

**METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE DIAGNOSTICO URBANO  
UTILIZANDO COMO HERRAMIENTA LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

**ERIKKA SOFÍA GÓMEZ BOHÓRQUEZ**

**Proyecto investigación + creación de grado para optar el título de  
ARQUITECTO**

**Director:**

**German Andrés Gutiérrez Pinzón**

**Profesión**

**ARQUITECTO**

**Co director:**

**Camilo Alejandro Moreno Iregui**

**Profesión:**

**ARQUITECTO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**BOGOTA D.C**

**2023**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

Nombre  
Director de Trabajo de grado

---

Nombre  
Jurado 1

---

Nombre  
Jurado 2

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría Académica

María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrectoría de Investigaciones y extensión

Susan Margarita Benavides Trujillo

Vicerrector Administrativo y Financiero

Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

José Luis Macías Rodríguez

Decana Facultad de Arquitectura

Arq. María Margarita Romero Archbold

Las directivas del claustro de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente; no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

*Dedicado a mi madre, mi padre y mi hermano, quienes me apoyaron de forma incondicional;  
A mi mascota por su constante compañía y noches en vela, y a Alejandro  
quien con su constante apoyo y ayuda se logró el resultado esperado.*

*Agradezco a los profesores que estuvieron apoyando este proyecto,  
y mis compañeros de trabajo que estuvieron pendientes y me brindaron  
su apoyo*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN CREACIÓN</b>	<b>2</b>
1.1 Situación problema	2
1.2 Pregunta de investigación	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	4
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>6</b>
<b>3. ANTECEDENTES</b>	<b>10</b>
<b>4. MARCO REFERENCIAL</b>	<b>13</b>
4.1 Marco teórico conceptual	13
4.2 Marco legal	14
<b>5. DIAGNÓSTICO URBANO</b>	<b>19</b>
<b>6. INCORPORACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN A LA CREACIÓN</b>	<b>26</b>
6.1 El proceso de indagación	26
6.2 Los análisis y los resultados a la pregunta de investigación	27
6.3 La incorporación de los resultados en el proyecto arquitectónico	29
6.4 Resultados códigos de programación	30
<b>7. LOS PRINCIPIOS Y CRITERIOS DE COMPOSICIÓN</b>	<b>36</b>
<b>8. SELECCIÓN DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN</b>	<b>39</b>
8.1 Implantación	40
<b>9. PROYECTO DEFINITIVO</b>	<b>43</b>

<b>10. RESULTADOS FINALES</b>	<b>45</b>
<b>11. CONCLUSIONES</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>51</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Deep Learning</i>	3
Figura 2 <i>Diagrama de flujo</i>	7
Figura 3 <i>Resultados</i>	19
Figura 4 <i>Precisiones</i>	20
Figura 5 <i>Diagnóstico de usos del suelo</i>	21
Figura 6 <i>Diagnóstico alturas</i>	22
Figura 7 <i>Diagnostico zonas verdes</i>	23
Figura 8 <i>Diagnostico densidad poblacional</i>	24
Figura 9 <i>Tabulación de datos de ingreso</i>	30
Figura 10 <i>Estructura verde</i>	30
Figura 11 <i>Alturas</i>	31
Figura 12 <i>Usos</i>	32
Figura 13 <i>Densidad</i>	33
Figura 14 <i>Estructura verde predicción</i>	34
Figura 15 <i>Usos predicción</i>	34
Figura 16 <i>Alturas predicción</i>	35
Figura 17 <i>Densidad predicción</i>	35
Figura 18 <i>Diagrama de flujo estructura verde</i>	36
Figura 19 <i>Diagrama de flujo densidad</i>	37
Figura 20 <i>Diagrama de flujo alturas</i>	37
Figura 21 <i>Diagrama de flujo usos</i>	38
Figura 22 <i>Estructuras verdes actual</i>	40
Figura 23 <i>Usos actuales</i>	41
Figura 24 <i>Alturas actuales</i>	41
Figura 25 <i>Densidad Poblacional actual</i>	42
Figura 26 <i>Estructura verde final</i>	45
Figura 27 <i>Alturas final</i>	46
Figura 28 <i>Usos final</i>	47
Figura 29 <i>Densidades final</i>	48

## RESUMEN

En el contexto actual de las ciudades, la problemática urbana y tecnológica se entrelazan para buscar soluciones innovadoras que mejoren la calidad de vida de los ciudadanos. Una de las propuestas más prometedoras es la aplicación de la inteligencia artificial por medio de deep learning en intervenciones urbanas para crear espacios y predicciones de mejora del sector.

La problemática urbana en el sector de Chapinero central se manifiesta en diferentes aspectos, como la falta de espacios verdes, la congestión del tráfico, la contaminación ambiental y la desconexión social. Estos desafíos afectan negativamente la calidad de vida de los habitantes y requieren soluciones que combinen tecnología e innovación.

Para esto se plantea un diagnóstico urbano mediante inteligencia artificial que ofrece una serie de ventajas para abordar estos problemas por medio de un modelo predictivo. Teniendo en cuenta que la inteligencia artificial puede analizar grandes cantidades de datos en tiempo real, como el flujo de tráfico, los patrones de movilidad y la calidad del aire, esto permite una toma de decisiones, recolección de datos más eficiente y una gestión urbana más precisa. Además, por medio del desarrollo del modelo predictivo se entrenan redes convolucionales que permitan establecer en este caso como debería estar distribuido el uso del suelo en el lugar.

Gracias a esta investigación se plantea un nuevo tipo de lineamientos para el análisis e implementación de intervenciones urbanas por medio de las nuevas tecnologías, reduciendo el tiempo y aumentando la precisión de aplicación del modelo.

### **Palabras clave**

*Urbanismo inteligente, Inteligencia artificial, big data, deep learning, intervenciones urbanas, datos geográficos.*

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se enfoca en la indagación de cómo, a través de la inteligencia artificial y otras tecnologías, es posible realizar un ejercicio de diagnóstico urbano que permita mejorar la calidad de vida de los usuarios en un determinado lugar. El propósito de esta indagación es explorar el potencial de la inteligencia artificial y otras herramientas tecnológicas para abordar los problemas urbanos y promover una ciudad más inteligente y habitable.

El problema de investigación se aborda desde una perspectiva interdisciplinaria, combinando los campos de la inteligencia artificial, la arquitectura, el diseño urbano y la ingeniería. buscando integrar soluciones tecnológicas innovadoras en la planificación y gestión urbana, teniendo en cuenta las necesidades y preferencias de los usuarios para lograr una intervención efectiva y significativa.

Para responder a esta problemática, se emplea un enfoque de investigación-creación. Esto implica la realización de un proceso iterativo que combina la investigación teórica y recolección de datos por medio de diferentes recursos como los sistemas geográficos de la ciudad junto con la información normativa existente de este sector. Se recurre a la utilización de herramientas de inteligencia artificial, análisis de datos y otras tecnologías para diseñar y desarrollar intervenciones urbanas

El documento de tesis se estructura en dos apartados principales. En primer lugar, se presenta la recolección y procesamiento de los datos por medio de inteligencia artificial y otras tecnologías tales como programas en Python. Donde se identifican los principales desafíos y oportunidades en el campo.

En segundo lugar, se describe la metodología utilizada para abordar la problemática. Se detallan los pasos seguidos en el proceso de investigación-creación, desde la recolección de datos hasta el diseño e implementación de las intervenciones urbanas. Se explican las herramientas y tecnologías utilizadas, así como los criterios de evaluación para medir el impacto en la calidad de vida urbana. Se presentan los resultados obtenidos a través de la implementación de las intervenciones urbanas. Se muestra cómo la inteligencia artificial y otras tecnologías han contribuido a mejorar la calidad de vida de los usuarios en el lugar objeto de estudio. Se presentan datos cuantitativos y cualitativos que respaldan los beneficios y la efectividad de las intervenciones implementadas.

# 1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN CREACIÓN

## 1.1 Situación problema

Según las proyecciones del banco mundial a nivel global de las ciudades se espera que para el 2050 más del 80% de la población viva en ciudades: Teniendo en cuenta esta cifra se suponen los problemas ligados al entorno urbano como la ineficiencia energética, el tránsito y la contaminación.

Por esta razón surge la necesidad de un buen planteamiento de la ciudad y como esta se resuelve por medio del uso de inteligencia artificial y demás tecnologías desde el inicio y recopilación de información para que este funcione de manera efectiva cuando se implemente puesto que, al diseñar espacios interactivos, la inteligencia artificial puede crear entornos urbanos que se adaptan a las necesidades y preferencias de los ciudadanos. Por ejemplo, mediante sensores inteligentes, se puede ajustar la iluminación y la temperatura de los espacios públicos en función de la afluencia de personas.

Además, se pueden implementar sistemas de transporte inteligentes que optimicen las rutas y reduzcan la congestión, utilizando algoritmos de IA para predecir la demanda y adaptarse a los cambios en tiempo real.

En el sector de Chapinero Central en Bogotá, se presentan diversos problemas urbanos, como la congestión vehicular, la falta de espacios verdes y la desconexión social. Estos desafíos afectan la calidad de vida de los ciudadanos y requieren soluciones innovadoras. Además, se evidencia una brecha tecnológica en el sector, lo que limita aún más las oportunidades de mejora.

Estos problemas urbanos y tecnológicos se retroalimentan entre sí, generando un círculo vicioso. La falta de conectividad y soluciones tecnológicas en el sector dificulta la implementación de intervenciones urbanas efectivas para abordar los desafíos urbanos existentes.

A su vez, la falta de soluciones urbanas innovadoras y participativas limita el interés y la inversión en infraestructura tecnológica en Chapinero Central lo cual no beneficia al sector debido a que es un lugar muy comercial y se deberían implementar otro tipo de estrategias para que funcione de manera más articulada.

Por lo tanto, se propone el uso de inteligencia artificial y otras tecnologías como herramienta principal en intervenciones urbanas tal y como una revitalización urbana, de esta manera permitiendo optimizar los tiempos de análisis y propuesta de proyectos; Además de obtener precisiones superiores al 70% en predicciones del modelo predictivo para un mejor desarrollo de

estas nuevas ciudades inteligentes.

## 1.2 Pregunta de investigación

¿Cómo por medio de la inteligencia artificial y otras tecnologías se puede realizar un diagnóstico urbano que permita mejorar los niveles de incertidumbre y optimizar los procesos de desarrollo en una intervención urbana?

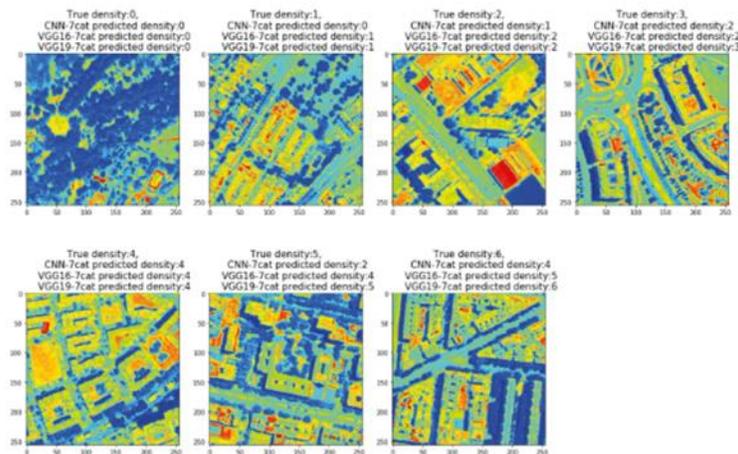
### 1.2.1 Propuesta creativa

Es una propuesta que se realiza en cuatro etapas la cual finaliza en un diagnóstico de intervención urbana por medio de modelos predictivos.

La primera etapa se desarrolla mediante el uso de inteligencia artificial y tecnologías relacionadas para la realización del estudio, planeación de la intervención y posible modelo predictivo de como lo es la adaptación del diseño a la ubicación, su trazado urbano , como se conectan con su entorno de la manera más acertada generando contexto dentro de lugar, de qué manera funciona la movilidad, la forma en la que están distribuidos los usos del suelo y si todo esto está funcionando de manera óptima para el buen desarrollo del ejercicio final.

