VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DEL USO DEL MÉTODO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA LA ESTIMACIÓN DEL VALOR DE TERRENOS RURALES EN EL MUNICIPIO EL COLEGIO – CUNDINAMARCA

REALIZADO POR:
Andrés Eduardo Suárez Acevedo - 20221117028
Manolo Javier Ortega Montenegro - 20221117016

DIRECTOR:

Edwin Robert Pérez Carvajal
Ingeniero Catastral y Geodesta

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN AVALÚOS
BOGOTÁ D.C.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 7

0 INTRODUCCIÓN 8

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 9

2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 10

3 OBJETIVOS 11

3.1 Objetivo General 11

3.2 Objetivos Específicos 11

4. ANTECEDENTES 11

4.1 Aplicación de Redes Neuronales Artificiales para Valorización de Departamentos Habitacionales de Lima en 2020 11

4.2 Análisis Comparativo de Metodología de Valoración de Redes Neuronales Artificiales y Modelo Multicriterio en Predicción de Valores Integrales de Apartamentos, en la Comuna 11 – Laureles, de Medellín 12

4.3 Modelo de Valoración de Propiedad Raíz a través de Redes Neuronales 13

4.4 Predicción de Avalúo Catastral de Predios Urbanos Pereira a través de Aprendizaje de Máquina 14

5 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO 15

5.1 Aspectos Físicos 15

5.2 Límites 17

5.3 División Política 18

5.4 Información Catastral 20

6 MARCO TEÓRICO 22

6.1 Inteligencia Artificial (IA) 22

6.2 Redes Neuronales Humanas 24
6.3 Redes Neuronales Artificiales 25
6.4 Aprendizaje Autónomo de las Redes Neuronales 26
7 MARCO CONCEPTUAL 27
7.1 Inteligencia Artificial (IA) 27
7.2 Neurona 28
7.3 Red Neuronal 28
7.3.1 Ventajas de las Redes Neuronales 28
7.4 Capa de Entrada 29
7.5 Capas Ocultas 29
7.6 Capa de Salida 29
7.7 Área de Terreno (Catastral) 30
7.8 Destinación Económica 30
7.9 Avalúo Catastral 31
7.10 Avalúo Comercial 32
7.11 Uso del Suelo 32
7.12 Zona Homogénea Física 32
7.13 Zona Homogénea Geoeconómica 32
8 MARCO NORMATIVO 33
8.1 Ley 14 de 1983 33
8.2 Resolución 1149 de 2021 33
8.3 Ley 1753 de 2015 33
8.4 CONPES 3958 de 2019 34

8.5 Ley 1955 de 2019 34
8.6 Decreto 148 de 2020 35
8.7 Resolución 388 de 2020 35
8.8 Resolución 620 de 2008 35
8.9 Ley 1673 del 2013 35
9 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO 36
9.1 Selección del Tamaño de los Predios 36
9.2 Variables a utilizar 39
9.3 Validación Cruzada 41
9.4 *Script R-Studio* o Código del Algoritmo 42
10 ANÁLISIS DE RESULTADO 47
11 CONCLUSIONES 47
12 REFERENCIAS 48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación 16

Figura 2 Mapa límites del municipio 18

Figura 3 Mapa zona rural y zona urbana 19

Figura 4 Mapa división política rural 20

Figura 5 Inventario Catastral municipio El Colegio 21

Figura 6 Mapas zonas homogéneas geoeconómicas rurales 22

Figura 7 Red neuronal humana en acción 24

Figura 8 Niño montando bicicleta 25

Figura 9 Estructura red neuronal artificial 26

Figura 10 Funcionamiento red neuronal 27

Figura 11 Gráfico de barras: cantidad de predios por tamaño 37

Figura 12 Mapa: tamaño de predios 38

Figura 13 Librerías 42

Figura 14 Código validación cruzada 42

Figura 15 Definición capas ocultas de la red neuronal 43

Figura 16 Normalización de datos 43

Figura 17 Red neuronal del modelo 44

Figura 18 Estadísticos de los datos de entrenamiento 45

Figura 19 Estadísticos de los datos de prueba 45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Topografía 16

Tabla 2 Predios con y sin construcción 36

Tabla 3 Estadística tamaño de predios 37

Tabla 4 Conversión variables categóricas a dicótomas 40

Tabla 5 Errores obtenidos de la validación cruzada 41

Tabla 6 Resultado Final del Algoritmo 46

Tabla 7 Resumen resultados 47

RESUMEN

Existe una metodología para realizar el estudio de zonas físicas y geoeconómicas homogéneas, establecida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en el año 2017. En la parte final del documento, luego de explicar detalladamente el proceso para la generación de zonas físicas homogéneas, se proporcionarán las pautas con el objetivo de determinar las zonas geoeconómicas. La efectuación de dicho proceso tiene en cuenta lo que se determina en la Ley 14 de 1983, específicamente en el artículo 4, donde se establece que se deben elaborar avalúos parciales independientes en cada zona obtenida. Este procedimiento requiere de un trabajo de campo, la colaboración de personas conocedoras de la zona de estudio y del mercado inmobiliario; así, para la realización de cada avaluó, resulta necesario la aplicación de cualquiera de los métodos expuestos en la Resolución 620 de 2008. Cabe señalar que tales métodos tradicionales y efectivos se han mantenido vigentes por más de 50 años en Colombia y a nivel internacional.

La implementación del catastro multipropósito en el país, en colaboración con la revolución de la programación y metodologías de inteligencia artificial, ha permitido la incorporación de nuevas metodologías valuadoras, como lo establece el Decreto 148 de 2020. Esto no implica que los cuatro métodos tradicionales sean obsoletos; por el contrario, lo que se busca con las nuevas tecnologías consiste en que estas ejecuten el proceso de manera más rápida; esto minimizará los costos, eliminará los sesgos que interfieran en la actividad valuadora y se brindará un nivel de confianza lo suficientemente fiable, tal como ha sucedido con los métodos tradicionales.

En el presente trabajo se plantea realizar la variación de una red neuronal artificial (método de inteligencia artificial) para la determinación de avalúos catastrales del municipio El Colegio, Cundinamarca, a partir de información cartográfica y alfanumérica catastral disponible del municipio; es decir, se contará con los insumos base, en caso de aplicarse la metodología tradicional, y se verificará su ajuste con respecto a los avalúos que ya se tienen del municipio.

0 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se propone determinar los avalúos de terreno en el área rural del municipio El Colegio, Cundinamarca, por medio de técnicas de inteligencia artificial. Ahora bien, para el caso de la presente investigación, se usará el algoritmo de redes neuronales, con el fin de brindar una herramienta fiable para la optimización de los procesos de cálculo de estos valores.

Últimamente en Colombia, el catastro –y su aplicación– se considera una herramienta indispensable para brindar datos importantes y relevantes acerca de los territorios, y su utilización excede el fin tributario. Esta herramienta es considerada como un fundamento para tomar decisiones de política pública; esto es, en cuanto a planificación, ordenamiento social, territorial y productivo de la propiedad, enfocada en desarrollar programas y proyectos para restituir tierras, regular la propiedad, administrar y proteger el patrimonio del Estado, como la gestión de ingresos y otros fines. En otras palabras, el catastro tiene una orientación multipropósito.

Por otra parte, el uso de sistemas de información geográfica ha permitido implementar métodos indirectos para determinar las zonas homogéneas. Lo expuesto, acompañado con técnicas de Inteligencia artificial, optimizará los procesos para diferentes procesos, partiendo de variables establecidas con las que se cuentan previamente. En consecuencia, se comprenderá el proceso de búsqueda y visita de puntos de investigación en campo con fines exclusivos de verificación de resultados.

Actualmente, se utilizan algoritmos de redes neuronales para la estimación de avalúos masivos; se emplea esta técnica para el catastro de Bogotá. En ese sentido, se han elaborado varios trabajos de grado y postgrado para la determinación de avalúos masivos a partir de estos algoritmos. El método de redes neuronales artificiales es uno de los más aceptados en la determinación de avalúos dentro de las nuevas metodologías de inteligencia artificial, dado que permite introducir nuevas variables de manera rápida, fiable y/o, posibilitando resultados muy precisos.

Con base en lo anterior, la presente investigación propone facilitar procesos encaminados a la obtención de avalúos catastrales de cada uno de los predios (solo terreno) en el sector rural del municipio El Colegio, al usar herramientas de inteligencia artificial bajo el aprendizaje de un modelo de red neuronal artificial. El *script* de dicho algoritmo, se llevó a cabo a través del software R Studio, programa dedicado a la computación estadística, cuyas funciones permiten administrar proyectos con diferentes tipos de archivos de código; en esa medida, se realizó la validación cruzada para establecer cuál era la mejor combinación entre datos para el entrenamiento y datos de prueba.

Se realizó una depuración a las bases de datos para cambiar el tipo de variables categóricas a variables *dummies*, que son las más aceptadas por el algoritmo. Si bien la literatura señala que es posible utilizar las variables categóricas en el algoritmo, se requiere de un código más elaborado y complicado para su exitoso funcionamiento, el cual no se llevó a cabo por desconocimiento de este. No obstante, se pretende que para próximos proyectos, se retome este trabajo de grado y se logre hacer un análisis y una evaluación más rigurosa a partir del método de redes neuronales.

Existe un fenómeno en los municipios que se encuentran próximos a las grandes ciudades del país: la migración y la compra de pequeños terrenos rurales por parte de la población urbana con fines de vivienda, recreacionales y para la agricultura a baja escala. Como consecuencia, se han originado parcelaciones del suelo en microfundios y minifundios; por tal razón, en el avance presentado se sugirió realizar dos modelos: uno para predios menores de tres hectáreas, y otro para áreas mayores. Sin embargo, en el caso específico del municipio en cuestión, el porcentaje de predios con áreas menores de tres ha superaba el 90 % del total de predios rurales del municipio, por lo tanto, se optó por realizar un solo modelo a nivel general, puesto que se estableció que, independientemente del uso que se les diera a los predios (agropecuario y no agropecuario), las variables propias de zonas homogéneas físicas eran determinantes en el cálculo del avaluó final de cualquier predio.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia, los valores atribuidos a los inmuebles, tanto rurales como urbanos, no siempre guardan una relación coherente entre las características físicas y económicas; por otro lado, es común que exista el sesgo propio del perito avaluador para dar su dictamen y otras variables, como el apego de propietarios a sus predios, que origina una sobrestimación del valor de esto, todo aquello dentro del mercado inmobiliario.

Actualmente, la metodología para la estimación de valor surge a partir de la información de las zonas homogéneas físicas, con procedimientos donde se referencian las variables estipuladas por el IGAC para las áreas homogéneas de tierra, de manera tradicional, lo que implica el trabajo de campo y la objetividad de una persona preparada para dicha labor. De esta manera, la metodología tradicional para la estimación de valor, requiere de un tiempo considerable, un desgaste en la organización de la información, que dependerá de la agilidad, la preparación, la objetividad y el tiempo que se disponga por parte del equipo de trabajo, situación que se torna compleja, en la medida que se amplía la cobertura de los avalúos masivos.

Estas dificultades se traducen en tiempo, dinero y precisión de los resultados. Estos últimos se solventarían a través de metodologías valuadoras basadas en la inteligencia artificial, dado que se analizarían las diferentes variables que afectan a los predios y a partir de estas hacer el cálculo del avalúo de manera rápida, precisa e indirecta. En la actualidad, en el país se cuenta con una gran cantidad de información catastral para la mayoría de municipios. Con esta información y el código de programación del algoritmo, es posible obtener estos o mejores resultados en relación con los que proporcionan los métodos tradicionales.

2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En este momento, el catastro se encuentra sujeto a procedimientos tradicionales para la estimación de valores en determinadas zonas.

> A pesar de la importancia que tiene el avalúo catastral para este propósito, su determinación sigue conteniendo un alto grado de subjetividad, y en muchas ocasiones no corresponde con las realidades físicas y económicas de algunas zonas del país.
>
> Con la reciente decisión por parte de las autoridades catastrales de reestructurar el catastro nacional hacia un catastro multipropósito, se genera la necesidad de replantear los procedimientos, la tecnología y las necesidades de información, de tal manera que el catastro permita a las entidades territoriales y demás usuarios de la información catastral una mejor toma de decisiones, con base en la información actualizada y veraz, apoyada, a su vez, en el uso de herramientas tecnológicas eficientes. (Quete, 2017, p. 6)

Con la entrada en vigencia del Decreto 148 de 2020, el cual permite la utilización de nuevas metodologías de valuación, posibilita que se intente la verificación de las metodologías actualmente en auge, y que son aplicables a todos los procesos de diferentes disciplinas de la vida humana, implementados generalmente en la valoración de bienes inmuebles.

