en el que se utilizaron como muestra propiedades exclusivamente en Juriquilla, el error absoluto medio no fue considerable porcentualmente, ya que fue 0.492% (\$11,598.022) y el coeficiente de determinación mostró un buen ajuste ($R^2 = 0.9974$) (Figura 16). El menor error se obtuvo en el comparable 6 que se sobrevaluó por 0.003% (\$63.869) y el mayor error en el comparable 8 que se subvaluó por 3.390% (\$79,675.846).



Figura 16. Gráfica comparativa de los precios de oferta y los valores de predicción de propiedades en Querétaro (MXN).

La Figura 17 muestra que, aunque las propiedades cuentan con características considerablemente diferentes, el modelo tiene una alta capacidad de predicción. Sin embargo, los resultados sugieren que cuando se utilizan comparables de diferentes zonas el modelo mejoraría si se agrega la variable ubicación, ya que la precisión de la RNA aumenta cuando los inmuebles se encuentran en el mismo lugar.

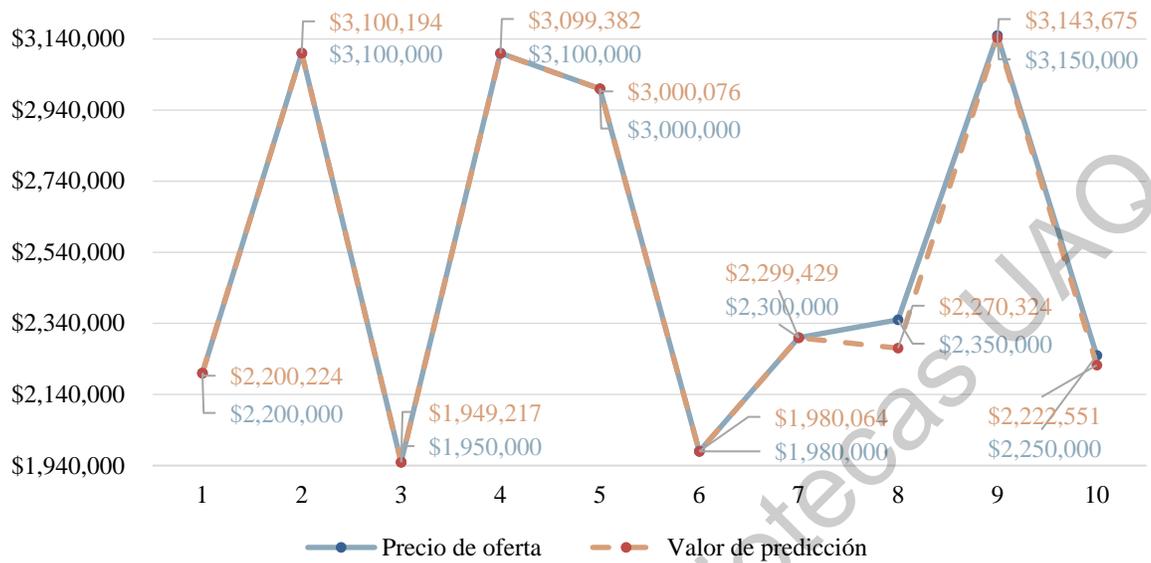


Figura 17. Gráfica de valores de propiedades en Querétaro (MXN).

5. CONCLUSIONES

Los factores que determinan el precio de un bien inmueble pueden ser complejos y variados; sin embargo, actualmente existen métodos y herramientas tecnológicas como los métodos multicriterio y redes neuronales artificiales que permiten tomar en cuenta la opinión de los diversos grupos involucrados y reflejar con mayor certeza el comportamiento del mercado para estimar el precio de una propiedad de manera más precisa. En el sector habitacional esto es relevante, ya que conocer cómo se determina el valor de una vivienda hace posible tener más control sobre dicho patrimonio o inversión que representa gran parte del ingreso anual de una familia. Con esta información, las personas que desean construir o vender una propiedad pueden realizar mejoras enfocadas en estas variables para incrementar el precio de oferta del inmueble. Asimismo, los valuadores que realizan avalúos con fines de consultoría pueden realizar valuaciones de mercado más precisas que contemplen los factores más relevantes que influyen en el valor de una casa habitación de clase media en Querétaro.