**Figura 1**

### *Deep Learning*



*Nota. Deep Learning aplicado al urbanismo o cómo analizar mejor las ciudades (2019)*

La segunda etapa va de la mano a la mencionada anteriormente y es el ejercicio de revitalización como resultado del estudio previo y todo lo que se realizará mediante el uso de IA con el modelo

predictivo, para esta propuesta su valor principal se ve en la implementación de espacios interactivos soportados por las TICS, mobiliario urbano que van de la mano con la sostenibilidad y el propósito de una smart city.

### **1.3 Justificación**

Es necesario abordar el problema de cómo la inteligencia artificial y otras tecnologías pueden mejorar la calidad de vida urbana a través de la intervención urbana por varias razones.

En primer lugar, esta investigación tiene una relevancia social significativa. Al utilizar la inteligencia artificial y otras tecnologías para diseñar intervenciones urbanas, se busca mejorar la calidad de vida de los usuarios en un lugar específico. Esto se traduce en beneficios tangibles para los residentes, como un entorno urbano más habitable, mayor accesibilidad, mejor gestión de recursos y una mayor conexión social. Mejorar la calidad de vida en la localidad intervenida es un objetivo social valioso que puede tener un impacto positivo en la comunidad.

Además, esta investigación aporta al campo de la arquitectura y al área de conocimiento relacionada. Al explorar cómo la inteligencia artificial y otras tecnologías pueden ser aplicadas en la intervención urbana, se abren nuevas oportunidades y perspectivas en el diseño sostenible, el desarrollo urbano inteligente, la preservación del patrimonio y las técnicas de planificación y gestión. Esto enriquece el conocimiento y permite avanzar en la búsqueda de soluciones innovadoras y eficientes en el ámbito urbano.

Por último, esta investigación es factible de abordar con los recursos disponibles. La inteligencia artificial está cada vez más accesible y se han vuelto herramientas comunes en diferentes campos. Además, existe una cantidad significativa de literatura y casos de estudio que respaldan la aplicación exitosa de estas tecnologías en la intervención urbana. Con el uso adecuado de recursos materiales, humanos y de tiempo, es posible llevar a cabo investigaciones y proyectos piloto para responder a la pregunta de investigación planteada.

### **1.4 Objetivos**

#### ***1.4.1 Objetivo general de investigación + creación***

- Proponer una metodología que relacione diferentes tipos de inteligencia artificial y ésta permita el funcionamiento como herramienta para la obtención de información necesaria y precisa para la realización e implementación de un ejercicio de intervención urbana en un lugar de estudio

#### ***1.4.2 Objetivos específicos investigación + creación***

1. Realizar un diagnóstico urbano actual por medio de machine learning en el cual se hace una recopilación de datos que alimentarán el entrenamiento de la inteligencia artificial para el desarrollo de un aprendizaje profundo por medio de modelos predictivos.
2. Comparar la información obtenida de las inteligencias artificiales y generar un plan por medio de un modelo predictivo que solucione las problemáticas del lugar y de esta manera observar los cambios del estado actual, y el estado ideal del lugar.
3. Establecer por medio de resultados obtenidos de los modelos predictivos un modelo prospectivo de intervención urbana y el cual presenta los mejores resultados que permiten optimizar y aproximar el desarrollo de un ejercicio de intervención urbana.

#### ***1.4.3 Objetivos específicos de la creación***

1. Explicar cómo se desarrolló la recopilación de los datos por medio de la inteligencia artificial utilizada.
2. Modelar los resultados finales y demostrar por medio de un proyector holográfico los cambios que tienen cada uno de los modelos respecto al diagnóstico principal.
3. Establecer por medio de los porcentajes de asertividad de qué manera se optimiza el proceso de diagnóstico urbano.

## 2. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se realiza por medio de actividades cuantitativas de recolección de datos con inteligencia artificial y big data; Para esto se deben tener en cuenta diferentes aspectos y aplicaciones para acotar la información y que de esta manera sea más precisa.

Como primer paso se comienzan a desarrollar los códigos de programación en el lenguaje Python para la implementación de: seguridad, zonas verdes, estrato socioeconómico, densidad poblacional y patrones de tráfico.

El primer código generado es el de seguridad, el cual trabaja con una biblioteca de twitter en la que relaciona todas las búsquedas recientes de un tema en específico, por ejemplo: “robos en Chapinero”, y automáticamente te recopila los tweets más recientes acerca de esa zona y el tema buscado.

Se genera un segundo código para recoger la información acerca de los espacios verdes que se encuentran en el lugar de estudio donde se evidencia que lugares tienen un alto porcentaje de zonas verdes y cuales están en déficit.

En el Código de densidad poblacional se genera a partir de la cantidad de habitantes por hectáreas y pasándose a m<sup>2</sup> por manzana.

En el caso de código patrones de tráfico nos indica dónde se encuentran los semáforos, accidentes en los últimos 3 meses, paraderos de sitp y Transmilenio, y en tiempo real como se encuentra el tráfico de la zona.

Teniendo en cuenta lo anterior se desarrolla el entrenamiento de una red neuronal convolucional por medio de aprendizaje supervisado entrenado a partir de ortofotografías (imágenes satelitales) en deep learning y así creando un modelo predictivo de usos en el cual arroja resultados acerca del porcentaje óptimo que debería establecerse en lugar estudio.

Gracias a la información anterior se generan los siguientes lineamientos:

1. Recolectar y analizar datos del lugar utilizando IA que se encarguen de la información urbana teniendo en cuenta los siguientes aspectos:
  - Demografía del lugar
  - Patrones de tráfico
  - Actividades económicas

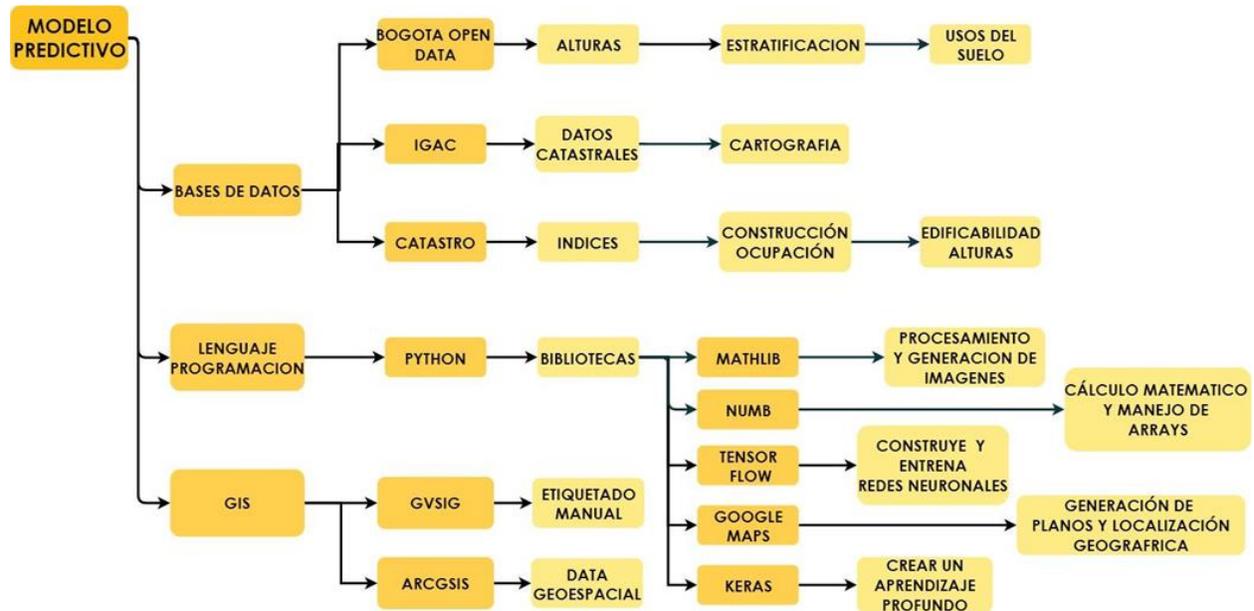
Y de esta manera identificar las áreas que necesitan ser intervenidas con mayor número de falencias en estos aspectos.

2. Desarrollar un modelo predictivo usando IA que identifique los potenciales problemas como áreas de riesgo, niveles freáticos, cambios en la densidad poblacional, usos del suelo o posibles cambios en el trazado vial del lugar
3. Realizar un análisis acerca de la población y sus necesidades, permitiendo que la comunidad haga parte de la intervención urbana haciendo que esta se pueda aplicar de manera correcta según sus criterios o sugerencias.
4. Desarrollar el plan basado en la información recopilada y la información brindada por la comunidad, haciendo uso de las herramientas de IA para modelar y simular el posible impacto que podría tener la intervención en el lugar, y de esta manera escoger el lugar más apto para el desarrollo del proyecto.

En el siguiente diagrama se entiende de mejor manera el uso del lenguaje de programación, el SIG y la inteligencia artificial:

**Figura 2**

*Diagrama de flujo*



**Nota.** El mapa representa el funcionamiento del modelo predictivo y de la manera que se alimenta. Utilizando cada uno de estos recursos se lograría el desarrollo e implementación del modelo predictivo arrojando resultados de precisión superiores al 70%.

**Tabla 1**

*Objetivos*

<b>Objetivo Específico</b>	<b>Actividades</b>	<b>Instrumentos</b>
<p>Objetivo 1</p> <p>Realizar un diagnóstico urbano actual por medio de machine learning en el cual se hace una recopilación de datos que alimentarán el entrenamiento de la inteligencia artificial para el desarrollo de un aprendizaje profundo por medio de modelos predictivos.</p>	<p><b>Consulta:</b></p> <p>-Recopilación de información en las diferentes bases de datos</p> <p><b>Análisis</b></p> <p>Procesamiento de la información por etiquetado</p> <p><b>Resultados</b></p> <p>-Generar y encontrar mapas y gráficos del estado actual</p> <p><b>Aplicación al proyecto urbano</b></p> <p>-Identificación de los lugares que necesiten una intervención</p>	<p><b>Consulta:</b></p> <p>Open data Bogotá, IGAC mapas, Aregis pro, catastro Bogotá y GVSIG</p> <p><b>Análisis</b></p> <p>Recopilación y etiquetamiento de la información en una carpeta llamada “muestras”</p> <p><b>Resultados</b></p> <p>Mapas del estado actual y gráficos generados por los códigos de programación acerca de la información puntual requerida.</p> <p><b>Aplicación al proyecto</b></p> <p>Mapas, modelado y planos acerca de un posible cambio en el lugar.</p>
<p>Objetivo 2</p> <p>Comparar la información obtenida de las inteligencias artificiales y generar un plan por medio de un modelo predictivo que</p>	<p><b>Consulta:</b></p> <p>-Consulta de códigos abiertos</p> <p><b>Análisis</b></p> <p>-Procesamiento de la información por etiquetado</p> <p><b>Resultados</b></p> <p>-Generar mapas de las posibles soluciones</p>	<p><b>Consulta:</b></p> <p>Python y diferentes librerías</p> <p><b>Análisis</b></p> <p>Desarrollo e implementación de programación</p> <p><b>Resultados</b></p> <p>Mapas del estado actual y gráficos generados por los códigos de programación acerca de la información</p>

<p>solucione las problemáticas del lugar y de esta manera observar los cambios del estado actual, y el estado ideal del lugar</p>	<p><b>Aplicación al proyecto urbano</b> -Aplicación y análisis de información</p>	<p>puntual requerida <b>Aplicación al proyecto</b> Mapas, modelado y planos acerca de un posible cambio en el lugar</p>
<p>Objetivo 3 Establecer por medio de resultados obtenidos de los modelos predictivos un modelo prospectivo de intervención urbana y el cual presenta los mejores resultados que permiten optimizar y aproximar el desarrollo de un ejercicio de intervención urbana</p>	<p><b>Consulta:</b> Resultados modelo predictivo y códigos <b>Análisis</b> Procesamiento de la información por etiquetado <b>Resultados</b> Modelado y predicciones <b>Aplicación al proyecto urbano o arquitectónico</b> Análisis urbano teniendo en cuenta el resultado</p>	<p><b>Consulta:</b> Python y diferentes librerías <b>Análisis</b> Listado de instrumentos de análisis de acuerdo con las actividades planeadas, tales como operadores estadísticos, técnicas de geoprocusamiento, técnicas de modelamiento espacial, nubes de palabras, triangulación, comparaciones, etc. <b>Resultados</b> Mapas del estado actual y gráficos generados por los códigos de programación acerca de la información puntual requerida. <b>Aplicación al proyecto</b> Mapas, modelado y planos acerca de un posible cambio en el lugar</p>

*Nota.* El mapa representa como se desarrollaron los objetivos del proyecto.