Las herramientas que proporcionan los sistemas de información geográfica y tecnológicas, son un aspecto importante a la hora de generar procesamiento de datos de manera masiva. En este ámbito, la inteligencia artificial desempeña un rol relevante a la hora de masificar los análisis de información, puesto que facilita un modelamiento mucho más eficiente al asegurar una mayor cobertura. Por tal motivo, el presente estudio tiene como eje fundamental la implementación de redes neuronales, método de inteligencia artificial, con las cuales se pretende generar la estimación de valor para zonas del área rural

del municipio El Colegio, en el departamento de Cundinamarca, teniendo como referencia la información catastral.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Implementar el algoritmo de redes neuronales artificiales a partir de bases de datos catastrales, para la estimación de avalúos catastrales en el área rural del municipio de El Colegio - Cundinamarca.

3.2 Objetivos Específicos

- Establecer las variables necesarias en la estimación de los avalúos de los predios rurales pertenecientes al municipio de El Colegio, Cundinamarca, por medio de la implementación del algoritmo de una red neuronal artificial.
- Organizar una base de datos geográfica con la información cartográfica catastral del municipio El Colegio, Cundinamarca, que permita la ejecución del algoritmo de redes neuronales para la valuación masiva de este.
- Ejecutar un *script* desarrollado en el software estadístico R_STUDIO para la utilización del algoritmo de una red neuronal artificial.
- Validar el nivel de precisión del algoritmo de la red neuronal artificial a través de su aplicación empírica y su respectiva comparación con las ZHG existentes.

4. ANTECEDENTES

A continuación, se describen algunos estudios encaminados a la actividad valuadora inmobiliaria mediante el uso de redes neuronales en procedimientos catastrales.

4.1 Aplicación de Redes Neuronales Artificiales para Valorización de Departamentos Habitacionales de Lima en 2020

En su reciente trabajo, Chávez (2022) propuso resolver una situación problema sobre el avalúo de departamentos habitacionales en Lima, mediante un modelo de redes neuronales artificiales destinado al mejoramiento del proceso de valoración de un departamento, a través de la información obtenida del

Banco Central de Reserva del Perú. El trabajo presentado tuvo un carácter explicativo, estructurado con un diseño de investigación experimental, en él realizó diversos modelos con cambios en los hiperparámetros, con base en criterio de prueba y error, obteniendo como resultado el mejor modelo.

El autor planteó un modelo para avaluar departamentos habitacionales, cuyo procedimiento consistió en el entrenamiento de varios modelos, a fin de hallar los hiperparámetros óptimos, hacer predicciones mediante el mejor modelo; por último, hacer la evaluación del rendimiento del modelo con la comparación de los valores reales frente a los predichos. Así, se entrenaron 50 modelos, y se denominó JARVIS al que tuvo mejor rendimiento (Chávez, 2022).

Los hiperparámetros óptimos fueron determinados a partir del lenguaje de programación *Phyton* en el software *Spyder*. Se empleó la herramienta MSE (Error Cuadrático Medio), dado que este deja ver la reducción del error y el comportamiento de las muestras predichas y reales. Demostró que los modelos propuestos aprendieron correctamente la forma de comparar los valores predichos y los reales para el modelo de red neuronal. Con dicha comparación se obtuvo un valor de R de 0.91743. En ese sentido, el autor recomendó tomar datos con variables más específicas en aras de mejorar la precisión de la predicción, además de tener presentes las normas naciones e internacionales referentes a valuación (Chávez, 2022).

4.2 Análisis Comparativo de Metodología de Valoración de Redes Neuronales Artificiales y Modelo Multicriterio en Predicción de Valores Integrales de Apartamentos, en la Comuna 11 – Laureles, de Medellín

El mercado inmobiliario de Colombia se halla en desarrollo constante, según Restrepo y Velásquez (2020). Es por ello que se plantea una alternativa de valoración masiva frente a las metodologías tradicionales, como modelos de regresión múltiple y precios hedónicos. Esta alternativa tiene en cuenta métodos de redes neuronales artificiales y el método multicriterio para estimular valores integrales de bienes inmuebles.

Ahor bien, los autores realizaron una prueba en inmuebles residenciales -apartamentos- de la Comuna 11 de Laureles, con el propósito de lograr el desarrollo de una red neuronal artificial y el método multicriterio, mediante la comparación de los valores obtenidos y los valores de mercado; es decir, se buscó, de acuerdo con el resultado, cuál obtenía el valor integral de un apartamento con mayor precisión. Los muestreos en modelos de valoración multicriterio se hicieron con base en el proceso analítico jerárquico (AHP), método adecuado para diferentes situaciones. Esto hace que se procese de forma sencilla. Se podría decir que es un método de selección de alternativas (inversiones, estrategias, entre

otros), fundamentadas en una serie de criterios o variables, que suelen hallarse en conflicto; para lo anterior, se ponderan las diversas alternativas y los criterios al emplear las matrices de comparación pareadas y la escala fundamental para comparar pares.

Mientras tanto, para la valoración masiva emplearon un modelo de red neuronal artificial, el cual facilita la obtención de valores integrales aplicando la inteligencia artificial; dada su similitud con el cerebro humano, estas pueden obtener aprendizaje de los datos históricos y la experiencia. Posterior al desarrollo del método de red neuronal artificial (RNA) y multicriterio, se produjo una validación de los resultados de la valoración masiva de la RNA con ciertos valores obtenidos mediante el método multicriterio. Por otra parte, al comparar los valores de mercado, se comprobó que la aplicación de estas dos metodologías de investigación es viable para predecir valores integrales de inmuebles.

Por lo tanto, los autores concluyeron que el método más asertivo para determinar valores integrales de mercado es el RNA, teniendo en cuenta las variables de estado, localización y barrio, vetustez, área privada, estrato socioeconómico, empleadas en este modelo; y las variables de características de la vivienda, entorno, estado, localización, características del edificio, vetustez, superficie, cuarto útil, estrato socioeconómico, y parqueadero se aplicaron para el método multicriterio. Acto seguido de la aplicación de los dos métodos, consideraron que, de las variables explicativas, la más influyente para obtener valor integral por m^2 es el área privada.

4.3 Modelo de Valoración de Propiedad Raíz a través de Redes Neuronales

En primer lugar, Montoya (2019) propuso una alternativa de valoración de inmuebles que evite las imprecisiones con las valoraciones tradicionales; esto, debido a factores que incrementan el riego en la fluctuación de valor. El empleo es uno de estos factores, dado que una de las necesidades básicas consiste en cubrir la vivienda para los hogares, sumado a la participación de cánones de arrendamiento y propiedad privada. Asimismo, el autor consideró obtener información en el caso de presentarse una burbuja en el mercado inmobiliario, dado que la disminución repentina de precios a valores normales tiene una incidencia negativa sobre la población. Con dicho trabajo, Montoya (2019) busca brindar una alternativa de solución a los anteriores problemas a través de la exploración de herramientas de valoración, matemáticas y de inteligencia artificial; en otras palabras, se trata del desarrollo de un modelo de valoración de inmuebles a través de la utilización de redes neuronales.

Entre tanto, el autor se valió de una base de datos compuesta por información de 502 inmuebles, obtenida por una entidad intermedia del sector inmobiliario de Medellín, y a la cual la organizaron y le

practicaron una depuración. De igual manera, se empleó un modelo de red neuronal, donde realizaron 10 repeticiones. Luego de este proceso, se concluyó que el mejor modelo neuronal para el dosier de datos es uno con 3 capas ocultas; así, se validó y comparó estos resultados mediante el proceso de regresión múltiple. Esto pudo determinar que el modelo neuronal tiene una habilidad mayor en relación el tradicional de regresión múltiple para estimar los valores en inmuebles. Con respecto a la burbuja de precios, Montoya (2019) utilizó un modelo de flujo de caja descontado, no siendo posible concluir sobre la presencia o no de una burbuja, puesto que considera que esta es un fenómeno temporal. Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis con datos de diferentes periodos de tiempo.

4.4 Predicción de Avalúo Catastral de Predios Urbanos Pereira a través de Aprendizaje de Máquina

El propósito de este estudio, realizado por Osorio y Rozo (2017), persigue implementar un modelo no tradicional que posibilite obtener la solución del problema de la estimación de forma automática y ágil el avalúo catastral de los predios en Pereira, con base en la inteligencia artificial. En esa medida, de acuerdo con las características de los inmuebles urbanos en la ciudad, resulta necesario determinar el mejor algoritmo.

Se le realizó una depuración a la base de datos catastrales, cuya vigencia era de 2013, datos obtenidos del IGAC, con base en las zonas homogéneas geoeconómicas del área urbana de Pereira, por lo tanto, se contó con 73 078 predios urbanos y 82 variables. Se identificaron las relaciones entre las variables y las compararon con las técnicas de aprendizaje de máquina supervisado; esto es MSV (máquinas de soporte vectorial), PG (procesos gaussianos), RNA (redes neuronales artificiales) y RLM (modelo tradicional de regresión lineal múltiple). Para llevar a cabo las comparaciones se emplea como técnica la validación cruzada anidada, a través de cinco grupos con 80 % de la información para entrenamiento y el 20 % restante para validar. Por último, se estableció el mejor algoritmo a través de la comparación de los resultados del ECM, el EAM (error absoluto medio y r2 (coeficiente de determinación) (Osorio y Rozo, 2017).

El estudio demostró que las herramientas de IA resultan más eficientes que los métodos tradicionales, como modelos de regresión y hedónicos. En los experimentos realizados, el PG presentó mejor rendimiento en la selección de modelo de estimación del avalúo catastral y mejor algoritmo; siendo superado por el modelo de RNA.

5 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO

5.1 Aspectos Físicos

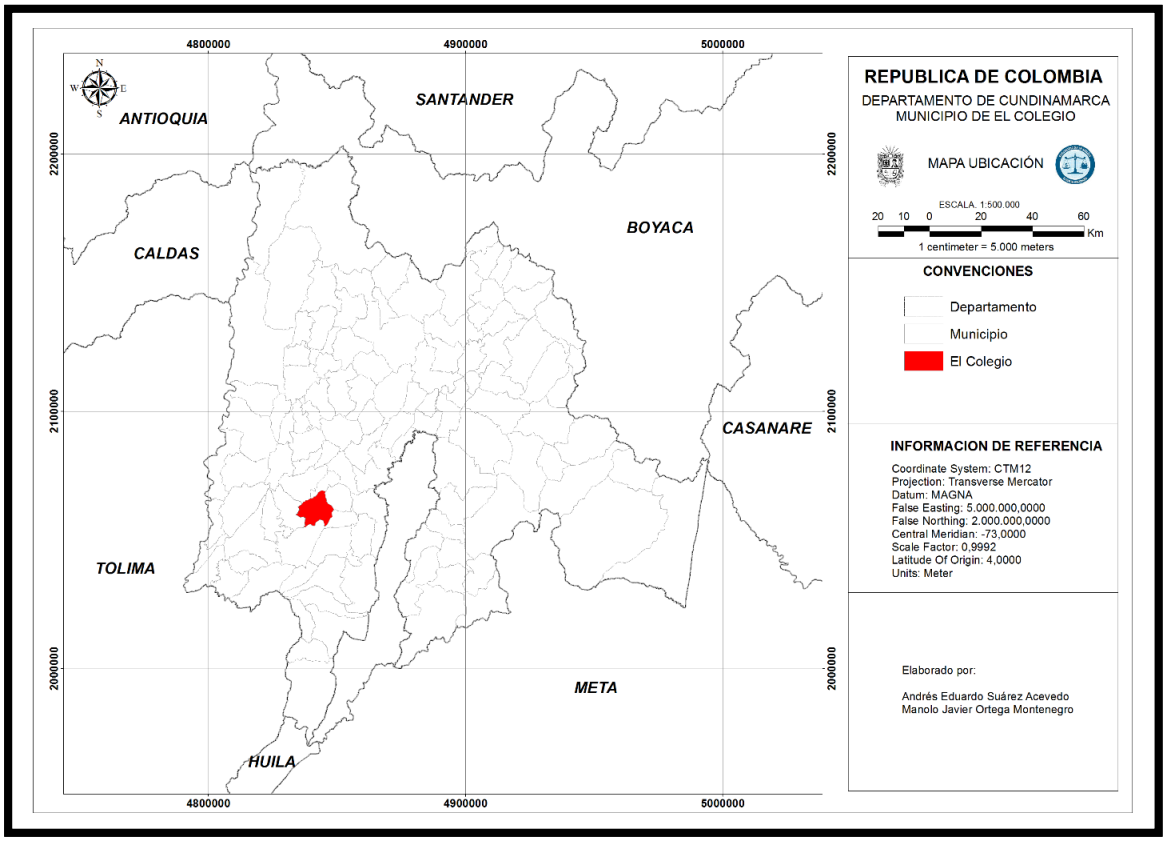
Es un municipio perteneciente a la provincia del Tequendama, localizado sobre la vertiente a margen izquierda del río Bogotá, se encuentra ubicada a 65 km aproximadamente de la ciudad de Bogotá. Debido a su cercanía y clima cálido se ha consolidado como destino turístico, y al igual que todos los municipios de la provincia, en los últimos años se ha presentado un fraccionamiento de los predios del sector rural, lo cual ha originado predios para vivienda campestre y pequeñas actividades agrícolas. A continuación, se presentará la información física y demográfica del municipio:

- Población: 26.200 habitantes, de acuerdo con la proyección del DANE 2022
- Superficie: 114 km² = 11.400 ha
- Densidad poblacional: 230 hab./km²
- Altitud promedio: 900 msnm
- Coordenadas geográficas: Latitud: 4° 34’ 59” Norte

  Longitud: 74° 27’ 0” Oeste

Figura 1

Mapa de ubicación



La topografía del municipio se caracteriza por ser mayoritariamente quebrada, presenta laderas con fuertes pendientes, como lo son El Prado a 1 200 m s. n. m. y La Victoria a 2 000 m s. n. m. A continuación, se muestra el cuadro de topografía del municipio:

Tabla 1

Topografía

Tipo	Pendiente	Hectáreas	% Hectáreas
Terreno Plano	0-7%	1.70	10%
Terreno Ondulado	7-12%	3.210	30%
Terreno Quebrado	12-25%	6.470	60%

Nota. Datos tomados del Acuerdo No 043 de 1999, Alcaldía Municipal de El Colegio.