Los resultados de esta investigación demostraron que, como se planteó en la hipótesis, la aplicación del método multicriterio AHP + GP extendida para la discriminación de

variables explicativas del valor en el sector habitacional ayudó a disminuir la subjetividad en la selección y análisis de los factores de homologación. En el método de mercado utilizado en la actualidad para realizar avalúos con fines comerciales, los valuadores escogen las variables que consideran más importantes para describir el valor de una propiedad según su criterio y es poco común que consulten a otros expertos; además, ni los propietarios de los inmuebles, ni los potenciales compradores son consultados respecto a las variables que estiman pertinentes lo que aumenta la subjetividad en la valuación. En contraste, el método AHP + GP extendida permitió considerar la opinión de todos los involucrados en el proceso de compraventa de una casa habitacional y así reducir la subjetividad en la selección de los factores que determinan el valor de un inmueble habitacional con un criterio más integral.

Mediante el método AHP + GP extendida se determinó que las variables más valoradas son seguridad, superficie de construcción, superficie de terreno y amenidades. La importancia de las variables seguridad y amenidades son representativas de un cambio en el mercado. Anteriormente, las casas se encontraban en calles abiertas y los propietarios eran responsables de instalar los sistemas de seguridad; sin embargo, ante el incremento de robo a casas habitacionales, los fraccionamientos y condominios que ofrecen caseta de vigilancia, cámaras de seguridad, entre otros, incrementaron su popularidad. Por otro lado, aunque antes los parques públicos fungían como amenidades para todos, actualmente existen mayores facilidades como créditos bancarios que permiten a las personas adquirir una casa en condominio con amenidades como alberca que de otra forma no tendrían. Además, debido a situaciones como la pandemia por COVID-19, en la que permanecer en casa es esencial y la interacción social limitada, podría incrementar el interés por casas en lugares que ofrecen amenidades al aire libre con menor aforo del que habría en una plaza o parque público.

Las variables seleccionadas fueron aplicadas en un modelo de inteligencia artificial con el que se pudo estimar los valores comerciales de los bienes con un buen grado de precisión. El modelo de RNA en el que se utilizaron como propiedades muestra inmuebles ubicados en una sola zona, Juriquilla, tuvo un error absoluto medio de 0.284%; mientras que cuando se consideraron propiedades de diferentes zonas el error absoluto medio fue de

0.492%. A pesar de que en el segundo caso el error fue casi el doble, ambos mostraron una alta capacidad de predicción.

Por otro lado, se demostró que aun en el caso en que el modelo de RNA estimó el valor del comparable 9 de propiedades en Juriquilla con un error considerable en términos monetarios, su capacidad de predicción fue mejor que el método tradicional de mercado. La RNA subestimó el valor del comparable 9 por \$42,992.54 (1.61%), mientras que en el método de mercado se subestimó por \$82,358.94 (3.18%). Sin embargo, es evidente en la valuación por ambos métodos que el precio de oferta de esta propiedad está sobrevalorado respecto al mercado.

Aunque los resultados de este proyecto de investigación no son directamente aplicables a otro tipo de viviendas ya que tendrían que seleccionarse otras variables, la metodología propuesta es replicable en otras ciudades, diferentes rangos habitacionales o incluso tipologías (*i.e.*, comercial, industrial, agropecuario y usos mixtos). Para ello, se deben seleccionar el grupo o grupos de encuestados adecuados al tema y tener una base de datos confiable.

Finalmente, resulta interesante que, aunque los métodos de valuación tradicionales consideran que los comparables deben ser lo más similares posibles para estimar el valor de un inmueble, el modelo de RNA resultó ser capaz de predecir los valores comerciales de las propiedades incluso cuando los comparables fueron significativamente diferentes en ubicación, seguridad, superficie de construcción, superficie de terreno, amenidades y precio de oferta. En algunas ocasiones, no existen comparables en la misma zona que el inmueble a valorar, por lo que la metodología propuesta es una alternativa eficiente. Asimismo, la metodología podría tener una buena aceptación entre los valuadores ya que solo requiere una laptop con acceso a internet y los programas Excel y Weka que cuentan con una interfaz amigable. En un proyecto futuro se analizará la integración de toda la metodología en un solo programa.