### 3. ANTECEDENTES

En la actualidad la inteligencia artificial abarca una cantidad gigante de información y de fácil acceso mejorando la calidad de vida como se conoce, en materia de urbanismo se evidencia en la creación de ciudades inteligentes que integran cada uno de sus espacios a través de redes e inteligencia artificial;

Esto más que todo se ha aplicado a la planificación de la ciudad permitiendo mejorar la infraestructura de estas “smart cities”, se hace el uso de la big data la cual se encarga de “Analizar en tiempo real la vida de la ciudad, nuevos modos de gobernanza urbana y proporcionan la materia prima para imaginar y promulgar ciudades más eficientes, sostenibles, competitivas, productivas, abiertas y transparentes” (Kitchin,2014).

Se habla de urbanismo inteligente el cual se utiliza como estrategia para crear ciudades más sostenibles y habitables a través del desarrollo de barrios de uso mixto, calles peatonales y redes de transporte público, pero estas estrategias no serían posibles sin el uso de las diversas tecnologías que se utilizan en el urbanismo inteligente, como sensores, análisis de datos y aprendizaje automático, para esto “recientemente ha habido un impulso consciente para que las ciudades de todo el mundo sean más inteligentes y sostenibles mediante el desarrollo y la implementación de tecnologías de big data y sus aplicaciones novedosas en relación con varios dominios urbanos para mejorar y optimizar los diseños urbanos, estrategias, políticas, operaciones, funciones y servicios”(Bibri,2020).

Muchas de las ciudades actuales han estado tomando decisiones a base de datos explorando las diversas formas en las que pueden convertirse en ciudades inteligentes utilizando recursos tecnológicos actuales mitigando los problemas relacionados con la equidad y accesibilidad de los lugares creando una mayor eficiencia, seguridad y participación ciudadana en este caso

Destacan la importancia de adoptar un enfoque holístico e integrado donde las diversas tecnologías y estrategias que se utilizan en las ciudades inteligentes y sostenibles, como la energía renovable, los sistemas de transporte inteligentes y la infraestructura verde, exploran estas tecnologías y estrategias para apoyar el desarrollo urbano sostenible, donde los ciudadanos son administrados y manipulados en función de conjuntos de datos para controlar la gobernanza urbana y las formas de vida urbanas. Los sistemas de ciudades inteligentes basados en datos se convierten en un mercado digital donde la participación de los ciudadanos-consumidores es cada vez más involuntaria y se definen a través de sus

experiencias con los recursos tecnológicos (Bibri, Allam, 2022).

Un factor importante que también se debe tener en cuenta para estas ciudades inteligentes es el cambio climático, la explotación de los recursos y el tipo de urbanizaciones basándose en algunos conceptos como la sostenibilidad, equidad social y desarrollo económico.; Se piensa que el metaverso es una estrategia importante para la solución de estos factores pues gracias a la realidad virtual aumentada se obtiene un acercamiento más preciso acerca de cómo

La digitalización se utiliza para aumentar el nivel de alfabetización digital en las ciudades, para brindar a los ciudadanos un acceso transparente a la información, para participar en actividades artísticas y culturales con herramientas de realidad aumentada independientemente de la ubicación, para ofrecer servicios de salud en línea, para desarrollar un nuevo modelo de negocios, aumentar la orientación a infraestructuras sólidas y fuentes de energía renovables. (Kemeç,2023).

Ya que se habla un poco del metaverso y como este se aplica a las ciudades inteligentes se tiene en cuenta que

“La simulación de espacios arquitectónicos/urbanísticos nos da esa posibilidad de recrear lo que sea, este tipo de tecnología permite ver, recorrer y experimentar la espacialidad del lugar que sea, a pesar de ser un espacio ya extinto. Esta relación de software y simulación con la arquitectura y el urbanismo permite un recuento de las antiguas formas del habitar, como no dejar que se extingan, así mismo, la exploración de nuevas formas de habitar y espacios no explorados con anterioridad, aspecto que los espacios virtuales como los son los videojuegos ya han intentado algunos acercamientos.” (Prada ,2020).

Gracias a esto se crea una relación entre las ciudades y el aprovechamiento de los recursos tecnológicos como se plantea en el proyecto Arroba Teusaquillo el cual es una propuesta de intervención de revitalización urbana que surge como respuesta a la red ambiental de Teusaquillo donde se busca una integración y revitalización en el territorio que funcione como una “ciudad sistema” esto fomentando el uso del paisajismo e implementar las jerarquías y continuidades con mayor impacto, el cual

“Configura un conjunto de espacios verdes que se infiltren en el lugar y que logren nuevos sistemas de movilidad, accesibilidad y permanencia, incrementando la integración y la calidad urbana de los sectores y barrios limítrofes protegiendo y revalorizando el patrimonio histórico, detectando áreas de oportunidad, generando cambios a largo plazo”

(Álvarez,2021).

En estos casos se pretende un mejoramiento integral de la ciudad en la se beneficien los ciudadanos de los recursos que brinda esta revitalización y los cambios que a medida que pasa el tiempo han ido afectando a la ciudad, un ejemplo de esto son los centros urbanos que poseen ciclos los cuales llevan a afrontar diferentes tipos de situaciones como el cambio de usos de suelo entre vivienda y comercio, para esto se plantea una propuesta urbana sistema que se encarga del deterioro de la zona por medio de paisajismo para consolidar y articular las piezas que conforman la ciudad

“Esto crea un sistema que interrelaciona las dinámicas de la vida cotidiana, mediante un intercambio de múltiples fuerzas que generen un equilibrio y por ende mejoren la calidad de vida, he incentiven la inversión, e incrementa la demanda del suelo en zonas al interior de una ciudad, disminuyendo y/o frenando el crecimiento hacia las periferias” (Silva,2012).

Finalmente para que la calidad de vida urbana de las personas mejore se debe tener vitalidad en ella para que de esta manera el lugar cobra una identidad la cual funciona de manera positiva entre los ciudadanos por esto es que “La vitalidad de las calles de nuestras ciudades, la intensidad de su vida urbana o de las actividades que en ellas desarrollamos los seres humanos, y su capacidad para desempeñar su necesaria función social dependen de numerosos y diversos factores” (Borja, Ureña, Solís; 2014);

Cada una de estas investigaciones que se analizaron dan un gran panorama acerca de lo que se puede hacer en un futuro con las nuevas tecnologías y futuros espacios habitables en los que se tengan en cuenta los diferentes estilos de vida y necesidades de las generaciones actuales. Basado en la información que se recopiló de cada uno de los referentes se comienzan a plantear preguntas acerca del desarrollo de cada una de estas investigaciones y de cómo se podría lograr otro tipo de proyectos que abarquen el tema principal “Inteligencia artificial y otras tecnologías como herramienta aplicada a las intervenciones urbanas para el buen desarrollo e implementación de espacios interactivos dentro de la intervención”.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1 Marco teórico conceptual

#### Conceptos

**-TIC:** son todas aquellas herramientas y programas que tratan, administran, transmiten y comparten la información mediante soportes tecnológicos.

**-M2M:** Se refiere a Machine to Machine (máquina a máquina) y se refiere a cualquier tecnología que facilite el intercambio de información entre dispositivos conectados de forma directa y autónoma sin requerir la intervención de un humano.

**-Revitalización urbana:** Es el instrumento y el recurso potencial para revertir los efectos del deterioro físico, social y económico de los centros de ciudad y de otras partes importantes de la misma; es la oportunidad para recrear las condiciones urbanas que los centros tradicionales demandan para su sostenibilidad

**-Big data:** conjuntos de datos o combinaciones de conjuntos de datos cuyo tamaño (volumen), complejidad (variabilidad) y velocidad de crecimiento (velocidad) dificultan su captura, gestión, procesamiento o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales, tales como bases de datos relacionales y estadísticas convencionales o paquetes de visualización, dentro del tiempo necesario para que sean útiles.

**-Inteligencia artificial:** Es la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas que presenten las mismas capacidades que el ser humano. Se adapta a través de algoritmos de aprendizaje progresivo para permitir que los datos realicen la programación.

**-Ciudades inteligentes:** Es aquella ciudad que se caracteriza por el uso intensivo de las tic en la creación y mejoramiento de los sistemas que componen la ciudad.

**-Urbanismo inteligente:** Con el Urbanismo Inteligente, cada lugar es diseñado pensando en elevar la calidad de vida. Aquí, la arquitectura moderna y los espacios naturales cohabitan sin afectar la flora nativa del lugar. Se aprovechan los beneficios de la naturaleza y se optimizan los recursos naturales.

**-Interactividad:** Es un proceso de comunicación entre humanos y objetos tecnológicos el cuál es un concepto bastante utilizado en las ciencias de comunicación para desarrollar la capacidad de respuestas ante estímulos generando una vinculación de diálogo entre la arquitectura y el usuario.

**-Metaverso arquitectónico:** El metaverso arquitectónico se propone como un entorno virtual inmersivo, colectivo e hiperrealista, que promete revolucionar la vida digital de las personas, dónde se planea involucrar el desarrollo del espacio público y la integración de industria y comercio que beneficien a los usuarios del metaverso.

Se entienden los conceptos como un recurso educativo e informativo acerca del uso de todas estas herramientas en el desarrollo del proyecto

## **4.2 Marco legal**

### **Normativa uso de IA, metaverso y big data:**

Ya que no existe actualmente una legislación específica relacionada con el metaverso, inteligencias artificiales y el big data puesto que es perteneciente a entidades privadas donde operan ciudadanos de diferentes partes del mundo se deben utilizar las legislaciones de tratamiento de datos que brinde el país donde se pretenda el desarrollo de estos recursos. Actualmente la comisión europea está desarrollando dos propuestas legislativas acerca de servicios digitales y la reglamentación de mercados digitales como un marco internacional.

Uno de los aspectos más relevantes para el tratamiento de datos en este tipo de recursos es el RGPD un proceso correcto de Data privacy donde se regula y se legislan los metadatos en un solo lugar en el cual se dividen bajo un marco conceptual como:

-Datos estructurales: sirven para que pueda funcionar el metaverso.

-Datos estructurales funcionales: datos sin los cuales el metaverso entra en parada técnica

-Datos estructurales conformales: se usan para el funcionamiento bajo el punto de vista de la capa de personalización.

-Datos dinámicos: son los datos que bajo el formato de datos ciegos se usan para los datos estructurales funcionales.

-Datos omniversales: son los datos captados a lo largo de todo el metaverso pero que usan terceras empresas o entidades gubernamentales dentro del metaverso.

Para el uso de big data y metaverso en Colombia se debe tener en cuenta la ley de protección de datos personales 1582 de 2012 la cual reconoce y protege el derecho que tienen todas las personas a conocer, actualizar y rectificar las informaciones que se hayan recogido sobre ellas en bases de datos o archivos que sean susceptibles de tratamiento por entidades de naturaleza pública o privada.

### **Normativa urbana:**

Actualmente se disponen de varios documentos legislativos relacionados con el contexto urbano, primero tendríamos en cuenta el decreto 555 de 2021 en el cual se establece el nuevo plan de ordenamiento territorial. También contamos con el decreto 551 de 2019 donde regula el uso del mobiliario urbano en el espacio público; el decreto 552 de 2018 donde se establece el marco regulatorio del aprovechamiento económico del espacio público en la ciudad de Bogotá y por último el decreto 308 de 2018 donde establece y se dictan disposiciones del uso de andenes en la ciudad de Bogotá.

### **Manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial DECRETO 1504 DE 1998**

teniendo en cuenta los artículos 1, 2, 3 y 4 del capítulo I del presente decreto, el deber del estado es velar por la protección del espacio público y por su destinación al uso común, y se constituye por inmuebles públicos y elementos naturales, arquitectónicos, y áreas requeridas para la conformación de este sistema.

El artículo 5 del presente decreto menciona los elementos constitutivos naturales, artificiales; elementos complementarios como el mobiliario y señalización.

Cabe resaltar que los elementos constitutivos del espacio público, se clasifican según su área de influencia, manejo administrativo, cobertura espacial y población.