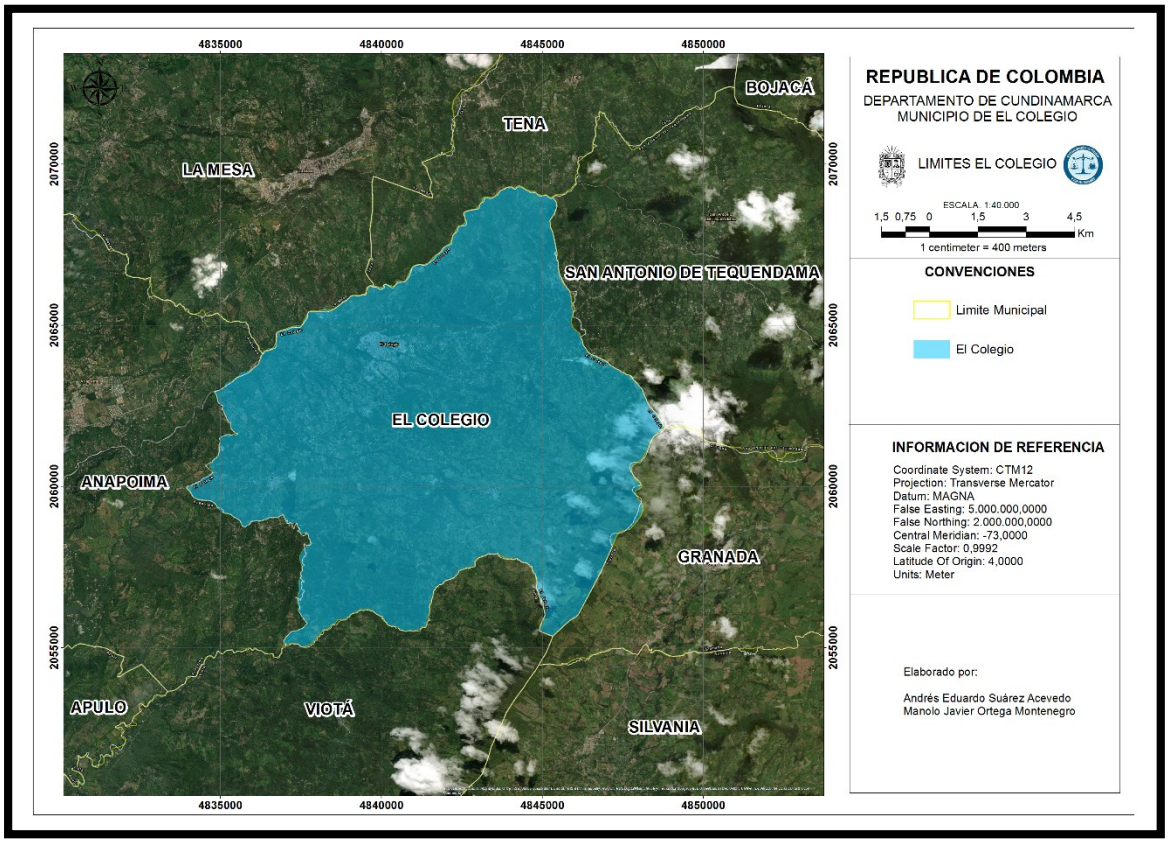
Una parte importante del municipio presenta problemas de geoinestabilidad. Tales problemas generan movimientos en masa y deslizamientos. El límite norte del municipio es el río Bogotá, zona afectada por su contaminación. En cuanto a vías, al municipio lo atraviesa una vía principal que comunica al municipio con las ciudades de Bogotá y Girardot, vías secundarias que lo conectan con los municipios de La Mesa, Anapoima y Viota, y diferentes vías veredales que comunican cada una de ellas con la cabecera municipal.

5.2 Límites

- Norte: el límite lo marca el río Bogotá, este los separa de los municipios de La Mesa, Tena y Anapoima.
- Este: limita con San Antonio del Tequendama, la pendiente va ascendiendo desde el sector norte hasta el sur de este límite y con el municipio de Granada, donde se encuentran las mayores alturas del municipio y las zonas quebradas, aquí se encuentran elevaciones mayores a los 3.000 msnm.
- Sur: limita con el río Calandaíma, el cual lo separa del municipio de Viotá
- Oeste: limita con el municipio de Anapoima

Figura 2

Mapa límites del municipio

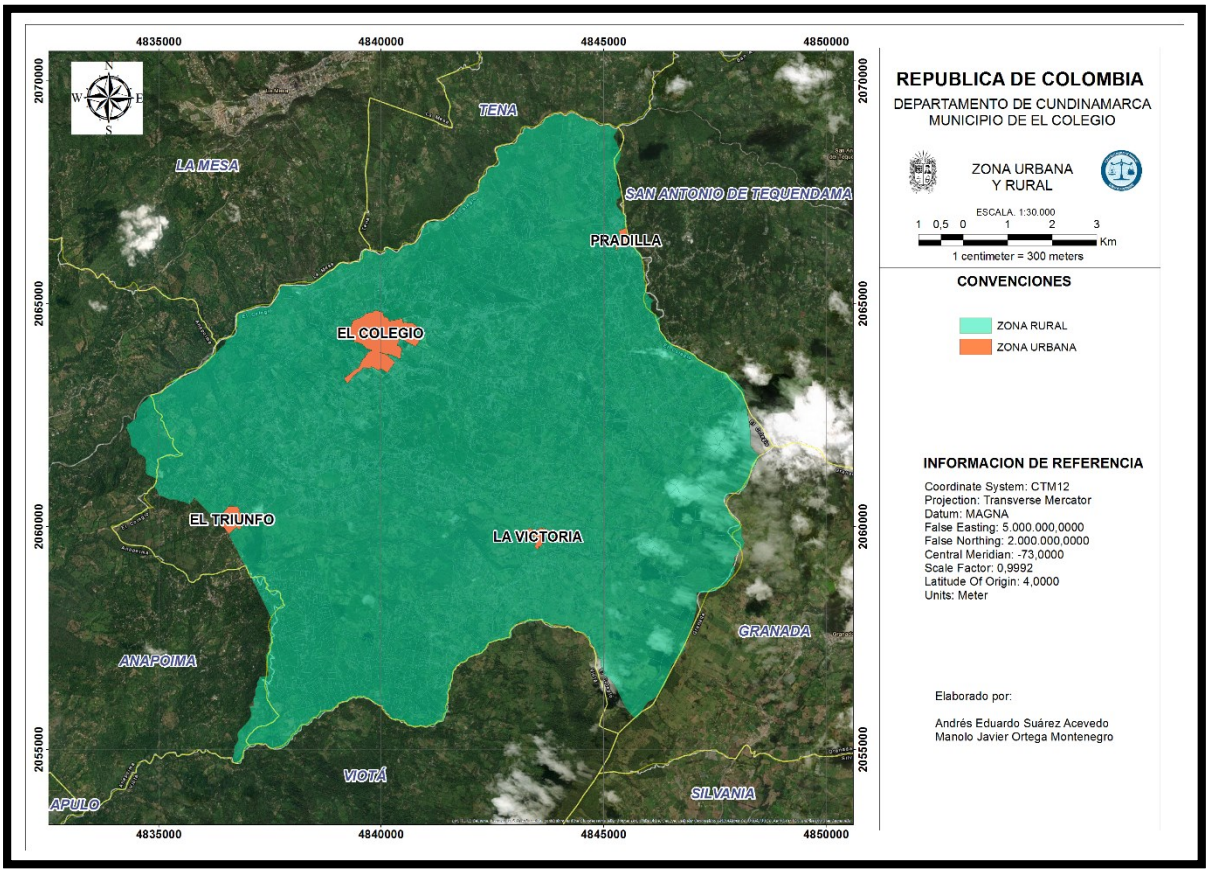


5.3 División Política

La zona urbana del municipio la conforman la cabecera municipal y tres corregimientos: Pradílla, El Triunfo y La Victoria; estos ocupan un área de 173,4 ha y albergan una población de 12.000 habitantes, correspondiente al 45,6 % del total del municipio.

Figura 3

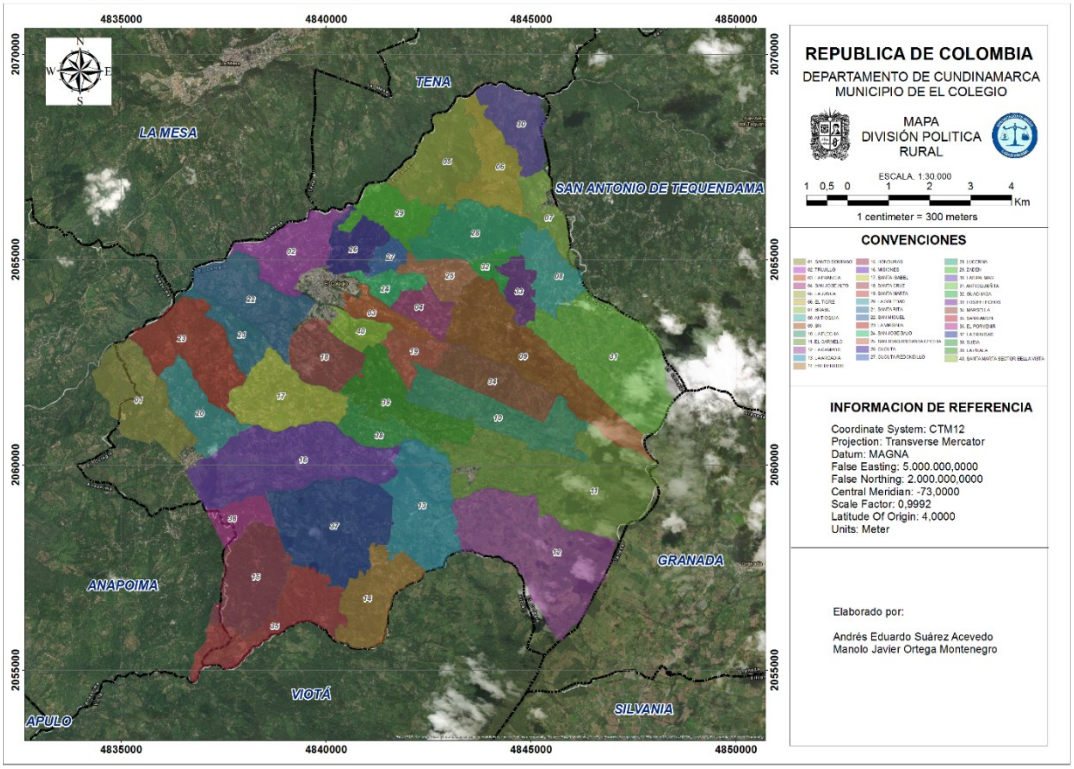
Mapa zona rural y zona urbana



La zona rural la conforma un solo sector catastral, dividido en 40 veredas que ocupan un área de 11.226 ha, con una población aproximada de 14.200 habitantes. El municipio presenta una economía que se basa en el turismo, la agricultura, la ganadería, el comercio y la generación eléctrica. Cabe recordar que el municipio es el segundo productor de café de Cundinamarca. También se producen cultivos de banano, cítricos, mango y hortalizas.

Figura 4

Mapa división política rural



5.4 Información Catastral

La información catastral del municipio la maneja y administra la Agencia Catastral de Cundinamarca, cuya administración también implica la gestión catastral de este y otros 75 municipios del departamento. El inventario actualizado de los predios se observa en la siguiente imagen.