REFERENCIAS

- Aguilar, N.H. (2015). Rangos, fórmulas y factores de ajuste al momento de ejecutar la homologación. *Renovación, transformación y renacimiento en la valuación, con el lema: Primavera y valuación*. Recuperado de <https://fecoval.org/wp-content/uploads/2016/09/ochomorelos.pdf>
- Albores, C. (3 de noviembre de 2019). Ubicación de Querétaro, rol importante en adquisición de vivienda. *AM Querétaro*. Recuperado de <https://amqueretaro.com/queretaro/2019/11/03/ubicacion-de-queretaro-rol-importante-en-adquisicion-de-vivienda/>
- Aznar, J., & Guijarro, F. (2012). *Nuevos métodos de valoración: Modelos multicriterio*. Valencia, España: Universitat Politècnica de Valencia.
- Aznar, J., & Estruch, A.V. (2015). *Valoración de activos ambientales: teoría y casos*. Valencia, España: Universitat Politècnica de Valencia.
- Caridad, J. M., Núñez, J. M., & Ceular, N. (2008). Metodología de precios hedónicos vs. Redes Neuronales Artificiales como alternativas a la valoración de inmuebles. Un caso real. *CT: Catastro*, 27-41. Recuperado de http://www.catastro.meh.es/documentos/publicaciones/ct/ct62/ct62_3.pdf
- Crosby, H., Davis, P., Damoulas, T., & Jarvis, S. A. (2016). A spatio-temporal, Gaussian process regression, real-estate price predictor. *SIGSPACIAL '16: Proceedings of the 24th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, 1-4. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1145/2996913.2996960>
- Estrella, V. (23 de noviembre de 2018). Incrementan costos de vivienda residencial en Querétaro. *El Economista*. Recuperado de <https://www.economista.com.mx/estados/Incrementan-costos-de-vivienda-residencial-en-Queretaro-20181123-0005.html>
- Fitch, J.M. (2016). Sistema de valuación masiva de inmuebles para tasaciones. *Contexto*, 10(13), 51-63. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3536/353647474005>

- Flórez, R., & Fernández, J.M. (2008). *Las redes neuronales artificiales. Fundamentos teóricos y aplicaciones prácticas*. Coruña, España: Netbiblo.
- Galindo, L. (2018). Un posgrado en valuación en línea y su transición de una visión unidisciplinar a una transdisciplinar. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 5(10). Recuperado de <https://pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/798>
- García, R. (2016). *Análisis de las preferencias de la demanda en el mercado de la vivienda en la ciudad de Valencia. Su impacto en la predicción del precio* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Gobierno de México. (2019). *Ley de Vivienda*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/478059/Ley_de_Vivienda.pdf
- Gobierno del Estado de Querétaro (2 de diciembre de 2019). Periódico oficial del gobierno del estado de Querétaro. *La Sombra de Arteaga*. Recuperado de <https://lasombradearteaga.segobqueretaro.gob.mx/>
- Guadalajara, N. (2014). *Métodos de valoración inmobiliaria*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Hernández, F. (2016). *Historia de Jurica Campestre*. Recuperado de <https://federicohernandezruiz.com/2016/08/12/historia-de-jurica-campestre/>
- Inmuebles 24. (2 de octubre de 2020). *Casas o dúplex o casa en condominio en venta en Juriquilla, Querétaro*. Recuperado de <https://www.inmuebles24.com/casas-o-duplex-o-casa-en-condominio-en-venta-en-juriquilla.html>
- Inmuebles 24. (10 de enero de 2021). *Casas o dúplex o casa en condominio en venta en Querétaro*. Recuperado de <https://www.inmuebles24.com/casas-o-duplex-o-casa-en-condominio-en-venta-en-queretaro.html>
- Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales (INDAABIN). (2009). *Recopilación de rangos, fórmulas y factores de ajuste*. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/470731619/Recopilacion-de-rangos-y-factores-de-ajuste-INDAABIN>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa*. Recuperado de

https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/AEGPEF_2019/702825192242.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de población y vivienda 2020: Resumen ejecutivo*. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/resumen_ejecutivo_2020.pdf

International Valuation Standards Council (IVSC). (2019). *International Valuation Standards*. Londres, Inglaterra.