- a. Elementos del nivel estructural o de influencia general, nacional, departamental, metropolitano, municipal, o distrital de ciudad
- b. Elementos del nivel municipal o distrital, local, zonal y barrial al interior del municipio o distrito.

### **Ley 388 de 1997**

Art 3: Función pública del urbanismo. El ordenamiento del territorio constituye en su conjunto una función pública, para el cumplimiento de los siguientes fines:

1. Posibilitar a los habitantes el acceso a las vías públicas, infraestructuras de transporte y demás espacios públicos, y su destinación al uso común, y hacer efectivos los derechos constitucionales de la vivienda y los servicios públicos domiciliarios.
2. Atender los procesos de cambio en el uso del suelo y adecuarlo en aras del interés común, procurando su utilización racional en armonía con la función social de la propiedad a la cual le es inherente una función ecológica, buscando el desarrollo sostenible.
3. Propender por el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la distribución equitativa de las oportunidades y los beneficios del desarrollo y la preservación del patrimonio cultural y natural.
4. Mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales.

**Ley 1682 de 2013:** Por la cual se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte y se conceden facultades extraordinarias.

Art 2: La infraestructura del transporte es un sistema de movilidad integrado por un conjunto de bienes tangibles, intangibles y aquellos que se encuentren relacionados con este, el cual está bajo la vigilancia y control del Estado, y se organiza de manera estable para permitir el traslado de las personas, los bienes y los servicios, el acceso y la integración de las diferentes zonas del país y que propende por el crecimiento, competitividad y mejora de la calidad de la vida de los ciudadanos.

Art 3: Características de la infraestructura del transporte. La infraestructura de transporte como sistema se caracteriza por ser inteligente, eficiente, multimodal, segura, de acceso a todas las

personas y carga, ambientalmente sostenible, adaptada al cambio climático y vulnerabilidad, con acciones de mitigación y está destinada a facilitar y hacer posible el transporte en todos sus modos.

Art 4: Integración de la infraestructura de transporte. La infraestructura de transporte está integrada, entre otros por:

1. La red vial de transporte terrestre automotor con sus zonas de exclusión o fajas de retiro obligatorio, instalaciones operativas como estaciones de pesaje, centros de control de operaciones, estaciones de peaje, áreas de servicio y atención, facilidades y su señalización, entre otras.

2. Los puentes construidos sobre los accesos viales en Zonas de Frontera.

3. Los viaductos, túneles, puentes y accesos de las vías terrestres y a terminales portuarios y aeroportuarios.

4. Los ríos, mares, canales de aguas navegables y los demás bienes de uso público asociados a estos, así como los elementos de señalización como faros, boyas y otros elementos para la facilitación y seguridad del transporte marítimo y fluvial y sistemas de apoyo y control de tráfico, sin perjuicio de su connotación como elementos de la soberanía y seguridad del Estado.

5. Los puertos marítimos y fluviales y sus vías y canales de acceso. La infraestructura portuaria, marítima y fluvial comprende las radas, fondeaderos, canales de acceso, zonas de maniobra, zonas de protección ambiental y/o explotación comercial, los muelles, espigones diques direccionales, diques de contracción y otras obras que permitan el mantenimiento de un canal de navegación, estructuras de protección de orillas y las tierras en las que se encuentran construidas dichas obras.

6. Las líneas férreas y la infraestructura para el control del tránsito, las estaciones férreas, la señalización y sus zonas de exclusión o fajas de retiro obligatorio.

7. La infraestructura logística especializada contempla los nodos de abastecimiento mayorista, centros de transporte terrestre, áreas logísticas de distribución, centros de carga aérea, zonas de actividades logísticas portuarias, puertos secos y zonas logísticas multimodales.

8. La infraestructura aeronáutica y aeroportuaria destinada a facilitar y hacer posible la navegación aérea.

9. Los Sistemas de Transporte por Cable: teleférico, cable aéreo, cable remolcador y funicular, contruidos en el espacio público y/o con destinación al transporte de carga o pasajeros.

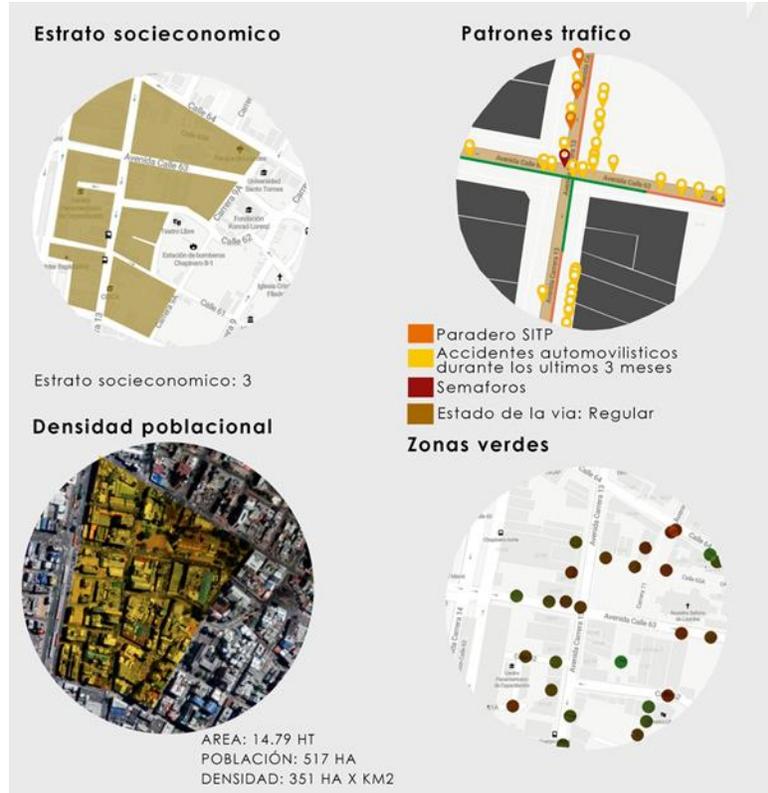
10. La infraestructura urbana que soporta sistemas de transporte público, sistemas integrados de transporte masivo, sistemas estratégicos de transporte público y sistemas integrados de transporte público; el espacio público que lo conforman andenes, separadores, zonas verdes, áreas de control ambiental, áreas de parqueo ocasional, así como ciclorrutas, paraderos, terminales, estaciones y plataformas tecnológicas.

11. Redes de sistemas inteligentes de transporte.

## 5. DIAGNÓSTICO URBANO

Figura 3

### Resultados

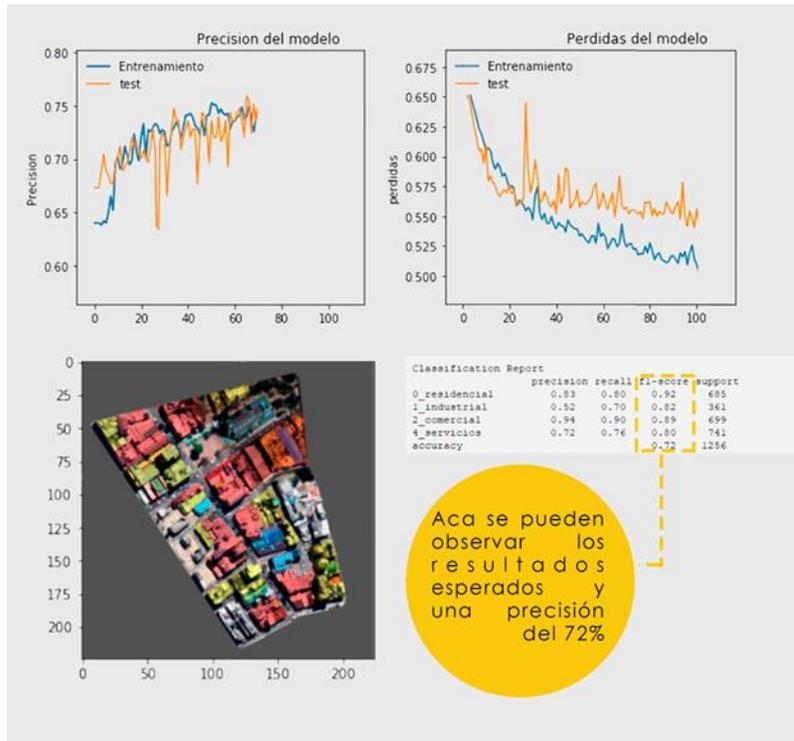


**Nota.** Los análisis se realizan por medio de los códigos generados previamente los cuales arrojaron los siguientes resultados:

El estrato socioeconómico de la zona es un ponderado de 3, con una gran cantidad de accidentes automovilísticos concentrados en la zona determinada entre el eje de la calle 13 y la calle 63, además cuenta con el estado de vías regulares, una baja densidad poblacional y muy poca cantidad de zonas verdes.

**Figura 4**

*Precisiones*

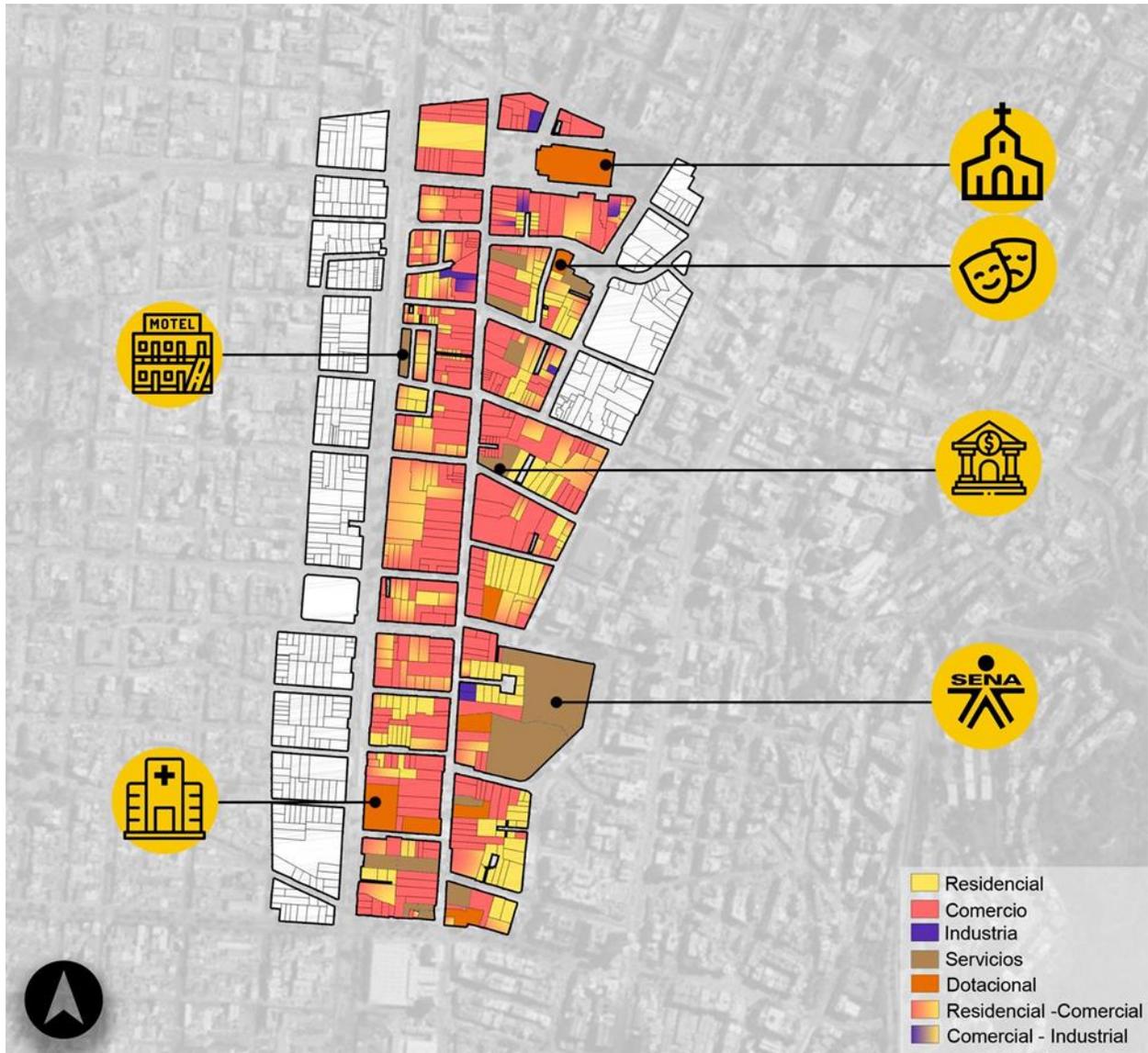


**Nota.** En los resultados del modelo predictivo (imagen 2) se pueden observar el cambio de los usos y el valor de precisión que tiene este, el cual equivale al 72% y 28% de error.