Figura 5

Inventario Catastral municipio El Colegio



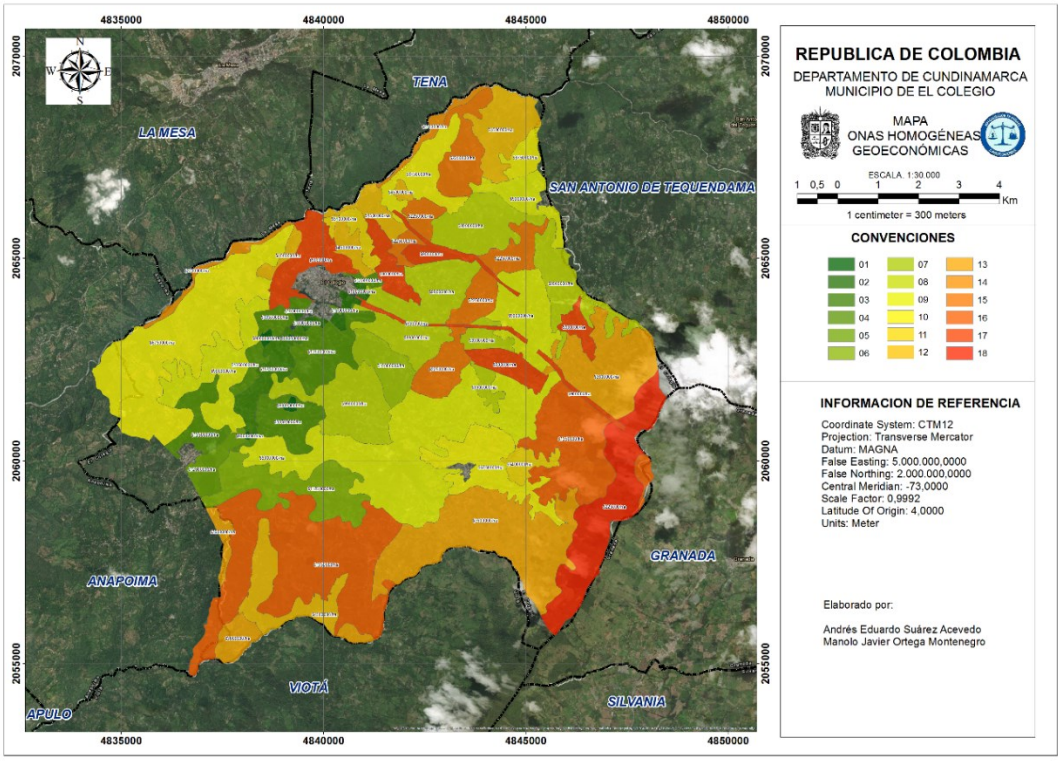
Nota. Tomado de la *Actualización Catastral,* por Agencia Catastral de Cundinamarca, https://www.acc.gov.co/#/inicio, enero de 2023.

Los datos anteriores se actualizan de manera diaria gracias al proceso de conservación catastral, sin embargo, la información acerca de las zonas homogéneas físicas y zona homogéneas geoeconómicas se encuentra desactualizada, esto responde a que solo se adelantó un proceso de actualización del municipio durante el año 2010. No obstante, el valor de las zonas geoeconómicas se actualiza anualmente y la información con la que se va a trabajar corresponde al año 2021.

El número total de polígonos de zonas homogéneas físicas rurales consta de 32; a partir de estos y de acuerdo al estudio de mercado realizado en su momento, se obtuvieron 18 zonas geoeconómicas rurales. A raíz de esto, se descubrió que los valores más bajos por hectárea se encuentran en los límites con el municipio de Granada, donde se observaron pendientes fuertemente quebradas y suelos de protección con altitudes por encima de los 3000 m s. n. m. Los valores más altos por hectárea se encontraron en los terrenos paralelos a la vía principal que comunica la cabecera municipal con el corregimiento del triunfo, por esta vía se llega a los municipios de Girardot o Anapoima. En efecto, se infirieron estos altos valores por la influencia de la vía y por presentarse temperaturas más cálidas debido a la poca altitud.

Figura 6

Mapas zonas homogéneas geoeconómicas rurales



Nota. Los valores más altos los representan los polígonos en verde, los intermedios en amarillo y los más bajos los polígonos en rojo

6 MARCO TEÓRICO

6.1 Inteligencia Artificial (IA)

Existen múltiples definiciones acerca de la inteligencia artificial. Se podría afirmar que la IA, *grosso modo*, consiste en la capacidad que tiene una máquina para realizar tareas propias de la inteligencia humana a partir de una combinación de algoritmos que replican estas capacidades. Inicialmente, las maquinas tenían la capacidad de realizar cálculos, administrar grandes cantidades de datos, entre otros; pero con la aplicación de estas técnicas se busca que estas tengan capacidad de aprendizaje (*machine learning*). De acuerdo con expertos en el área de la informática, como Stuart Russel y Peter Norwing, existen diversas clases de IA:

- Sistemas que piensan como personas: son aquellos que automatizan las actividades para tomar decisiones, resolver problemas y aprendizaje. Las redes neuronales artificiales son un ejemplo de este tipo de IA .

- Sistemas que actúan como personas: son computadoras o *robots* que llevan a cabo actividades de manera similar a las personas.

- Sistemas que piensan de forma racional: son aquellos que pretenden imitar el pensamiento lógico-racional de las personas. Como ejemplo de estos se hallan “los sistemas expertos”.

- Sistemas que actúan de forma racional: son aquellos que buscan emular, racionalmente, el comportamiento humano, tales como “los agentes inteligentes” (Chubb, 2023).

El *machine learning* es la disciplina de la IA que posibilita que las máquinas aprendan sin necesidad de que se programen para tal función; por lo tanto, existen un sinnúmero de aplicaciones de esta tecnología, y cada vez tienen una alta presencia en todas las actividades humanas. Existen varios tipos de *machine learning*, estos son:

- Aprendizaje supervisado: las redes neuronales se basan en este tipo de aprendizaje. Para este tipo de aprendizaje, se ingresan una gran cantidad de datos, con datos de entrada y salida (es decir, se dan las soluciones), y a medida que se depuran o procesan estos datos, la maquina va aprendiendo; esto se conoce comúnmente como entrenamiento. Para que este tipo de entrenamiento funcione de manera óptima, se necesitan una gran cantidad de datos para que el algoritmo mejore progresivamente y de resultados fiables.

- Aprendizaje no supervisado: utilizan datos no etiquetados a diferencia del anterior, estos agrupan datos con elementos comunes entre sí para aprender.

- Aprendizaje semisupervisado: es una combinación de los dos anteriores, se utilizan cuando no se cuentan con datos suficientes para realizar el aprendizaje supervisado.

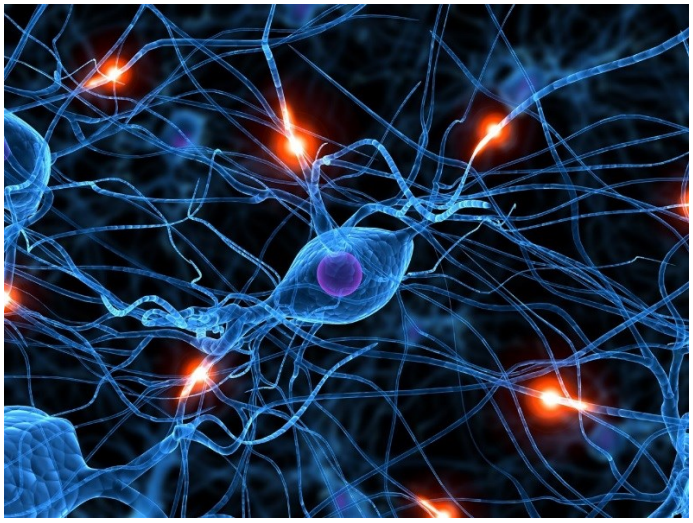
- Aprendizaje por refuerzo: este tipo de aprendizaje actúa por prueba y error, y se utiliza mucho en software diseñados para juegos, como ajedrez; y aprende cuando obtiene una recompensa como ganar una partida. Un ejemplo de este tipo de entrenamiento son los árboles de decisión.

6.2 Redes Neuronales Humanas

Como se mencionó, este método de IA se basa en el cerebro humano y cómo adquiere conocimientos. El cerebro humano tiene millones de neuronas (células cerebrales) interconectadas entre sí, las cuales reciben las señales eléctricas que llegan a través de los sentidos; gracias a estos, el ser humano entiende, siente, crea, aprende, etc. Así, cada neurona humana recibe estímulos de otras neuronas; por lo tanto, la neurona procesa estos estímulos o impulsos y puede activarse y disparar a su vez a otras neuronas, y así, sucesivamente, generándose grandes redes neuronales. De este modo es como el ser humano aprende; en efecto, cuando se logran estas interconexiones entre las neuronas se desarrollan las habilidades para efectuar trabajos.

Figura 7

Red neuronal humana en acción



Nota. Tomado de *Sinapsis, el lenguaje de las neuronas en el cerebro*, por J. Flores, https://bit.ly/3Yee2PS

Un ejemplo de lo anterior, está en aprender a manejar bicicleta: conforme a las horas de entrenamiento se logra perfeccionar la técnica; es decir, se creó una gran red neuronal que posibilita que el cuerpo humano desarrolle esta actividad.

Figura 8

Niño montando bicicleta



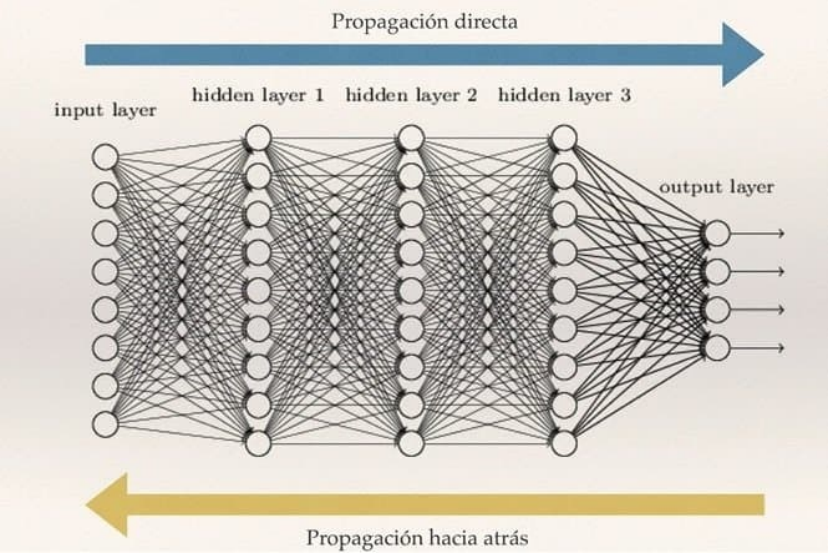
Nota. Tomado de *Aprender a montar en bici: consejos de una terapeuta*, por Hop Toys, https://www.bloghoptoys.es/aprender-a-montar-en-bici-consejos-de-una-terapeuta/, 2022.

6.3 Redes Neuronales Artificiales

Son una técnica de aprendizaje automático *machine learning*; estas tienen el objetivo de simular el comportamiento del cerebro humano, conformadas por capas de nodos (neuronas artificiales), que poseen capa de entrada (*input layer*), una o más capas intermedias u ocultas (*hidden layer*) y capa de salida (*output layer*); cada una de las neuronas artificiales tiene un peso asociado. En caso de que la salida de algún nodo individual se halla por encima del valor específico del umbral, se activa tal nodo, envía datos a la capa de la red que sigue. En caso contrario, no se envían datos a la capa de red que sigue (IBM, s.f.).

Figura 9

Estructura red neuronal artificial



Nota. Tomado de *Redes neuronales desde cero (II): algo de matemáticas*, por J. D. Villanueva, https://www.iartificial.net/redes-neuronales-desde-cero-ii-algo-de-matematicas/, 2020.

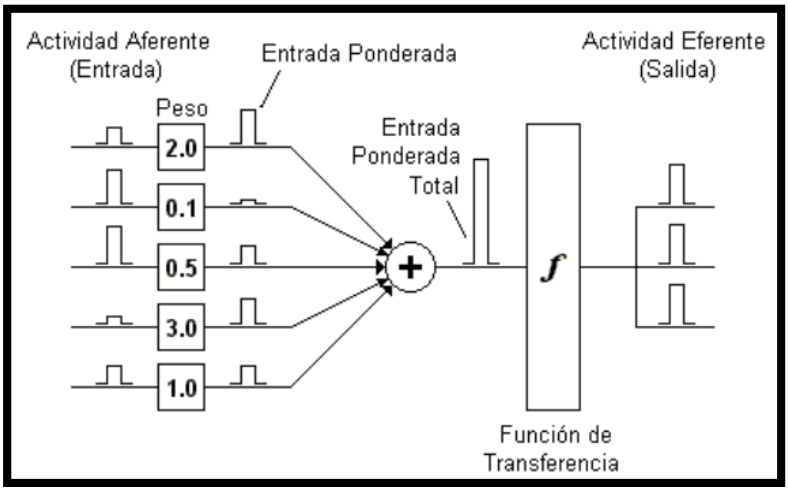
A partir de unos datos de entrada en la programación regular, se generan algoritmos para obtener unos resultados o datos de salida; por ejemplo, se obtiene el algoritmo para conversión de cualquier tipo de unidad, donde el algoritmo no es más que la función que procesa los datos de entrada para alcanzar los datos resultado. De ese modo, en las redes neuronales se ingresan datos de entrada y de salida, o datos resultados. Acto seguido del entrenamiento ejercido en las capas ocultas la red, estas crean de manera autónoma la función que conecta o correlaciona los datos ingresados con los de salida. Así, una red neuronal puede tener miles de neuronas conectadas, y puede tomar decisiones muy complejas, basadas en múltiples datos y variables.