Jiayin, L., Jianguang, W., & Shengjun, Z. (2018). A study on non-traditional factors affecting price differences of real estate in different regions-based on 35 chinese cities panel data. *ICIBE' 18: Proceedings of the 4th International Conference on Industrial and Business Engineering*, 1-8. Recuperado de <https://doi.org/10.1145/3288155.3288156>

Kuvalekar, A., Shivani, M., Mahadik, S., & Jawale, S. (2020). House price forecasting using machine learning. *Proceedings of the 3rd International Conference on Advances in Science & Technology (ICAST)*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3565512>

Lopez-Arredondo, L. P., Perez, C. B., Castro, L. A., & Rodriguez, L. F. (2019). Estudio sobre la percepción de los factores involucrados en la estimación de precios de viviendas: El caso de Cajeme. *Información Tecnológica*, 30(2), 11-24. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200011>

Márquez, M. (28 de marzo de 2019). Se dispara 20% valor de vivienda, indican. *El Economista*. Recuperado de <https://www.eluniversalqueretaro.mx/cartera/se-dispara-20-valor-de-vivienda-indican>

Méndez, J. L. (2010). *Integración del factor de homologación del método de mercado empleado en la valuación de la vivienda unifamiliar en Mazatlán, Sinaloa, México* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Catalunya, Cataluña, España.

Montoya, J.C. (2019). *Modelo de valoración de propiedad raíz mediante el uso de redes neuronales* (tesis de grado). Universidad EIA, Antioquia, Colombia.

Municipio de Querétaro. (2019). *Reglamento de construcción para el municipio de Querétaro*. Recuperado de

http://webservices.municipiodequeretaro.gob.mx/mejora_regulatoria/images/documento.png

- Muñoz, B., & Romana, M. (2019). Espacios métricos y métodos de decisión multicriterio. *Pensamiento Matemático*, 9(1), 41-54. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7035187.pdf>
- Niu, J., & Niu, P. (2019). An intelligent automatic valuation system for real estate based on machine learning. *AIIICC '19: Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence, Information Processing and Cloud Computing*, 1-6. Recuperado de <https://doi.org/10.1145/3371425.3371454>
- Núñez, J., Rey, F., & Caridad, J. M. (2017). Redes Neuronales (RN) aplicadas a la valoración de locales comerciales. *Informes de la Construcción*, 69(545), 2-10. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3989/ic.15.053>
- Obras. (31 de marzo de 2020). Las 4 amenidades más ofertadas en las viviendas mexicanas. *Expansión*. Recuperado de <https://obras.expansion.mx/inmobiliario/2020/03/31/las-4-amenidades-mas-ofertadas-en-las-viviendas-mexicanas>
- Peter, N.J., Okagbue, H.I., Obasi, E., & Akinola, A.O. (2020). Review on the Application of Artificial Neural Networks in Real Estate Valuation. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(3), 2918-2925. Recuperado de <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/66932020>
- Propiedades.com. (2 de octubre de 2020). *Inmuebles residenciales en venta en Juriquilla*. Recuperado de <https://www.inmuebles24.com/casas-o-duplex-o-casa-en-condominio-en-venta-en-juriquilla.html>
- Propiedades.com. (10 de enero de 2021). *Inmuebles residenciales en venta en Querétaro*. Recuperado de <https://www.inmuebles24.com/casas-o-duplex-o-casa-en-condominio-en-venta-en-queretaro.html>
- Quintas, W. (2019). *Diseño de un modelo basado en Algoritmos Inteligentes para la obtención del valor del suelo en zonas urbanas* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Quirós, W. (2020). *Propuesta para la valoración de un inmueble de vocación hotelera* (tesis de grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

- Reséndiz, J. (2018). *El mercado inmobiliario y su complejidad para la generación del observatorio de valores. Modelo para la zona metropolitana de Querétaro* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Restrepo, L., & Velásquez, J.M. (2020). *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* (tesis de grado). Institución Universitaria Esumer, Medellín, Colombia.
- Rey, F.J., Núñez, J.M. (2017). Alternativas para la valoración de inmuebles urbanos. *Revista Publicando*, 4(11), 3-19. Recuperado de <https://core.ac.uk/reader/236643910>
- Rivas, J.H. (2015). *Uso del método de precios hedónicos, para estimar variación en precios de viviendas producto de nuevas líneas de metro* (tesis). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Rudo, L. (26 de noviembre de 2019). Querétaro, quinto estado con mayor oferta de vivienda. AM Querétaro. Recuperado de <https://amqueretaro.com/queretaro/2019/11/26/queretaro-quinto-estado-con-mayor-oferta-de-vivienda/>
- Salas, J. M. (2015). El modelo de valuación inmobiliaria en México. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo: RIDE*, 5(10), 31-54. Recuperado de <https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/196/866>
- Tello, M.L., Eslava, H.J., & Tobías, L. B. (2013). Análisis y evaluación del nivel de riesgo en el otorgamiento de créditos financieros utilizando técnicas de minería de datos. *Visión electrónica*, 7(1), 13-26. Recuperado de <https://repository.udistrital.edu.co>
- Torres, L.E., & Munguía, A. (2016). *Contraste entre modelos de Redes Neuronales Artificiales, GLM y GARCH en el pronóstico y análisis del tipo de cambio mexicano: 2000-2014* (tesis). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.