Teniendo en cuenta esto se realiza el diagnóstico de la zona dividido en usos del suelo, alturas y zonas verdes.

**Figura 5**

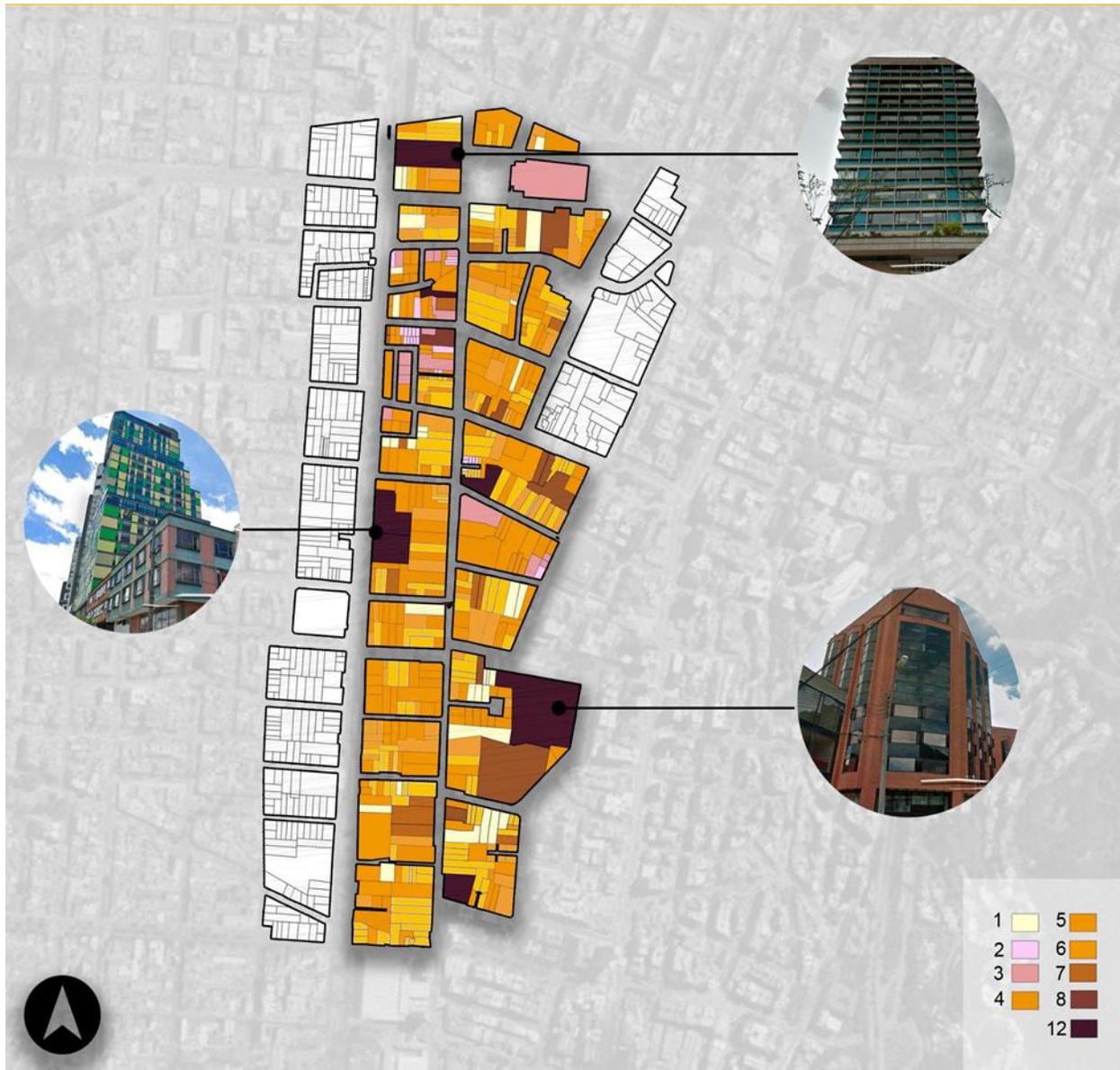
*Diagnóstico de usos del suelo*



**Nota.** En el diagnóstico de usos de suelo se encuentra que está dividido poco acorde a la normativa y posee mucho comercio. Además de diferentes equipamientos educativos y dotacionales cercanos.

**Figura 6**

*Diagnóstico alturas*



*Nota.* En alturas, se divide entre 12 y 4 pisos, pero según la normativa se deberían tener entre menos de 4 pisos o más de 4 pisos dependiendo del lote, en este caso se encuentran 6 edificios BIC de 12 pisos.

## Figura 7

### Diagnostico zonas verdes



**Nota.** Posee muy pocas zonas verdes, plazoletas, plazas y diferentes tipos de árboles en su estructura, en este caso su espacio público efectivo se encuentra en 5.5 M2 x habitante.

## Figura 8

### *Diagnostico densidad poblacional*



*Nota.* Su diagnóstico arrojó que su densidad poblacional es de 351 habitantes por km<sup>2</sup> con un total de 526 habitantes. El gráfico posee tres colores en los cuales se representa de la siguiente manera:

-Amarillo: Densidad optima

-Morado: Densidad baja

-Rojo: Densidad alta

## **6. INCORPORACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN A LA CREACIÓN**

Por medio del desarrollo de un diagnóstico base este se utiliza como la data principal para generar los modelos predictivos. Generando estas predicciones se encuentra que por medio de estas el tiempo de incertidumbre en cuanto a la solución de una intervención urbana se reduce y se obtiene un margen de asertividad para su comparación y desarrollo óptimo de intervención. Esta metodología se puede incorporar tanto arquitectónicamente como urbanísticamente puesto que su implementación es definida por los datos ingresados permitiendo así brindar opciones de solución a estos proyectos. Para que esta metodología haga parte del proceso de diagnóstico se debe ingresar la información obtenida en el proceso de recopilación dentro de un código de programación que permita generar mapas con información de cada una de las estructuras a analizar. Gracias a este ejercicio de diagnóstico se da respuesta a la pregunta problema por medio de la asertividad y precisión de los resultados.

### **6.1 El proceso de indagación**

Para encontrar la información de este tema se investigó a profundidad de qué manera se podía implementar la inteligencia artificial al urbanismo, se encontró que por medio del aprendizaje profundo se logran unos buenos resultados de asertividad y precisión en las predicciones. Actualmente hay muy pocos proyectos que abarcan esta temática, pero uno de los más reconocidos es del arquitecto español Alejandro Cantera especialista en mapas y territorio, el cual se llama “Deep Learning aplicado al urbanismo o cómo analizar mejor las ciudades” y este es “un proyecto que define un modelo predictivo de clasificación de densidades urbanas a partir del análisis de ortofotografías de cualquier ciudad del mundo. Por medio de la construcción de un modelo de aprendizaje supervisado de Deep Learning, entrenado con ortofotografías etiquetadas de la ciudad de Madrid, se consigue una herramienta que es capaz de predecir la densidad urbana a partir del procesado de fotografías aéreas de una ciudad” (Cantera,2019) Teniendo en cuenta este proyecto se encuentra que hay varias inteligencias artificiales que se encargan de realizar estos procesos como lo son kepler.gl, las redes convolucionales (CNN) en python, y el big data en arcgis. Por lo tanto para resolver la pregunta problema se desarrolló un piloto por medio de esta metodología el cual arrojó tres resultados diferentes y cuatro modelos predictivos. Entrando en materia de cada uno de los modelos se inició con el de su estructura verde en el cual se observó que su espacio público efectivo se encuentra en 5,4 m2 puesto que posee muy pocos parques y zonas de

esparcimiento, además que su espacio público está siendo ocupado por comercios flotantes y su ciclorruta está deteriorada. En las alturas se logra identificar que hay 6 edificios que poseen una altura de 12 pisos lo cual es bastante alto con respecto al resto de edificaciones a su alrededor, esto es debido a que algunas son consideradas BIC y otras son edificaciones dotacionales o educativas, por otro lado, se encontró que en algunos lotes las alturas no correspondían a lo que la norma proponía. Junto a este diagnóstico de alturas se realizó uno de usos en donde se logró observar que la mayoría de predios está entre el comercio e industria, la vivienda está presente, pero en un muy poco porcentaje al igual que en servicios y dotacional, esto no precede del todo lo que dicta la norma en cuanto a la distribución de usos en algunos de los lotes, pues hay manzanas que tienen esto bastante desequilibrado. Para finalizar en el diagnóstico poblacional se encuentra que tiene una población de 526 habitantes, lo que corresponde a una densidad de 351 habitantes por km<sup>2</sup>, en este caso para la cantidad de área abarcada la población es muy baja.

## **6.2 Los análisis y los resultados a la pregunta de investigación**

Los resultados arrojados del primer diagnóstico base proyectaron los siguientes resultados por modelo predictivo:

### **Diagnóstico actual**

**-Estructura verde:** 5.5 M<sup>2</sup> x habitante ep

**-Alturas:** 3 - 4 pisos, 6 edificios BIC de 12 pisos

### **-Usos:**

\*Residencial: 0.81%

\*Comercial:0.90%

\*Industrial: 0.85%

\*Servicios:0.46%

\*Dotacional: 0.32%

**-Densidad poblacional:** 351 habitantes x km<sup>2</sup>.

### **Diagnóstico Modelo 1.**

**-Estructura verde:** 7.4 M2 x habitante ep

**-Alturas:** 4 - 6 pisos, 6 edificios BIC de 12 pisos

**-Usos:**

\*Residencial: 0.92%

\*Comercial:0.89%

\*Industrial: 0.82%

\*Servicios:0.80%

\*Dotacional: 0.52%

**-Densidad poblacional:** 531 habitantes x km2.

### **Diagnóstico Modelo 2.**

**-Estructura verde:** 9.2 M2 x habitante ep

**-Alturas:** 7 - 10 pisos, 6 edificios BIC de 12 pisos

**-Usos:**

\*Residencial: 0.92%

\*Comercial:0.95%

\*Industrial: 0.61%

\*Servicios:0.80%

\*Dotacional: 0.64%

**-Densidad poblacional:** 784 habitantes x km2.

### **Diagnóstico Modelo 3.**

**-Estructura verde:** 11.8 M2 x habitante ep

**-Alturas:** 8 - 12 pisos, 6 edificios BIC de 12 pisos

**-Usos:**

\*Residencial: 0.92%

\*Comercial:0.95%

\*Industrial: 0.52%

\*Servicios:0.70%

\*Dotacional: 0.74%

**-Densidad poblacional:** 1227 habitantes x km<sup>2</sup>

Teniendo en cuenta los resultados anteriores y los resultados de predicción de cada uno de los modelos, se logra responder la pregunta de investigación de manera que gracias a este primer ejercicio piloto se reduce el tiempo de incertidumbre y se optimizan los procesos de diagnóstico puesto que se necesita una cantidad de datos que debe ser ingresada en uno códigos de programación y estos automáticamente generan los resultados de los modelos en poco tiempo permitiendo tener un gran panoramas de lo que se puede realizar o no en la zona que se pretenda intervenir.