6.4 Aprendizaje Autónomo de las Redes Neuronales

Las capas de neuronas se conectan por conexiones, cada conexión tiene un peso asignado que representa la importancia de la conexión entre las neuronas; cada neurona tiene un peso o sesgo, el cual se comprende como un valor numérico y una función de activación. El proceso en sí es el dato de entrada multiplicado por el peso de la conexión, se le suma el sesgo y ese será el resultado que activará o no la neurona receptora y continuará el proceso.

Figura 10

Funcionamiento red neuronal



Nota. Tomado de *Redes neuronales artificiales*, por F. Tanco, 2021, Universidad Tecnológica Nacional.

Para que la red neuronal genere una función que relacione los datos de entrada con los de salida, resulta necesario ingresar la mayor cantidad de datos posibles; es decir, datos de entrada y de salida o respuesta. La idea es asignar los pesos o sesgos de las conexiones con el fin de realizar predicciones, lo más ajustadas posibles, por medio de ejemplos y de un proceso iterativo de prueba y error en ambos sentidos; es decir, hacia a delante y hacia atrás.

7 MARCO CONCEPTUAL

7.1 Inteligencia Artificial (IA)

En términos sencillos, la IA hace referencia a sistemas que emulan la inteligencia humana para la realización de tareas y es posible mejorar de forma iterativa, con base en la información que se recopila; la IA se evidencia de diferentes maneras. A continuación, se evidencian algunos ejemplos:

- Los *chatbots* usan la IA para entender más rápidamente los problemas del cliente y dar respuestas más eficientes.
- Los asistentes inteligentes usan la IA para el análisis de los datos críticos provenientes de conjuntos grandes de datos de texto libre para el mejoramiento de la programación.

- Los motores de recomendación pueden dar sugerencias automatizadas para programas de televisión, de acuerdo con los hábitos de visualización del usuario.

La IA busca en mayor medida el proceso y la capacidad de pensamiento superpoderado y los análisis de información acerca de cualquier formato o función particular. Si bien la IA expone imágenes de *robots* con características humanas de alto funcionamiento que se adueñan del planeta, la IA no busca ser el reemplazo de las personas; el propósito de esta es la mejora significativa de las capacidades y contribuciones de las personas. Lo anterior convierte a la IA en un activo empresarial de gran valor (Oracle, 2023).

7.2 Neurona

Es la unidad más básica de la RNA y pretende aplicar funciones a la información de entrada, que recibe otra neurona, y ello produce otro valor de salida nuevo. Tales unidades tienen pesos sinápticos y funciones que se aplican para conectarse entre sí (Escamilla et al., 2020).

7.3 Red Neuronal

Hay múltiples maneras de conceptualizar una red neuronal, hay conceptos cortos y genéricos y otros que buscan dar explicación más detallada sobre lo que son las redes neuronales, a saber:

- Nuevo modo de computación que se inspira en modelos biológicos.
- Modelo matemático conformado por diversos elementos procesales que se organizan por niveles.
- Sistema de computación conformado por muchos elementos simples, elementos de procesos interconectados, los cuales procesan datos a través de su estado dinámico, a modo de respuesta a entradas externas.
- Redes interconectadas de forma masiva en paralelo con elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, que intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico (Ruiz y Basualdo, 2001).

7.3.1 Ventajas de las Redes Neuronales

Por sus fundamentos y su constitución, estas redes tienen numerosas características parecidas a las del cerebro, como aprender de las experiencias, generalizar casos anterior a casos nuevos, abstracción

de características fundamentales mediante entradas que representan datos irrelevantes, entre otros. Lo anterior permite brindar un gran número de ventajas y que esta clase de tecnologías se aplique en diversos ámbitos; algunas de estas ventajas se exponen a continuación.

- Aprendizaje adaptativo: aprender a hacer tareas con base en un entrenamiento o una experiencia inicial.
- Autoorganización: las redes neuronales pueden hacer su propia organización o representación de los datos que recibe por medio de una etapa de aprendizaje.
- Tolerancia frente a los fallos: la destrucción parcial de una red lleva a degradar su estructura; no obstante, ciertas capacidades de la red pueden ser retenidas, incluyendo cuando se sufre un daño grande.
- Operación en tiempo real: los cómputos neuronales pueden hacerse paralelamente; para ello, se crean máquinas con hardware especial para obtener tal capacidad.
- Fácil inserción en la tecnología existente: se obtienen *chips* especializados para redes que optimicen su capacidad en tareas específicas. Lo anterior hace que sea más fácil la integración modular en los sistemas ya existentes (Ruiz y Basualdo, 2001).

7.4 Capa de Entrada

Los datos del mundo exterior van al interior de la red neuronal artificial a partir de la capa de entrada. Los nodos de entran realizan el procesamiento de la información, los cuales son analizados, clasificados y pasan a la capa que sigue (AWS Amazon, 2023).

7.5 Capas Ocultas

Estas capas adquieren su entrada de la capa de entrada u otras capas ocultas. Las RNA pueden tener un gran número de capas ocultas; cada una de estas capas hace el análisis de la salida de la capa anterior, hace el procesamiento y pasa a la capa que sigue (AWS Amazon, 2023).

7.6 Capa de Salida

Esta capa brinda el resulta final del procesamientos de la información que hace la RNA; esta puede tener uno o más nodos. Como ejemplo de ello, si hay un problema clasificado como binario (sí o no), esta

capa tendrá un nodo de salida que resultará en 1 o 0. Empero, si hay un problema clasificado como multiclase, la capa se conforma por más de un solo nodo de salida (AWS Amazon, 2023).

7.7 Área de Terreno (Catastral)

Se define como una medida de extensión de superficies, que se expresa en el estándar del sistema internacional de unidades. Entre tanto:

> Las áreas homogéneas de tierras con fines catastrales, son espacios de la superficie terrestre que presentan características y/o cualidades similares en cuanto a las condiciones del clima, relieve, material litológico o depósitos superficiales y de suelos, que expresan la capacidad productiva de las tierras; esta se indica mediante un valor numérico denominado Valor Potencial (VP). (Salinas, 2020, p. 17)

7.8 Destinación Económica

Es la categorización para propósitos estadísticos que se le da a cada inmueble en su conjunto (terreno, edificaciones o construcciones), cuando se le da la identificación del predio, de acuerdo con la actividad que predomine en este. Los predios, a partir de su destinación económica, se clasifican así:

- Habitacionales: se destinan a ser viviendas, y se incluyen también parqueaderos, garajes y depósitos.
- Industriales: en estos se realizan actividades para elaborar y transformar materia prima.
- Comerciales: se usan para intercambiar bienes y/o servicios, con el propósito de satisfacer las necesidades de diversos grupos.
- Agropecuarios: destinados a actividades agrícolas y pecuarias.
- Mineros: destinados a extraer y explotar minerales.
- Culturales: dirigidos a desarrollar actividades enfocadas en el arte y el ejercicio del intelecto.
- Recreacionales: destinados a la práctica de actividades de entretenimiento.
- Salubridad: se utilizan para clínicas, hospitales y puestos de salud.
- Institucionales: se usan para administrar y prestar servicios del Estado.

- Educativos: orientados a las actividades educacionales o académicas.
- Religiosos: se usan para prácticas religiosas.
- Agrícolas: se utilizan para sembrar y aprovechar diversas especies vegetales.
- Pecuarios: se usan para criar, beneficiar y aprovechar a ciertas especies animales.
- Agroindustriales: dirigidos a cultivar y transformar los sectores forestar, agrícola y pecuario.
- Forestales: se utilizan para explotar especies maderables y no maderables.
- Usos públicos: pueden ser usados por la comunidad de forma abierta.
- Servicios especiales: estos tienen un alto impacto social y/o ambiental. Entre estos se hallan los centros para almacenar combustible, cementerios, cárceles, mataderos, etc. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], Circular 5.1/ 479 de 2 de agosto de 2007)

En caso de que existan diferentes destinaciones para el mismo predio, se pueden clasificar de acuerdo con la actividad que predomine; se clasifican con base en su grado de desarrollo de la siguiente manera:

- Lotes urbanizables no urbanizados: no están construidos, y aunque reglamentados, no se han urbanizado.
- Lotes urbanizado no construidos o edificados: no están construidos y tienen alguna clase de obra de urbanismo.
- Lotes no urbanizables: en estos, según la reglamentación, no pueden ser urbanísticos (IGAC, Circular 5.1/ 479 de 2 de agosto de 2007).

7.9 Avalúo Catastral

Es el valor de un predio determinado a través de un procedimiento técnico y administrativo en desarrollo de las actividades catastrales. En el componente técnico se realiza un estudio económico masivo del área objeto de intervención catastral por formación o actualización y en el componente administrativo se determina el porcentaje de adopción, el cual no podrá ser inferior al 60 % del valor del estudio económico, ni superior a este. Metodológicamente, se hace el estudio económico determinando valores unitarios para terreno y construcción. En ese sentido, se determinan valores integrales para predio sometidos al régimen de propiedad horizontal; para el

> efecto, el IGAC desarrollará los modelos que reflejen el valor de los predios en el mercado inmobiliario conforme a sus condiciones y características.
>
> Para el avalúo catastral no se tendrán en cuenta los valores históricos, artísticos, afectivos, *good will*, la producción primaria, agrícola, ganadera o avícola, la maquinaria agrícola e industrial, los cultivos y los inmuebles por destinación y otros valores intangibles o de paisaje natural que pueda presentar un inmueble; igualmente, no se tendrá en cuenta el mayor valor por la utilización futura del inmueble en relación con el momento en que se efectúe la identificación predial asociada a los procesos catastrales. (IGAC, 2022, pp. 1-2)

7.10 Avalúo Comercial

Es el costo más probable por el que un predio se ofrecería en el mercado, donde el vendedor y el comprador podrían actuar de forma libre, conociendo las condiciones jurídicas y físicas de este.

7.11 Uso del Suelo

Es la categorización que la autoridad competente le da al suelo, teniendo en cuenta el desarrollo de la herramienta para el orden territorial, según las actividades que sea posible desarrollar en este (IGAC, 2022).

7.12 Zona Homogénea Física

> Son espacios geográficos con características similares en cuanto a vías, topografía, servicios públicos, uso actual del suelo, norma de uso del suelo, tipificación de las construcciones y/o edificaciones, áreas homogéneas de tierra, disponibilidad de aguas superficiales permanentes u otras variables que permitan diferenciar estas áreas de las adyacentes. (IGAC, 2002, p. 16)

7.13 Zona Homogénea Geoeconómica

Se puede definir como aquellos espacios de la geografía que se determinan con fundamente en zonas homogéneas físicas con valores unitarios parecidos en relación con el precio, de acuerdo con las condiciones que tenga el mercado de inmuebles (IGAC, 2002).

8 MARCO NORMATIVO

8.1 Ley 14 de 1983

Expedida el 6 de julio de 1983, esta ley pretende" fortalecer los fiscos de las entidades territoriales"; por otro lado, en ella se dictan otras disposiciones, y en su artículo 3 describe que las labores de formar, actualizar y conservar los catastros, así como identificar física, jurídica, fiscal y económicamente de forma correcta a los inmuebles; está a cargo de las autoridades catastrales. Finalmente, en su artículo 4, manifiesta que avaluar cada predio es determinado por la suma de avalúos parciales que se practican de forma independiente para terrenos y edificaciones que se comprendan en este.

8.2 Resolución 1149 de 2021

Fue expedida el 19 de agosto de 2021 por el IGAC, "por medio de la cual se actualiza la reglamentación técnica de la formación, actualización, conservación y difusión catastral con enfoque multipropósito", cuyo objeto consiste en la actualización de las disposiciones acerca de los procesos de formar, actualizar, conservar y difundir los catastros en el país, para determinar y tener una normatividad que asegure el desarrollo adecuado de la gestión catastral con diversos propósitos. Así las cosas, los gestores catastrales, operadores y usuarios del servicio público catastral deben acatar las disposiciones, tales como la Superintendencia de Notariado y Registro, para cumplir las funciones de inspección, vigilancia y control.