ANEXO 1

Artículo científico.



Comité Ejecutivo 2020-2023

CONSOLIDACIÓN
INTEGRACIÓN
CRECIMIENTO

Querétaro, Qro. 19 de abril de 2021.

Arq. Anaisabel Olvera Alacio, Dr. José Gabriel Ríos Moreno, Dra. Sandra Hernández López, Dr. Mario Trejo Perea, M. en C. Verónica Leyva Picazo, M. en C. José Manuel Álvarez Alvarado y M. en C. Wendy Alejandra Quintas Frías

Facultad de Ingeniería, UAQ

PRESENTES

Sirva este medio para enviarles un cordial saludo e informarles que, después de haber sometido al escrutinio de diversos dictaminadores, el artículo de su autoría titulado *"Métodos multicriterio y redes neuronales artificiales en la predicción del valor comercial del sector habitacional"* ha sido aceptado para su publicación en el número 58 de nuestra Revista Superación Académica.

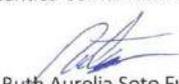
Consideramos que la temática de su artículo está en consonancia con la definición de nuestra Revista, la cual acepta para su publicación colaboraciones sobre el quehacer académico de nuestros agremiados, así como resultados del análisis de las investigaciones docentes, académicas o científicas originales e inéditas, en todas las áreas del conocimiento.

Es distintivo de su trabajo la metodología que permite determinar las variables explicativas del valor comercial en casas habitación de clase media; el uso de técnicas multicriterio, con el fin de disminuir la subjetividad en el proceso de homologación y estimar valores más precisos con redes neuronales artificiales, demuestra, de esta manera, un buen ajuste a los precios del mercado así como la capacidad del modelo para predecir valores cercanos a los precios de oferta de algunas propiedades, todo ello como un nuevo enfoque para ser utilizado en las áreas de la construcción y del sector habitacional.

Sin otro particular, y a nombre del Comité Ejecutivo del SUPAUQ 2020-2023, les reiteramos nuestro agradecimiento y les invitamos a que continúen remitiendo sus valiosas colaboraciones a la Revista Superación Académica de nuestra organización sindical.

Atentamente

"Por una Auténtica Comunidad Universitaria"


Mtra. Ruth Aurelia Soto Fuentes
Secretaría de Prensa y Propaganda
Directora de la Revista Superación Académica

Dr. Ricardo Chaparro Sánchez
Secretaría General

Mtra. Ruth Aurelia Soto Fuentes
Secretaría de Prensa y Propaganda

Mtro. Fernando Guzmán Medina
Secretaría de Actas, Archivo y Estadística

Dra. María del Carmen Mejía Vázquez
Secretaría de Relaciones y Educación Sindical

Mtra. Rosa María Barajas Villa
Secretaría de Jubilados y Pensionados

Dr. Francisco de Jesús Angeles Cerón
Secretaría de Asuntos Laborales y/o Conflictivos

Mtra. Beatriz Liliama Álvarez Mayorga
Secretaría de Asuntos Académicos

Dr. José Alberto Rodríguez Morales
Secretaría de Finanzas

Dra. María Antonieta Mendoza Ayala
Secretaría de Previsión Social

Dr. Luis Ovidio Gutiérrez Aceves
Secretaría de Cultura, Cultura Física, Deporte y Esparcimiento

ANEXO 2

Constancia de inglés.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE LENGUAS Y LETRAS

A QUIEN CORRESPONDA:

La que suscribe, Directora de la Facultad de Lenguas y Letras, hace **C O N S T A R** que

OLVERA ALACIO ANAISABEL

Presentó el **Examen de Manejo de la Lengua** efectuado el día veintisiete de octubre de dos mil veinte, en el cual obtuvo la siguiente calificación:

9-

Se extiende la presente a petición de la parte interesada, para los fines escolares y legales que le convengan, en el Campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro, el día doce de noviembre de dos mil veinte.



Atentamente,
"Enlazar Culturas por la Palabra"

LIC. LAURA PÉREZ TÉLLEZ

LPT/jals*CL*FLL-C.-1677