### **6.3 La incorporación de los resultados en el proyecto arquitectónico**

**Modelo 1 precisión:**

accuracy 0.72

**Modelo 2 precisión:**

accuracy 0.94

**Modelo 3 precisión:**

accuracy 0.97

**Figura 9**

*Tabulación de datos de ingreso*

LAT	LONG	PRECSARRIO	PRENBARRIO	PRECMANZ	PRECPREDIO	PRECCONS	PRECRESTO	PRECHIP	PREDECICATA	PRENUPRE	PRETRPROP	PREFINCORP	PRECLASE	PREDIRECC	PREMIDIRECC	PRETOIRECC	PREDISI	PREATERRE	PREACONST	PRECHZF	PRECESTIN	PREVETUSTZ	PREVFORMA	PREVACTUAL
4.645352	-74.061399	8213	CHAPINERO CENTRAL	11	23	1	1006	AAAD187AZV	8.21E+15	1.10E+29	6	9/02/2006	P	KR 14 56 20 I D				7,54E+11			22	2005	1994	2023
4.6477536	-74.063859	8213	CHAPINERO CENTRAL	19	6	1	2037	AAAD091JWV	58815 9 9 151	1.10E+29	6	31/07/1997	P	CL 59 9 57 L C D				2,92E+11			22	1984	1994	2023
4.6480311	-74.1	8213	CHAPINERO CENTRAL	19	6	1	3099	AAAD091KHL	58815 9 9 38	1.10E+29	6	31/07/1997	P	CL 58 8 5 9 D				2,46E+11			22	1984	1994	2023
4.64963	-74.06258	8213	CHAPINERO CENTRAL	19	6	1	3082	AAAD091KHM	58815 9 9 36	1.10E+29	6	31/07/1997	P	CL 58 8 5 9 D				3,07E+11			22	1984	1994	2023
4.64895	-74.06295	8213	CHAPINERO CENTRAL	7	4	1	2105	AAAD091LNC	60 13 4 200	1.10E+29	6	3/04/1995	P	KR 13 60 29 I D				2,60E+11			22	1983	1994	2023
4.64823	-74.06307	8213	CHAPINERO CENTRAL	3	16	1	1038	AAAD091LMI	61 13 39 38	1.10E+29	6	31/12/1993	P	CL 62 13 21 I D				6,79E+11			22	1993	1994	2023
4.64797	-74.06263	8213	CHAPINERO CENTRAL	11	23	1	1004	AAAD187AYH	8.21E+15	1.10E+29	6	9/02/2006	P	KR 14 56 20 I D				7,66E+11			22	2005	1994	2023
4.64712	-74.06319	8213	CHAPINERO CENTRAL	3	12	1	1026	AAAD091LQHP	61 13 2 48	1.10E+29	6	31/12/1993	P	KR 13 61 47 I D				5,09E+11			22	1993	1994	2023
4.64693	-74.06253	8213	CHAPINERO CENTRAL	35	23	1	1009	AAAD091LRF1	56 7 24 30	1.10E+29	6	31/12/1993	P	KR 8 56 38 G D				2,99E+11			1	1993	1994	2023

PRECUSO	PREALUSO	PREUSOPH	PREUSONPH	PREUVIVIEN	PREUCALIF	PREFCALIF	PREEARMAZ	PREEMUROS	PREECUBIER	PREECONS	PRECINDUS	PREACERCHA	PRECLCONS	BARMANPRE	PREPUNTAJE	ALTURAS	
95	S	N	N	N	A			114	125	134	143	515	0	C		67	24
95	S	N	N	N	A			114	125	134	142	515	0	C		61	21
95	S	N	N	N	A			114	125	134	142	515	0	C		61	24
95	S	N	N	N	A			114	125	134	142	515	0	C		61	21
95	S	N	N	N	A			114	125	134	143			C		65	24
95	S	N	N	N	A			114	125	134	143			C		67	27
95	S	N	N	N	A			114	125	134	143	515	0	C		65	27
95	S	N	N	N	A			114	125	134	143	515	0	C		67	36
49	S	N	N	N	A			115	135	142				R		29	24

**Nota.** Tabulación datos recopilados por el big data para la realización de los modelos en 3d.

**6.4 Resultados códigos de programación**

**Figura 10**

*Estructura verde*

```

IDLE Shell 3.10.11
Python 3.10.11 (tags/v3.10.11:70c088e, Apr 6 2023, 00:38:17) [MSC v.1929 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help()", "copyright()", "credits()" or "license()" for more information.
>>>
===== RESTART: D:\NO BORRAR\Downloads\espacios verdes.py =====
[{"name": "Green Zone La Paz", "address": "Cra. 296 Bis, Bogotá, Colombia", "rating": 3.8, "types": ["park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.663018999999999, "longitude": -74.07573099999999},
{"name": "Bogotá Coorcing North Point", "address": "Cra. 7 #154 - 10 oficina 1707, Usaquén, Bogotá, Cundinamarca, Colombia", "rating": 4.3, "types": ["point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.7314717, "longitude": -74.0236733},
{"name": "Hotel Factory Green Bogotá", "address": "Área Metropolitana de Bogotá, Autopista Medellín, Km 3.5 Vía Siberia Costado Sur Siberia-Cota, Bogotá, Cundinamarca, Colombia", "rating": 4.5, "types": ["lodging", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.7473604, "longitude": -74.1442022},
{"name": "Chico Park", "address": "Bogotá, Bogotá, Colombia", "rating": 4.4, "types": ["park", "tourist_attraction", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6333358, "longitude": -74.0516378},
{"name": "Infantil granada Park", "address": "Cra. 3b #55, Localidad de Chapinero, Bogotá, Colombia", "rating": 4.4, "types": ["park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6468095, "longitude": -74.0566854},
{"name": "Parque de la 93", "address": "Cra. 93A #11A-11, Bogotá, Colombia", "rating": 4.6, "types": ["park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6767219, "longitude": -74.04827879999999},
{"name": "Villa Luz Park", "address": "a, Cl. 61F Bis #77c 10-60, Bogotá, Colombia", "rating": 4.5, "types": ["park", "tourist_attraction", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6621495, "longitude": -74.1061133},
{"name": "Woodlands Foundation", "address": "Cra. 12 #96-81, Bogotá, Colombia", "rating": 4.9, "types": ["point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.609943, "longitude": -74.0467165},
{"name": "Starbucks Zona G", "address": "Cl. 69a #05 - 09, Bogotá, Colombia", "rating": 4.5, "types": ["bakery", "cafe", "store", "food", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6315406, "longitude": -74.0553944},
{"name": "Veccinal El Nopal Public Park", "address": "Cra. 11 #80-81, Localidad de Chapinero, Bogotá, Colombia", "rating": 4.6, "types": ["park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.664289399999999, "longitude": -74.0833176},
{"name": "Parque Metropolitano Bosque San Carlos", "address": "Cra. 13 #22 Sur-31, Rafael Uribe Uribe, Bogotá, Colombia", "rating": 4.6, "types": ["tourist_attraction", "park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.5723609, "longitude": -74.1049467},
{"name": "Villa Aleucia Park", "address": "Kennedy, Bogotá, Bogotá, Colombia", "rating": 4.5, "types": ["park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6443727, "longitude": -74.13582399999999},
{"name": "Los Finos Park", "address": "Cl. 84 #2225, Bogotá, Colombia", "rating": 4.9, "types": ["park", "tourist_attraction", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6741465, "longitude": -74.0602289},
{"name": "Green Latino - Marketing Digital", "address": "Cra. 7 #75 - 10, Bogotá, Colombia", "rating": 5, "types": ["point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6379595, "longitude": -74.05132000000001},
{"name": "Parque de los Novios", "address": "Av José Celestino Mutis #41-10, Bogotá, Colombia", "rating": 4.6, "types": ["park", "tourist_attraction", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6547573, "longitude": -74.08122019999999},
{"name": "Autopista Norte Public Park", "address": "a 17-87, Cl. 144 #17-11, Bogotá, Colombia", "rating": 4.5, "types": ["park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.728173699999999, "longitude": -74.0436797},
{"name": "Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis", "address": "Av José Celestino Mutis #68-95, Bogotá, Colombia", "rating": 4.7, "types": ["tourist_attraction", "park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6684395, "longitude": -74.09735599999999},
{"name": "El Girasol Public Park", "address": "Cra. 41b #2d1, Bogotá, Colombia", "rating": 4.2, "types": ["park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.6135043, "longitude": -74.1146644},
{"name": "Parque Metropolitano Tecer Milenio", "address": "Cra. 10 #9-30, Bogotá, Colombia", "rating": 4.1, "types": ["park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.5975655, "longitude": -74.0815023},
{"name": "Norte Park", "address": "Bogotá, Bogotá, Colombia", "rating": 3.3, "types": ["park", "point_of_interest", "establishment"], "latitude": 4.7596693, "longitude": -74.0472494}
]
    
```

**Nota:** Ejecución de código de estructura verde.

# Figura 11

## Alturas

```
alturas.py - D:\NO BORRAR\Downloads\alturas.py (3.10.11)
File Edit Format Run Options Window Help
# Importa las bibliotecas necesarias
import pandas as pd
import geopandas as gpd
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.metrics import mean_squared_error
import matplotlib.pyplot as plt

# Divide los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)

# Entrenamiento del modelo de regresión
model = LinearRegression()
model.fit(X_train, y_train)

# Predicciones
y_pred = model.predict(X_test)

# Evaluación del modelo
mse = mean_squared_error(y_test, y_pred)
print(f"Error cuadrático medio: {mse}")

# Visualización de los resultados
plt.scatter(X_test, y_test, label='Datos reales')
plt.plot(X_test, y_pred, color='red', linewidth=2, label='Predicciones')
plt.xlabel('Características relevantes')
plt.ylabel('Altura ideal del edificio')
plt.legend()
plt.show()

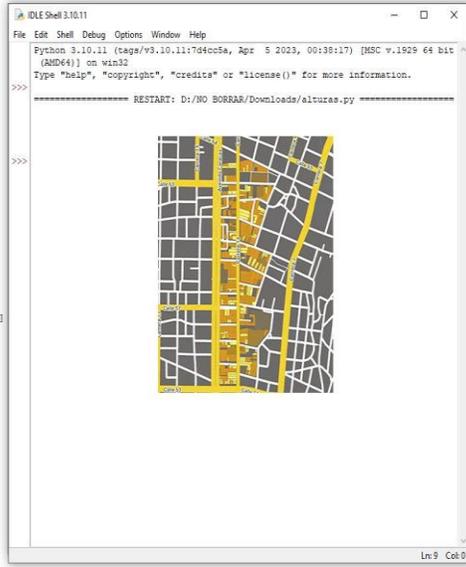
# Utiliza el modelo entrenado para hacer predicciones para ubicaciones específicas.

import numpy as np
from keras.preprocessing import image
from IPython.display import Image

buildup_names = ["0_Residencial", "1_Industrial", "2_Comercio", "3_Servicios", "Donacional"]
base_dir = "E:\NFM_NUESTRAS\Test_001\muestras_maestras"
to_test = [
    base_dir+"\Chapi-611920da1904_0.tif",
    base_dir+"\Chapi-611920cf1fda_0.tif",
    base_dir+"\Chapi-611920761a0c_0.tif",
    base_dir+"\Chapi-61192060707_2.tif",
    base_dir+"\Chapi-61192a103b3_1.tif",
    base_dir+"\Chapi-61192a103b3_1.tif",
    base_dir+"\Chapi-61192a103b3_1.tif",
    base_dir+"\Chapi-611920d01904_4.tif",
    base_dir+"\Chapi-61192e3b10c3_4.tif"
]
#to_test = ["D:\Atlas_Datos\test_data\trainingAll\tmpSample-60a5d3e41b89_4.tif"]
#to_test = ["D:\Atlas_Datos\test_data\trainingAll\tmpSample-60a5d3b51189_0.tif"]
for fn in to_test:

    # predicting images
    path = fn
    img = image.load_img(path, target_size=(image_size, image_size))
    x = image.img_to_array(img)
    x = np.expand_dims(x, axis=0)

    images = np.vstack([x])
    classes = model.predict(images, batch_size=10)
    print(fn)
```



**Nota.** Ejecución de código de alturas.

## Figura 12

### Usos



**Nota.** Ejecución de código de usos.

**Figura 13**

## Densidad

```
denidad poblacional.py - D:\NO BORRAR\Downloads\denidad poblacional.py (3.10.11)
File Edit Format Run Options Window Help

import googlemaps
from datetime import datetime

# Enter your Google Maps API key
gmaps = googlemaps.Client(key='AIzaSyAlNLNhm04gyyqZKwT0vlgLrtaZrncRw')

# Enter the name of the city
city = 'Bogota'

# Use the Google Maps Geocoding API to obtain the location coordinates of the city
geocode_result = gmaps.geocode(city)

# Extract the latitude and longitude of the city
location = geocode_result[0]['geometry']['location']
latitude = location['lat']
longitude = location['lng']

# Use the Google Maps Places API to search for the city and obtain information on the city's population density
places_result = gmaps.places('population density', location=(4.649581, -74.063278), radius=1000)

# Extract information on the city's population density
population_density = []
for place in places_result['results']:
    name = place['name']
    address = place['formatted_address']
    rating = place.get('rating', 'N/A')
    types = place['types']
    location = place['geometry']['location']
    population_density_data = {
        'name': name,
        'address': address,
        'rating': rating,
        'types': types,
        'latitude': location['lat'],
        'longitude': location['lng']
    }
    population_density.append(population_density_data)

# Display the data on the city's population density
for data in population_density:
    print(data)
```

```
"IDLE Shell 3.10.11"
File Edit Shell Debug Options Window Help

Python 3.10.11 (tags/v3.10.11:7d4c05a, Apr 5 2023, 00:38:17) [MSC v.1929 64 bit
(AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.

>>>
===== RESTART: D:\NO BORRAR\Downloads\denidad poblacional.py =====
351 habitantes x hectareas/ km2



Ln 5 Col 80
```

**Nota.** Ejecución de código de densidades poblacionales.

**Figura 14**

*Estructura verde predicción*



*Nota.* Comparación entre estado actual y modelos predictivos de la estructura verde.