8.3 Ley 1753 de 2015

Por la cual se expidió el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 "Todos por un nuevo país", y en referencia a Catastro Multipropósito, en su artículo 104, dispone que se debe promover el hecho de que se implemente el catastro nacional con enfoque multipropósito, al ser el que tiene datos prediales que contribuyen a la seguridad jurídica del inmueble, a fortalecer los fiscos locales, el ordenamiento del territorio, etc. Además, el gobierno, mediante el IGAC, gracias a los catastros descentralizados, pueden llevar a cabo actividades que se necesiten para formar y actualizar catastros gradual e íntegramente, con objetivos adicionales a los que indica la Ley 14 de 1983, a fin de alcanzar la total coherencia entre catastro y registro, a través de levantamientos por predial masico y barrido, en municipios o zonas con prioridad

con el DANE, el DNP, MinAgricultura y MinAmbiente, según la metodología que se defina para tales efectos (IGAC y Superintendencia de Notariado y Registro [SNR], 2016).

8.4 CONPES 3958 de 2019

En este documento con fecha del 26 de marzo de 2019, se estableció una estrategia para implementar una política pública de catastro multipropósito, que posibilita tener un catastro integral, actualizado, consistente con el sistema de registro de la propiedad inmueble, digital e interoperable con otros sistemas de información. Tal estrategia para a reemplazar el CONPES 3859 del 13 de junio de 2016, para adoptar e implementar un catastro multipropósito rural-urbano, que avanzó al implementar la fase piloto. Sin embargo:

> No logró consolidar ajustes estructurales para la ejecución de la política, debido, principalmente, a limitaciones en la realización de ajustes legislativos; por lo tanto, sugieren un plan de acción a 7 años (2019-2025) que contempla el aprovechamiento de la información catastral y de las capacidades institucionales a nivel nacional y subnacional, para alcanzar la actualización gradual y progresiva de la información catastral del país. (CONPES 3958 de 2019, p. 3)

8.5 Ley 1955 de 2019

Emanada el 25 de mayo de 2019, en esta ley “se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”. Esta ley, en la subsección 4, artículo 79, determina la gestión catastral como un servicio público que abarca diversas operaciones administrativas y técnicas enfocadas en formar, actualizar, conservar y difundir adecuadamente la información catastral, al igual que los procedimientos del enfoque catastral multipropósito que se adopten.

Asimismo, determina a los prestadores de la gestión catastral, de modo que el IGAC resulta ser la máxima autoridad de catastro en el país y prestadora, a excepción del servicio público de catastro, como la entidad que regular la gestión del catastro. Igualmente, la ley menciona que la SNR (Superintendencia de Notariado y Registro) o la entidad que ejerza la función debe inspeccionar, vigilar y controlar la gestión catastral que realicen todos los sujetos encargados de ello, incluso gestores y operadores catastrales, además de usuarios de este servicio (Ley 1955 de 2019).

8.6 Decreto 148 de 2020

Expedido el 4 de febrero de 2020 por la Presidencia de la República, que reglamenta de forma parcial los artículos 79 al 82 de la Ley 1955 de 2019, y se modifica de manera parcial el título 2 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1170 de 2015, que expidió el Decreto Reglamentario Único del Sector Administrativo de Información Estadística. En este se dictan disposiciones específicas al IGAC y disposiciones generales del servicio público de gestión catastral. En el capítulo II, se refiere a los procedimientos de enfoque multipropósito, y menciona lo relacionado con Información catastral correspondiente a características económicas, jurídicas y físicas de los inmuebles.

8.7 Resolución 388 de 2020

Esta se expidió, por parte del IGAC, el 13 de abril de 2020, donde se determinaron las especificaciones técnicas para productos de información que se generen mediante procesos de formación y actualización catastral con enfoque multipropósito. El IGAC brinda las definiciones de las especificaciones técnicas de levantamiento catastral o identificación predial, para propósitos de la gestión catastral con enfoque multipropósito y anexos.

8.8 Resolución 620 de 2008

Resolución expedida el 23 de septiembre del 2008 por el IGAC, que estableció los procedimientos para avalúos ordenados con base en la Ley 388 de 1997. En los artículos 1, 2, 3, 4, se reglamentan los métodos valuatorios aplicados en Colombia; esto es, el método de comparación o mercado, de capitalización de rentas o ingresos, de costo de Reposición y método residual

8.9 Ley 1673 del 2013

Ley expedida el 19 de julio de 2013 que reglamentó las actividades del avaluador, entre otras disposiciones. Esta ley permite regular y establecer las responsabilidades y competencias de los avaluadores del país, a fin de poder prevenir riesgos sociales de injusticia, inequidad, restricción del acceso a la propiedad, ausencia de transparencia y engaños posibles hacia compradores y vendedores o el Estado. Asimismo, propende por reconocer la actividad de los avaluadores (Ley 1673 de 2019, art. 1).

9 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

En la presente investigación se seleccionó el municipio El Colegio, esto se debe a que la información cartográfica catastral y alfanumérica de dicho municipio estuvo suministrada por parte de la Agencia catastral de Cundinamarca; en esta agencia se tienen los datos de las zonas homogéneas geoeconómicas con el valor por hectárea de cada zona, y los registros 1 y 2 de cada uno de los predios con su respectivo avalúo. En ese orden de ideas, el trabajo inicial consiste en depurar una sola base de datos predial con los atributos necesarios y variables más relevantes para ingresar al algoritmo. El software para la implementación del algoritmo es R-Studio. El software R-Studio es un software libre, diseñado en lenguaje de programación R, dedicado a la programación estadística y diseño de gráficos.

Con esta información se propone entrenar la red para que pronostique los avalúos catastrales de predios rurales del municipio en cuestión. Por otro lado, como la red neuronal aprende de sus errores, se realizarán varias combinaciones de variables de entrada para depurar el modelo y encontrar predicciones de dichos valores, lo más cercanos a la realidad. Para la ejecución del algoritmo no se tuvieron en cuenta los predios rurales con construcción, dado que la presencia de edificaciones afectaba el valor del avalúo final de los predios; por consiguiente, en el modelo solo se analizarán variables que tienen en cuenta el terreno, mas no la construcción.

Tabla 2

Predios con y sin construcción

	Total predios rurales	**Predios sin construcción**	**Predios con construcción**
No	9374	5155	4219
%	100%	**55%**	45%

9.1 Selección del Tamaño de los Predios

De acuerdo con las recomendaciones dadas en la sustentación del avance del proyecto seleccionaremos el tamaño de predios a trabajar, esto debido a que el municipio El Colegio, por su cercanía a Bogotá, ha sufrido una migración de población (por fines de semana) de la población de la ciudad al municipio; por tal razón, la recomendación radica en llevar a cabo dos modelos, uno con predios en la categoría de microfundios (predios menores a una hectárea) y otro con minifundios (predios con un área entre 1 ha y 3 ha), dado que en estos no cumplen con el área mínima para llevar a cabo actividades

agropecuarias y su destinación había pasado, en su mayoría, a vivienda campestre, y otra, con predios mayores a estas áreas.

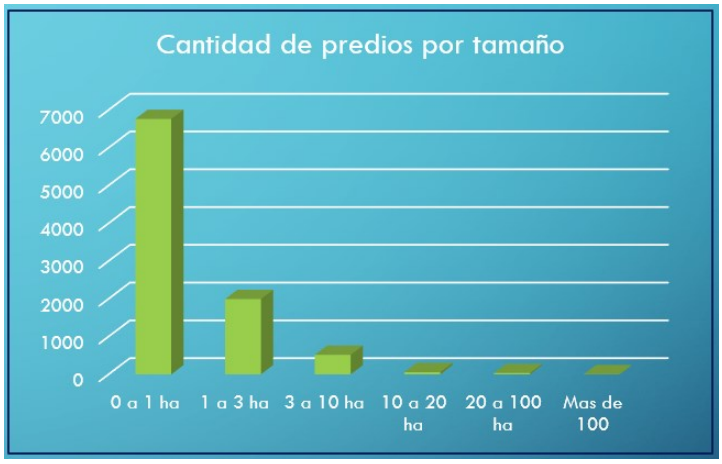
Tabla 3

Estadística tamaño de predios

Tamaño Predio Rural	No de Predios	% No de predios
0 a 1 ha	6763	72.15%
1 a 3 ha	1994	21.27%
3 a 10 ha	517	5.52%
10 a 20 ha	59	0.63%
20 a 100 ha	36	0.38%
Mas de 100	5	0.05%
TOTAL	9374	100.00%

Figura 11

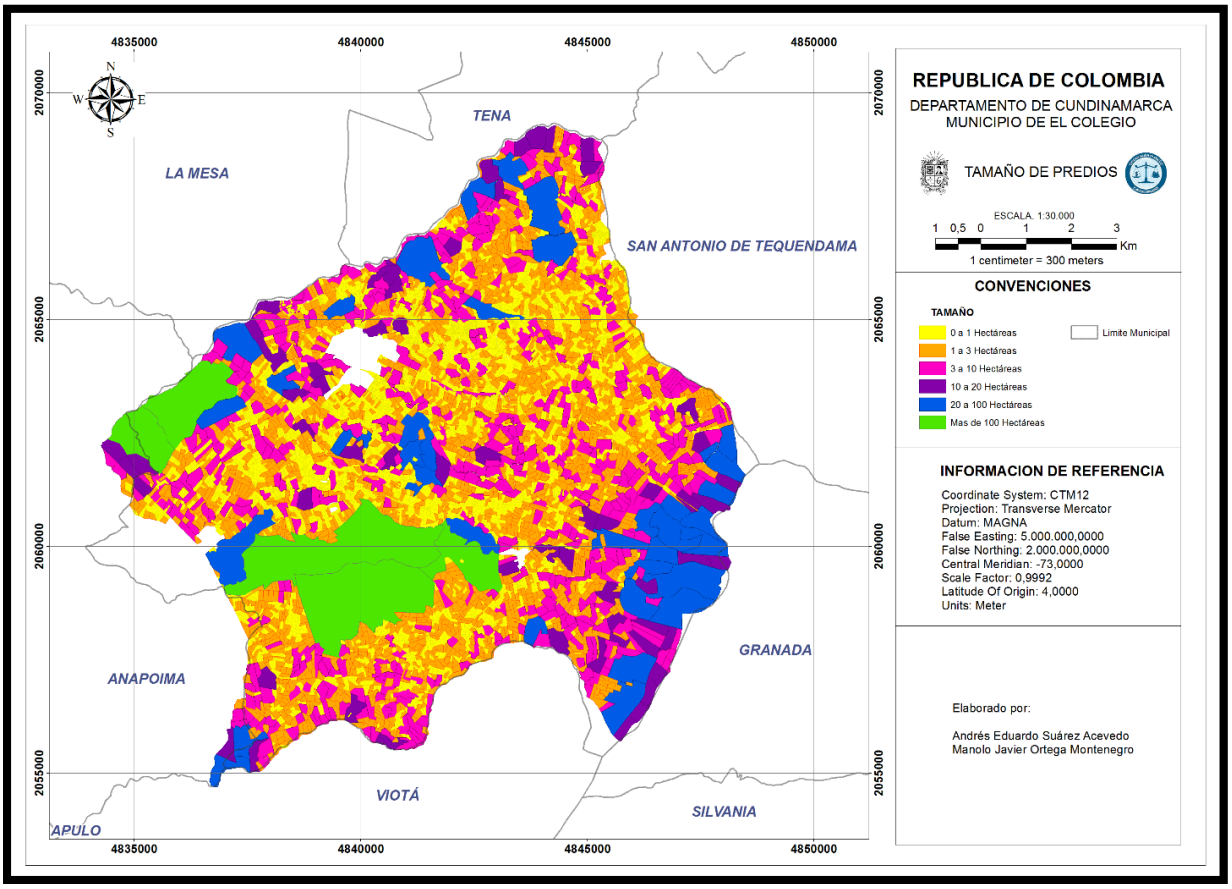
Gráfico de barras: cantidad de predios por tamaño



Conforme a los resultados obtenidos, se observó que alrededor del 93 % de los predios se encuentran por debajo de las 3 ha. Por lo tanto, se elaboró un mapa para observar la distribución de los predios de acuerdo a su tamaño, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 12

Mapa: tamaño de predios



Se observa que los predios de tamaño, mayor a 3 ha, se encuentran mayoritariamente en la periferia del municipio, especialmente en la parte más alta. Limitando con el municipio de Granada, los predios de más de 100 ha, en color verde, todos poseen construcciones, por lo tanto, estos no se tienen en cuenta para la inclusión en el entrenamiento y prueba del algoritmo.