**Figura 15**

*Usos predicción*



*Nota.* Comparación entre estado actual y modelos predictivos de los usos.

**Figura 16**

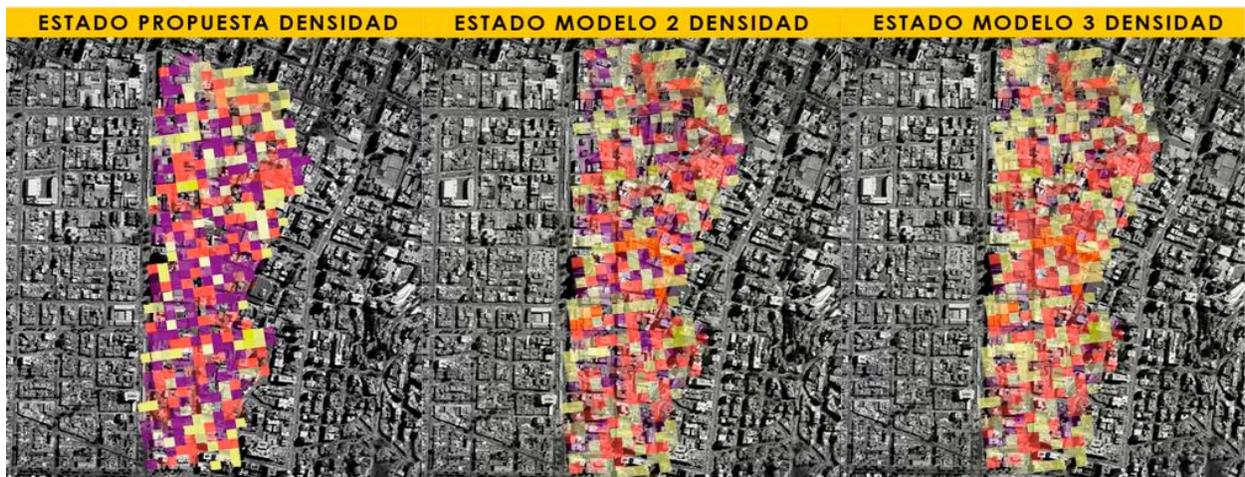
*Alturas predicción*



*Nota.* Comparación entre estado actual y modelos predictivos de las alturas.

**Figura 17**

*Densidad predicción*



*Nota.* Comparación entre estado actual y modelos predictivos de la densidad poblacional.

## 7. LOS PRINCIPIOS Y CRITERIOS DE COMPOSICIÓN

Los principios ordenadores que se utilizaron para cada uno de los modelos son referentes a las bibliotecas utilizadas en el respectivo código de programación como se muestra en los diagramas de flujo

Figura 18

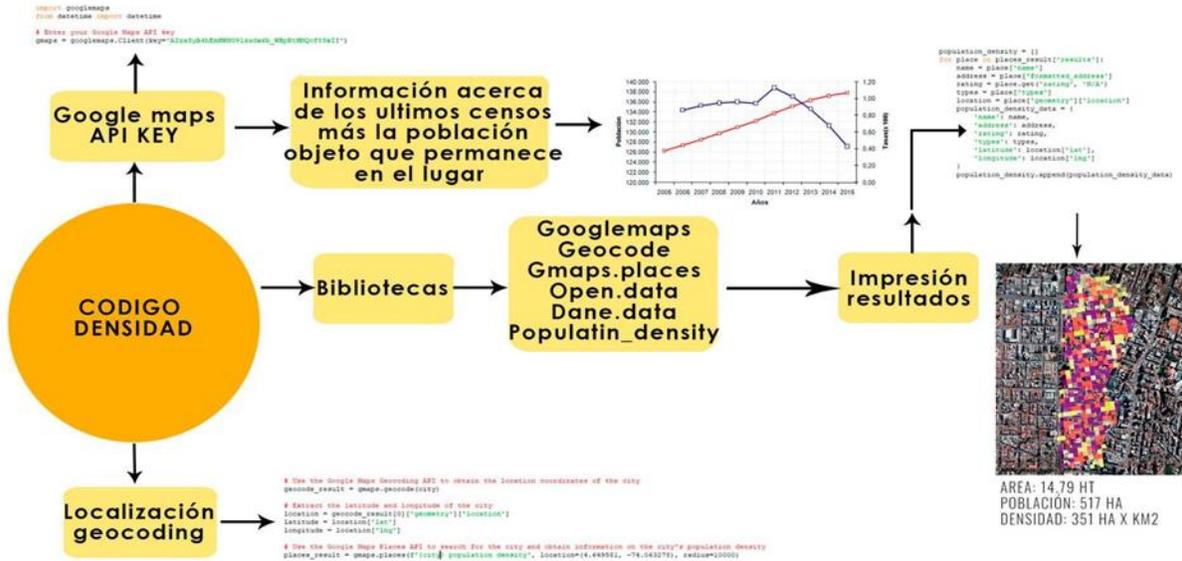
Diagrama de flujo estructura verde



Nota. Diagrama de flujo de procesamiento de código estructura verde

**Figura 19**

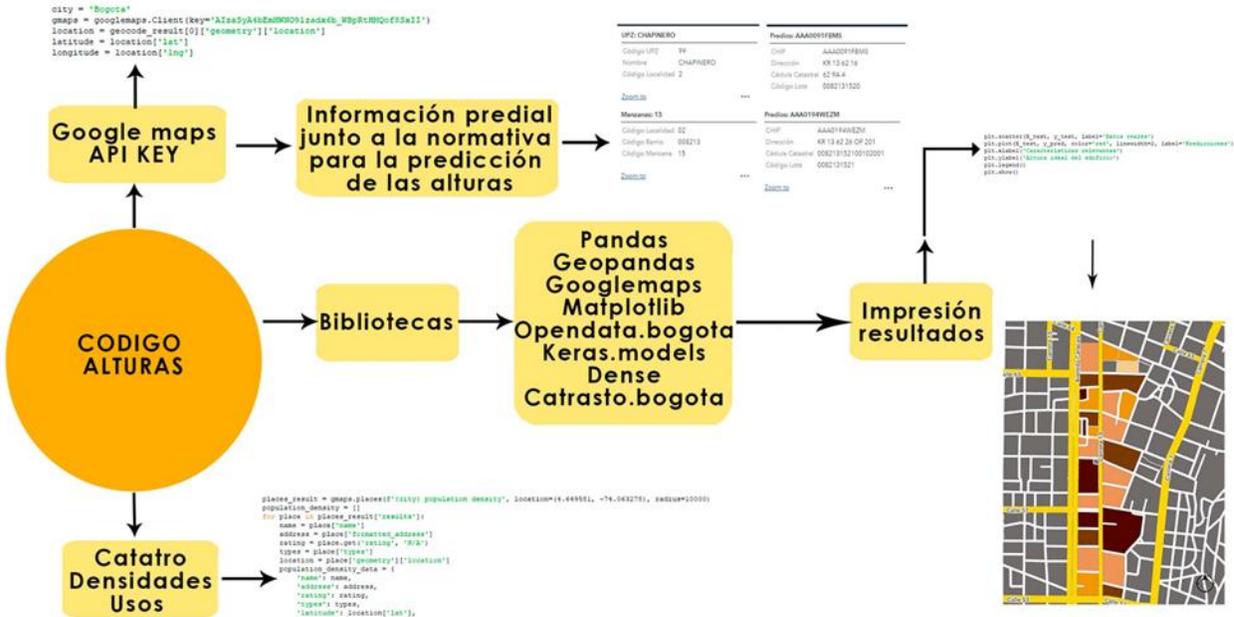
*Diagrama de flujo de densidad*



*Nota.* Diagrama de flujo de procesamiento de código poblacional.

**Figura 20**

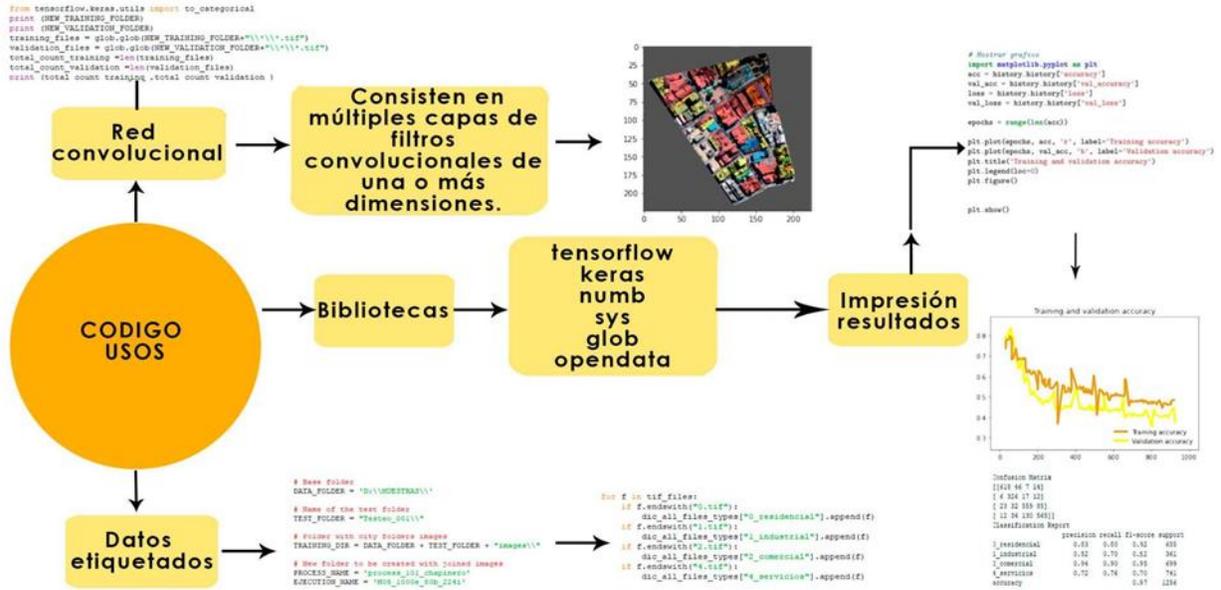
*Diagrama de flujo alturas*



*Nota.* Diagrama de flujo de procesamiento de código alturas.

Figura 21

Diagrama de flujo usos



Nota. Diagrama de flujo de procesamiento de código usos.

## **8. SELECCIÓN DEL ÁREA DE INTERVENCIÓN**

La importancia de incorporar inteligencia artificial y modelos predictivos en nuestras intervenciones urbanas, se parte de que a lo largo del siglo XXI se han realizado diferentes pruebas para potenciar el uso de modelos predictivos en el urbanismo puesto que vivimos en un mundo que está en constante cambio, donde las ciudades enfrentan desafíos complejos, desde el crecimiento poblacional hasta el cambio climático y las ciudades no están preparadas para esto; por lo tanto gracias a la inteligencia artificial se brinda la capacidad de analizar grandes cantidades de datos (a esto se le llama big data y aprendizaje profundo) en tiempo real, permitiendo optimizar y entender mejor las dinámicas urbanas puesto que mediante los modelos predictivos, se puede anticipar patrones de tráfico, necesidades de infraestructura, cambios en la demanda de servicios y crecimientos poblacionales, creando así tanto ciudades como lugares a una menor escala más eficientes, inteligentes y adaptativo. Para esto se propone una metodología que relacione diferentes tipos de inteligencia artificial y ésta permita el funcionamiento como herramienta para la obtención de información necesaria y precisa para la realización e implementación de un ejercicio de intervención urbana en un lugar de estudio.