Asimismo, la personas propietarias y poseedores de predios pequeños desarrollan actividades agropecuarias a pequeña escala; por tal razón, se infiere que las variables que afectan el valor del terreno (condiciones como relieve, disponibilidad de agua, vías), también son relevantes para el cálculo de avalúo de estos. Por todo lo anterior, se optó por realizar un solo modelo con predios menores a 10 ha, los cuales conforman casi el 99 % del total del municipio. Cabe recordar que no se hace para predios de mayor área, debido a que el número de datos a ingresar al modelo será muy reducido, y una de las condiciones de un algoritmo de red neuronal consiste en que se alimente con la mayor cantidad de datos posibles para que su entrenamiento sea optimo y se encuentren resultados confiables.

9.2 Variables a utilizar

Los insumos que se tienen del municipio son los siguientes:

- Registros 1 y 2.
- Geodatabase catastral con la capa de terrenos rurales y zonas homogéneas rurales y físicas.
- Geodatabase de áreas homogéneas de tierra.

Con estos insumos se generó una base de datos en Excel con las siguientes variables:

Variables de Entrada:

- Área de Terreno (variable cuantitativa)
- Destino Económico (variable categórica)
- Unidad Climática (variable categórica)
- Valor Potencial (variable cuantitativa)
- Clase Agrologica (variable categórica)
- Pendiente (variable categórica)
- Disponibilidad de aguas (variable categórica)

Variable Respuesta:

- Avalúo (variable Cuantitativa)

Para que se ejecute correctamente el algoritmo de redes neuronales, resulta necesario un cambio en las variables categóricas, puesto que las variables que se le ingresan a este tienen un peso asociado; por tal motivo, una variable de este tipo arroja este tipo de valor. Es por ello que las variables de tipo categórico debieron cambiar a variables *dummies* (unos y ceros), para correr el modelo.

Tabla 4

Conversión variables categóricas a dicótomas

Avaluo	Disponibilidad Agua	Influencia Vial	Destino Economico	Clase ZHT	Area Terreno	Pendiente ZHT	Unidad Climatica ZHT	VP ZHT	Agua 1	Agua 2	Agua 3	Vias 1	Vias 2	Vias 3	Destino 1	Destino 2	Destino 3
21374560	2	3	D	7	17500	4	9	7	1	0	0	0	1	0	0	0	1
671560	4	9	D	11	2420	6	9	11	0	1	0	0	0	1	0	0	1
1111370	4	9	D	11	4000	6	9	11	0	1	0	0	0	1	0	0	1
888890	4	9	D	11	3200	6	9	11	0	1	0	0	0	1	0	0	1
443930	2	3	D	7	4000	4	9	7	1	0	0	0	1	0	0	0	1
566500	2	3	D	9	4200	5	9	9	1	0	0	0	1	0	0	0	1

DESTINO 4	DESTINO 5	DESTINO 6	DESTINO 7	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4	CLASE 5	CLASE 6	CLASE 7	CLASE 8	CLASE 9	CLASE 10	PENDIENTE 1	PENDIENTE 2	PENDIENTE 3	PENDIENTE 4	PENDIENTE 5
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

UC 1	UC 2	UC 3	UC 4	UC 5	VP 1	VP 2	VP 3	VP 4	VP 5	VP 6	VP 7	VP 8	VP 9
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Al correr el modelo con todas las variables no se obtuvieron resultados adecuados, porque la validación estadística del r2 no era significativo. Por esta razón, se procedió a eliminar variables que podían ser poco significativas para nuestro modelo, dado que, en algunas, la presencia en el municipio era muy baja o nula, y se dejaron las que podían tener una mayor incidencia en el cálculo final del avalúo. En consecuencia, este proceso consistió en prueba y error, hasta dejar las variables que permitieran obtener un r2 más significativo. Las variables físicas que se dejaron para la aplicación del algoritmo fueron:

- Disponibilidad de aguas: 1) abundantes, 2) suficientes y 3 escasas.
- Influencia vial: 1) buenas - Pavimentada (2 o más vías), 2) buenas – sin pavimentar, 2 o más vías y 3) regulares – pavimentada vía angosta.
- Destino Económico: 1-A. Habitacional, 2-C. Comercial, 4-G. Recreacional, 5-H. Salubridad, 6-I. Institucional.
- Pendiente: 4. (12-125 %) fuertemente ondulado; 5. (25-50 %) ligeramente escarpado.
- Clases: se tomaron las que venían por defecto en la base.
- Valor potencial: 6, 7 y 8.

9.3 Validación Cruzada

La base de datos final depurada se dividió en dos partes. La primera parte, sirvió para entrenar el modelo; y la segunda, para probarlo. El tamaño de cada parte de datos se definió por medio de la validación cruzada o *cross-validation*, técnica empleada para evaluar que los resultados obtenidos sean confiables o estadísticamente buenos (Devijver y Kittler, 1982).

Los datos utilizados para estas particiones se realizaron de manera "aleatoria" (pseudoaleatoria) y las particiones se efectuaron de la siguiente manera, teniendo en cuenta que el primer dato corresponde a los datos de entrenamiento, mientras que el segundo corresponde a los datos para prueba:

- 50/50
- 60/40
- 70/30
- 80/20
- 90/10

Las validaciones estadísticas arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 5

Errores obtenidos de la validación cruzada

50	60	70	80	90
0.71272	0.731592	0.727364	0.75651	0.728325
0.71377	0.72476	0.724203	0.689001	0.739978
0.702199	0.702312	0.713396	0.761247	0.74461
0.712545	0.700404	0.708295	0.744113	0.749694
0.692925	0.708529	0.678233	0.750584	0.718828
0.7225	0.718185	0.723699	0.73652	0.714974
0.725877	0.715151	0.735843	0.688081	0.738665

En ese sentido, se observó que los errores más bajos se obtienen en las combinaciones 80/20 y 90/10, se dejó por fuera la combinación 90/10, porque, para que una red neuronal funcione de manera adecuada, necesita una gran cantidad de datos; por lo tanto, la opción de 90/10 arroja muy pocos datos para la prueba del modelo. Como consecuencia, se eligió la opción 80/20.

9.4 *Script R-Studio* o Código del Algoritmo

- Las librerías se definen como un grupo de archivos de código que se usan para el desarrollo deel software; es decir, es un código base para construir nuevos *scripts* para su utilización.

Figura 13

Librerías

```
#libreria utilizada principalmente, para correr el modelo
library(neuralnet); #es usado para el modelo
library(ggplot2) #es usado para el ploteo o grafico
library(readxl) #es usado para leer el dataset que esta en excel
library(writexl) #escribir excel de resultado
options(java.parameters = "-Xmx4g" )
```

- Generación de números aleatorios para la validación: se hace con el comando *set. seed* (12), el número 12 es la combinación de la aleatoriedad de los datos; es decir, los datos no son 100 % aleatorios.

- Llamar o ingresar base de datos, declarar variables de entrada o explicativas y la variable respuesta o explicada: la base de datos a usada se guardó en un archivo en Excel, la cual es llamada al algoritmo por medio de la sentencia *read*-excel.

- Eliminar Valores Nulos: este paso se realiza para no tener en cuenta datos con valor cero, para este caso, valores de avalúo igual a $0.

- Cross Validation: se genera la partición 80/20 para la validación de los datos, anteriormente se explicó que era la combinación con menor error.

Figura 14

Código validación cruzada

```
#(bloquecito, particion de los datos, 80-20)
n        <- nrow(data) #corresponde al numero de filas del dataset
muestra  <- sample(n, n * .80) # se toma una muestra aleatoria
train    <- data[muestra, ] # matriz de entrenamiento
test     <- data[-muestra, ] # matriz de prueba
test     <- na.omit(test)
train    <- na.omit(train)
```

- Definición de la ecuación que describe el modelo: la ecuación se define como la suma de cada una de las variables dependientes más un error.

- Crear capas de neuronas, de entrada, ocultas y de salida: el modelo se planteará con dos capas ocultas; la primera, con 9 neuronas, y la segunda, con 7. Esta combinación es la sugerida por la teoría de redes neuronales.

Figura 15

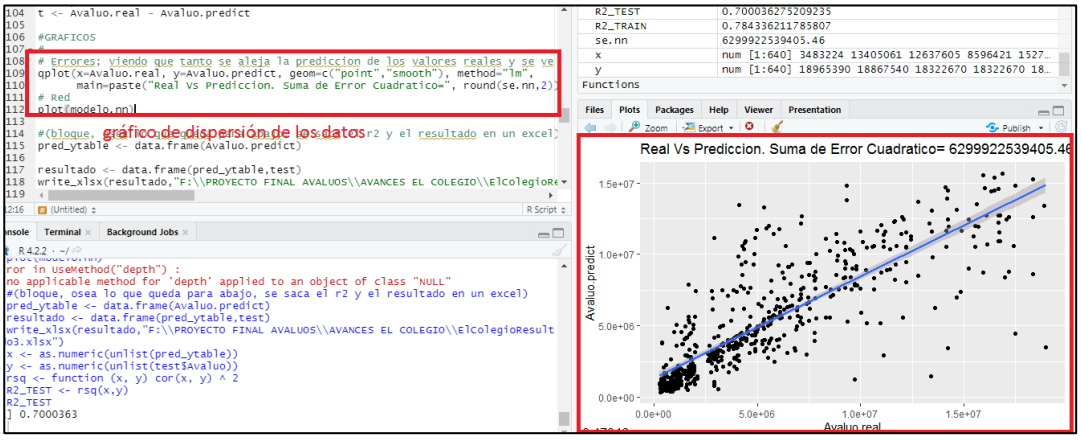
Definición capas ocultas de la red neuronal

```
#Donde entra la suma de las variables, realizada
modelo.nn <- neuralnet(frml,
                       data          = train_nrm,
                       hidden        = c(9,7), #
                       threshold     = 0.05,   #
                       algorithm     = "rprop+",
                       linear.output=F # esto es
                       )
```

- Se ajusta el nivel de entrenamiento; es decir, la cantidad de iteraciones que debe hacer el algoritmo para arrojar los resultados.
- Ajustar el entrenamiento del algoritmo, estableciendo nivel de optimización, cuántos entrenamientos realizar y normalización de los datos.

Figura 16

Normalización de datos

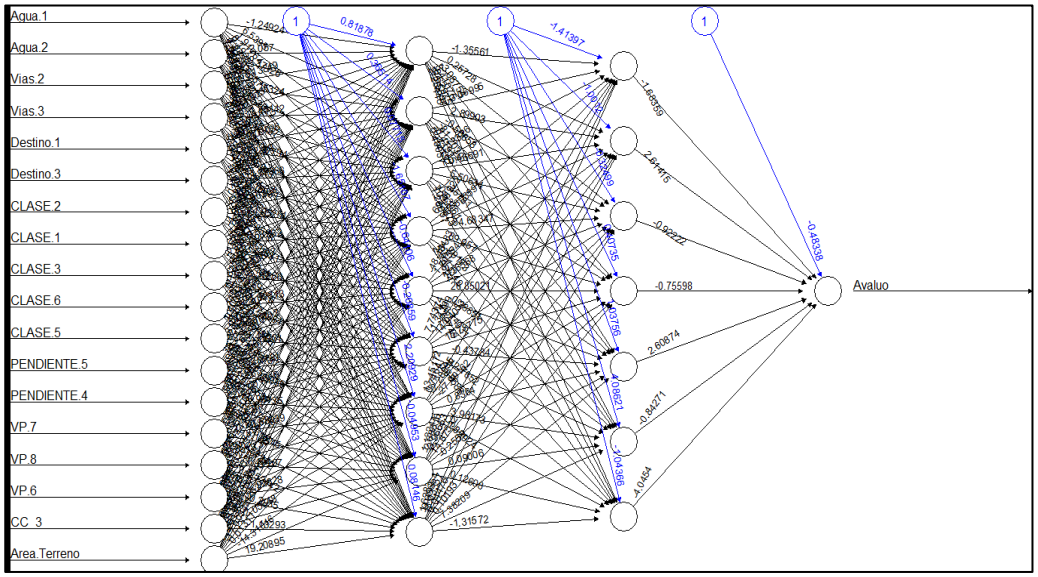


La normalización o estandarización de variables se realizar con el fin de evitar los efectos negativos de valores extremos en el modelo, de tal manera que los valores muy altos, potencialmente atípicos, no afecten el resultado.

- Visualizar resultados.

Figura 17

Red neuronal del modelo



Nota. Se observan las variables utilizadas en las capas de entrada (Input File), los sesgos en las capas ocultas, que son el resultado de las iteraciones y por ende el entrenamiento hecho por el algoritmo

- Los resultados de los avalúos por predio quedan registrados en Excel anexo.
    - Realizar verificaciones estadísticas y calcular el R2: a continuación, se muestran los resultados de los r2, tanto los datos de prueba como los del entrenamiento.

Figura 18

Estadísticos de los datos de entrenamiento

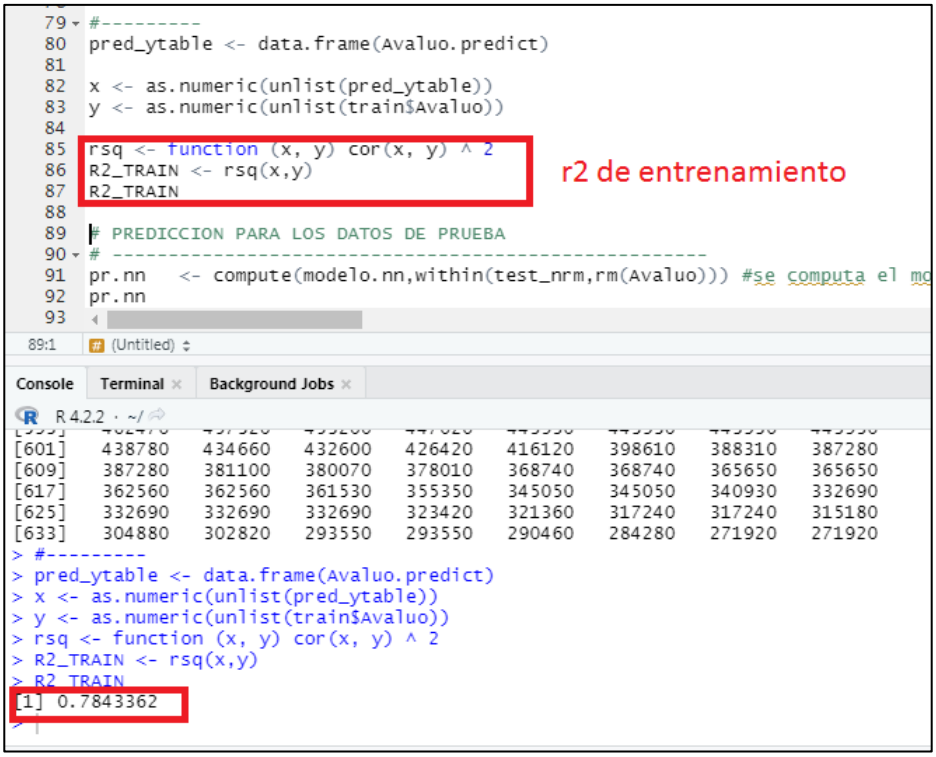
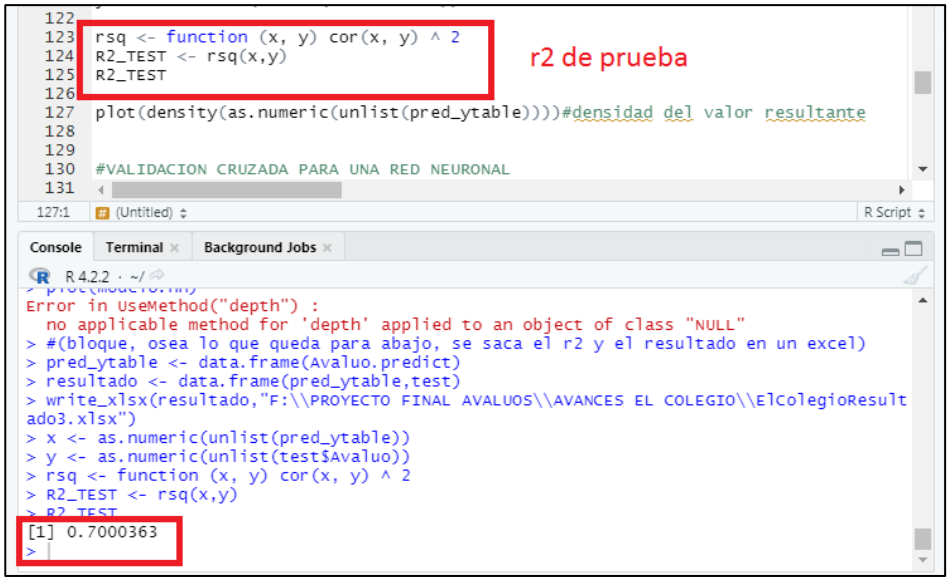


Figura 19

Estadísticos de los datos de prueba



- Exportar resultados a Excel, Al archivo anexo fue llamado: ElColegioResultadoFINAL

Tabla 6

Resultado Final del Algoritmo

Cédula Catastral	Avalúo Modelo	Avalúo Inicial	Diferencia	% variación
252450000000000070314000000000	1063952,006	1062960	992,0064	0,09 %
252450000000000050531000000000	6277333,983	6290210	12876,02	0,20 %
252450000000000340091000000000	6118065,976	6104810	13255,98	0,22 %
252450000000000200098000000000	4344319,914	4353810	9490,086	0,22 %
252450000000000050493000000000	7009555,805	7026660	17104,2	0,24 %
252450000000000310303000000000	11145645,41	11103400	42245,41	0,38 %
252450000000000090094000000000	4147104,443	4163260	16155,56	0,39 %
252450000000000350004000000000	14286024,95	14214000	72024,95	0,51 %
252450000000000300014000000000	7147135,046	7107000	40135,05	0,56 %
252450000000000200278000000000	10632347,6	10560590	71757,6	0,68 %
252450000000000390236000000000	3754331,071	3725510	28821,07	0,77 %
252450000000000340033000000000	7041796,85	7107000	65203,15	0,92 %
252450000000000380188000000000	5009408,473	4962540	46868,47	0,94 %
252450000000000380161000000000	2926259,396	2957130	30870,6	1,04 %
252450000000000070420000000000	3041679,07	3075580	33900,93	1,10 %
252450000000000210109000000000	15728675,47	15918650	189974,5	1,19 %
252450000000000100193000000000	9368180,163	9254550	113630,2	1,23 %
252450000000000390190000000000	4724817,336	4663840	60977,34	1,31 %
252450000000000390081000000000	9341953,664	9217470	124483,7	1,35 %
252450000000000090509000000000	3350492,806	3301150	49342,81	1,49 %

10 ANÁLISIS DE RESULTADO

Los resultados se analizaron sobre el conjunto de datos de prueba. En esa medida, se evidenció que el 43,5 % de los datos presentó una variación menor al 20 % del avalúo inicial, a pesar de tener un estadístico r2 cercano al 0.8, lo cual indica un buen ajuste de los datos. Así, la variación de los avalúos no es lo suficientemente confiable, puesto que más de la mitad de los datos varían en más de un 20 % en relación con el avalúo inicial.

Tabla 7

Resumen resultados

		0 % -20 %	**20 % -50 %**	**Más de 50 %**
Total Datos	570	248	183	139
Porcentaje	100 %	43,51 %	32,11 %	24,39 %

11 CONCLUSIONES

- Existen diferentes dinámicas en el mercado inmobiliario, como el fraccionamiento de predios rurales, debido a procesos de repartición de tierras y al interés de la población urbana por adquirir terrenos en zonas rurales cercanas; fenómeno acrecentado después de la pandemia. Dicha problemática origina nuevas dinámicas inmobiliarias que posibilitan la inclusión de nuevas variables que influyen en el valor del terreno rural.

- Con los métodos avanzados de valuación, como técnicas de inteligencia artificial, se incorporan con facilidad variables nuevas que determinen de modo más preciso los avalúos rurales de terrenos.

- El método de redes neuronales es uno de los más robustos y utilizados para la determinación de avalúos catastrales y comerciales, como se evidencia a partir del uso que hace el catastro Bogotá, el cual se basa en este método para determinar los avalúos.

- El presente trabajo queda abierto para su continuación en semestres y trabajos futuros con el propósito de refinarlo para alcanzar una mejor predicción de los valores.

12 REFERENCIAS

Agencia Catastral de Cundinamarca. (2023). *Actualización Catastral.* https://www.acc.gov.co/#/inicio

AWS Amazon. (2023). *¿Qué es una red neuronal?* https://aws.amazon.com/es/what-is/neural-network/

Chávez, D. A. (2022). *Aplicación de redes neuronales artificiales para la valorización de los departamentos habitacionales de la ciudad de Lima en 2020. [Tesis de grado].* Universidad Señor de Sipán. https://hdl.handle.net/20.500.12802/9396

Chubb. (2023). *La Inteligencia Artificial (IA) mejora la experiencia del cliente.* https://www.chubb.com/co-es/pymes/articulos/inteligencia-artificial-que-es.html

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2016). *CONPES 3859 de 2016. Política para la adopción e implementación de un catastro multipropósito rural-urbano.* Departamento Nacional de Planeación.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2019). *CONPES 3958 del 26 de marzo de 2019. Estrategia para la implementación de la política pública de catastro multipropósito.* Departamento Nacional de Planeación.

Decreto 148 de 2020. Por el cual se reglamentan parcialmente los artículos 79, 80, 81 y 82 de la Ley 1955 de 2019 y se modifica parcialmente el Título 2 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1170 de 2015, 'Por medio del cual se expide el Decreto Reglamentario Único del Sector Administrativo de Información Estadística. 4 de febrero de 2020.

Devijver, P. A., & Kittler, J. (1982). *Pattern Recognition: A Statistical Approach.* Prentice-Hall.

Escamilla, A., Soto, G. M., Toledano, M., Rivas, E., & Gastélum, A. (2020). Applications of Artificial Neural Networks in Greenhouse Technology and Overview for Smart Agriculture Development. *Applied Sciences, 10*(11), 1-43. https://doi.org/10.3390/app10113835

Flores, J. (18 de enero de 2023). *Sinapsis, el lenguaje de las neuronas en el cerebro.* https://bit.ly/3Yee2PS

Hop Toys. (30 de mayo de 2022). *Aprender a montar en bici: consejos de una terapeuta.* https://www.bloghoptoys.es/aprender-a-montar-en-bici-consejos-de-una-terapeuta/

IBM. (s.f.). *Redes neuronales convolucionales.* https://www.ibm.com/co-es/topics/convolutional-neural-networks

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2022). *Glosario único de términos catastrales.* Gobierno de Colombia.

Instituto Geográfico Agustin Codazzi [IGAC] y Superintendencia de Notariado y Registro [SNR]. (2016). *Conceptualización y especificaciones para la operación del catastro multipropósito V.2.1.1.* Gobierno de Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. Circular 5.1/ 479 de 2 de agosto de 2007. Definiciones de Destinación Económica de los Predios.

Ley 14 de 1983. Por la cual se fortalecen los fiscos de las entidades territoriales y se dictan otras disposiciones. 6 de julio de 1983. Diario Oficial No. 36.288.

Ley 1673 de 2013. Por la cual se reglamenta la actividad del avaluador y se dictan otras disposiciones. 19 de julio de 2013. Diario Oficial No. 48.856.

Ley 1753 de 2015. Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”. 9 de junio de 2015. Diario Oficial No. 49.538.

Ley 1955 de 2019. Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. 25 de mayo de 2019. Diario Oficial No. 50.964.

Montoya, J. C. (2019). *Modelo de valoración de propiedad raíz mediante el uso de redes neuronales. [Tesis de grado].* Universidad EIA. https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2425

Oracle. (2023). *¿Qué es la inteligencia artificial?* https://www.oracle.com/co/artificial-intelligence/what-is-ai/

Osorio, W. R., & Rozo, A. (2017). *Predicción del avalúo catastral de los predios urbanos en la ciudad de Pereira mediante aprendizaje de máquina. [Tesis de maestría].* Universidad Tecnológica de Pereira. https://hdl.handle.net/11059/8754

Quete, S. P. (2017). *Metodología de clasificación física para el avalúo masivo de terrenos de predios rurales en un catastro multipropósito. [Tesis de maestría].* Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63062

Resolución 1149 de 2021 [Instituto Geográfico Agustín Codazzi]. Por la cual se actualiza la reglamentación técnica de la formación, actualización, conservación y difusión catastral con enfoque multipropósito. 19 de agosto de 2021.

Resolución 388 de 2020 [Instituto Geográfico Agustín Codazzi]. Por la cual se establecen las especificaciones técnicas para los productos de información generados por los procesos de formación y actualización catastral con enfoque multipropósito. 13 de abril de 2020.

Resolución 620 de 2008 [Instituto Geográfico Agustín Codazzi]. Por la cual se establecen los procedimientos para los avalúos ordenados dentro del marco de la Ley 388 de 1997. 23 de septiembre de 2008.

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–Laurel, del municipio de Medellín. [Tesis de especialización].* Institución Universitaria Esumer. http://repositorio.esumer.edu.co/jspui/handle/esumer/1885

Ruiz, C. A., & Basualdo, M. S. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones.* Universidad Tecnológica Nacional.

Salinas, D. M. (2020). *Generación de zonas homogéneas geoeconómicas del sector oriental del Municipio de Fusagasugá utilizando el proceso analitico jerarquico - AHP. [Tesis de especialización].* Universidad Distrital Francisco José de Caldas. http://hdl.handle.net/11349/27560

Tanco, F. (2021). *Redes neuronales artificiales.* Universidad Tecnológica Nacional.

Villanueva, J. D. (2020). *Redes neuronales desde cero (II): algo de matemáticas.* https://www.iartificial.net/redes-neuronales-desde-cero-ii-algo-de-matematicas/