En este caso se escogió como lugar el barrio “Chapinero Central” ubicado en la localidad de Chapinero con un área de 365.978 m<sup>2</sup> debido a todas las falencias y posibilidades de renovación, además por la cantidad de datos que posee esta área

## 8.1 Implantación

### Figura 22

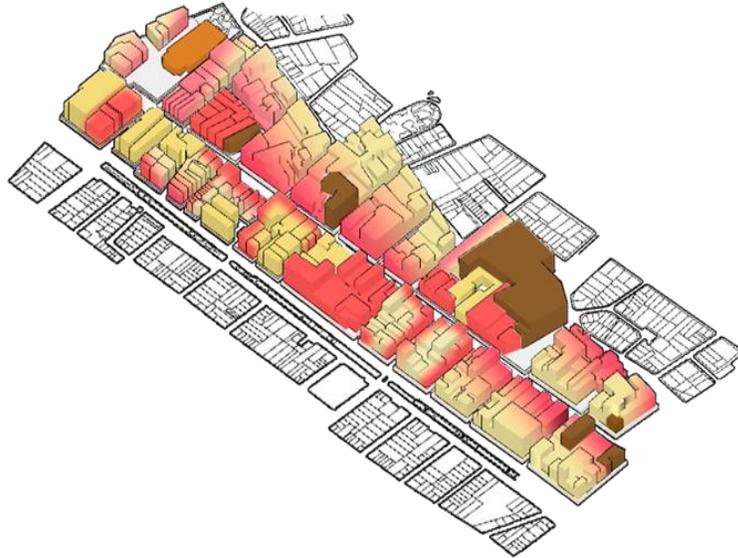
*Estructuras verdes actual*



*Nota.* Estructura verde y espacio público efectivo actual en chapinero central.

**Figura 23**

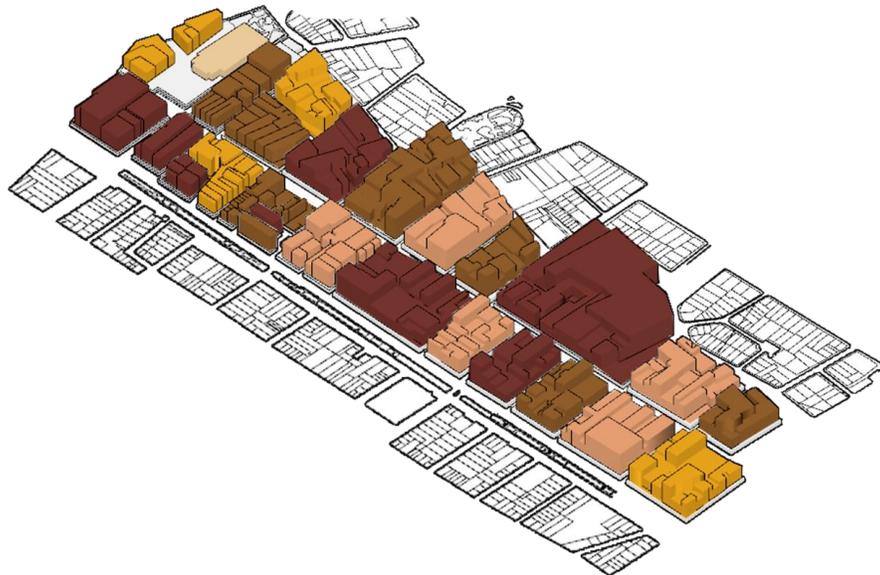
*Usos actuales*



*Nota.* Usos por manzana actuales en el sector de chapinero central

**Figura 24**

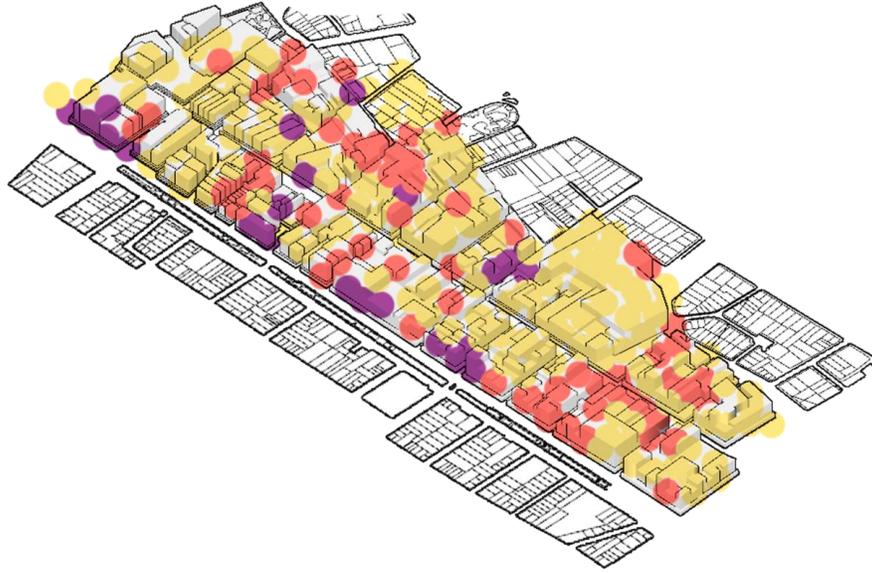
*Alturas actuales*



*Nota.* Alturas actuales del sector de chapinero central por manzana.

**Figura 25**

*Densidad Poblacional actual*



*Nota.* Densidad poblacional de chapinero central actualmente

## 9. PROYECTO DEFINITIVO

Este proyecto se desarrolla como una metodología, que cuenta con cuatro fases, la primera de las fases implica una recopilación de datos de fuentes oficiales como open data Bogotá, mapas Bogotá, catastro y el igac, aunque muchas de estas tienen datos actualizados entre 2019 - 2021 se logran buenos resultados con la recopilación de datos. Su segunda fase está liderada por el ingreso de los datos anteriormente recopilados en el código de programación para el desarrollo del diagnóstico actual. En su tercera fase con los datos del diagnóstico se debe entrenar las redes convolucionales que generan la predicción. Para su última fase con las redes convolucionales entrenadas se realiza un aprendizaje profundo y con estos datos su respectiva visualización en 3D.

Para comenzar la primera fase los datos de entrada son colocados en un código de programación el cual es entrenado por medio de machine learning el cual en primera instancia se encarga de generar el diagnóstico actual de cada uno de los modelos, que para este caso específico se estudiaron las estructuras verdes, densidad poblacional, alturas y usos. Posterior a este primer análisis se generan nuevos códigos predictivos entrenando nuevamente a una nueva red convolucional con los datos resultantes del diagnóstico y de esta manera generando un nivel de precisión con respecto a la aplicación de la simulación urbana.

Para esto se hace uso del lenguaje de programación en python en el cual se utilizan diferentes bibliotecas como los son mathlib para la generación y procesamiento de datos, numb encargado de realizar el big data, Tensor Flow que construye y entrena las redes neuronales, en este caso las redes convolucionales que se encargan de realizar la predicción, los API keys de google maps para la generación de planos y localización geográfica por medio de ortofotos, y por último tenemos Keras que se encarga de crear el aprendizaje profundo y de esta manera las redes convolucionales funcionen de manera correcta. También se hizo uso de GIS como lo es GVSIG para el etiquetado manual y Arcgis para la data geoespacial.

Seguido de esto, se hizo el diagnóstico de los usos en el cual se entrena la red convolucional para que desarrolle el diagnóstico por medio de múltiples capas de filtros generando un 3d que provee la impresión de resultados por manzana y cómo deben ser distribuidos.

Seguido de este se realiza el de los usos por cada uno de los modelos se generan diferentes porcentajes por manzana.

Para el de las alturas se hace uso de los datos de catastro como las densidades poblacionales, los usos actuales y los que son por normativa, encontrando que se encuentran actualmente entre 3-4 pisos a excepción de algunos edificios como el del sena, seguros bolívar y el pasaje comercial de la 53 los cuales poseen alturas de más de 12 pisos.

Los modelos de las alturas generan diferentes cantidades basándose en toda la información y superando la norma para crear un balance entre los usos y poblaciones de cada modelo:

primer modelo: 6-12 pisos

segundo modelo: 8-12 pisos

tercer modelo: 10-12 pisos

En el de densidad poblacional se utilizan los censos poblacionales brindados por el dane y open data Bogotá, donde se utiliza el área de lugar 365.000 m<sup>2</sup>, su población es de 517 arrojando una densidad de 351 habitantes x km<sup>2</sup>

Para finalizar el modelo poblacional arrojó dos cifras las cuales equivalen al total de habitantes y su respectiva densidad por km<sup>2</sup>.

primer modelo: densidad: 351 km<sup>2</sup> - Población: 517 hab

segundo modelo: densidad: 531 km<sup>2</sup> - Población: 784 hab

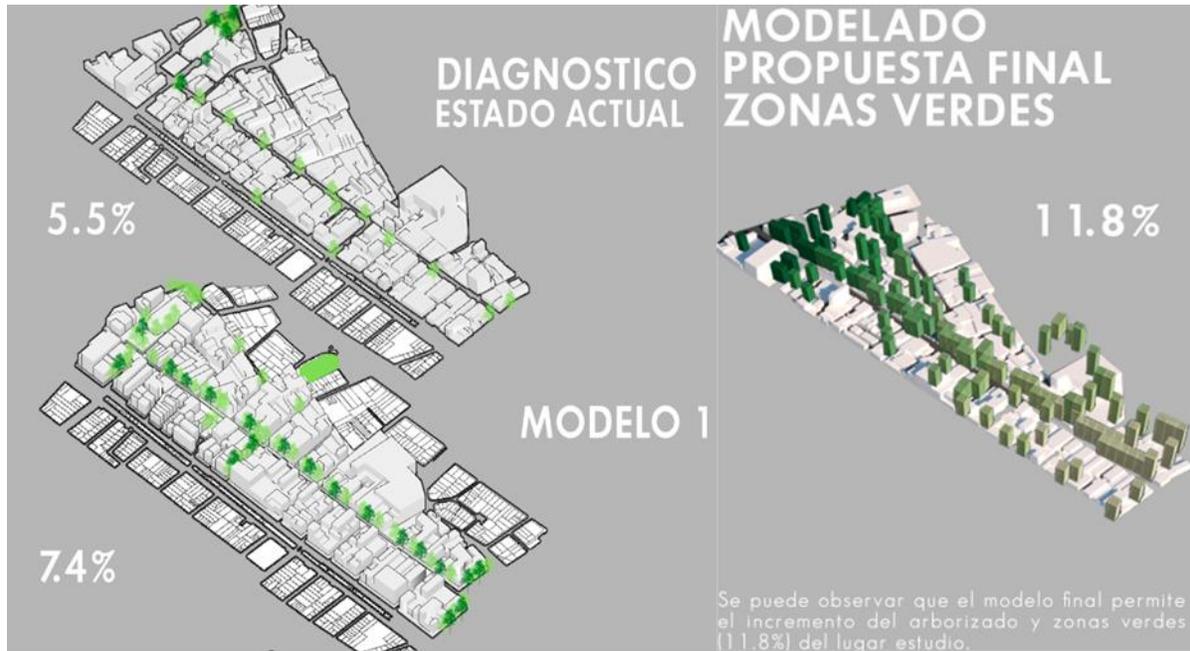
tercer modelo: densidad: 1227 km<sup>2</sup> - Población: 1812 hab

Para la comparación de los tres modelos se debe tener en cuenta los porcentajes de precisión correspondientes a la asertividad sobre un 100% de la veracidad que tiene cada uno de los diagnósticos sobre el factor error que genera el modelo. En este caso el del primer modelo es del 72% con un margen de error del 28%, el segundo 94% con un margen del 6% y el tercero del 97% con un margen del 3%.

## 10. RESULTADOS FINALES

Figura 26

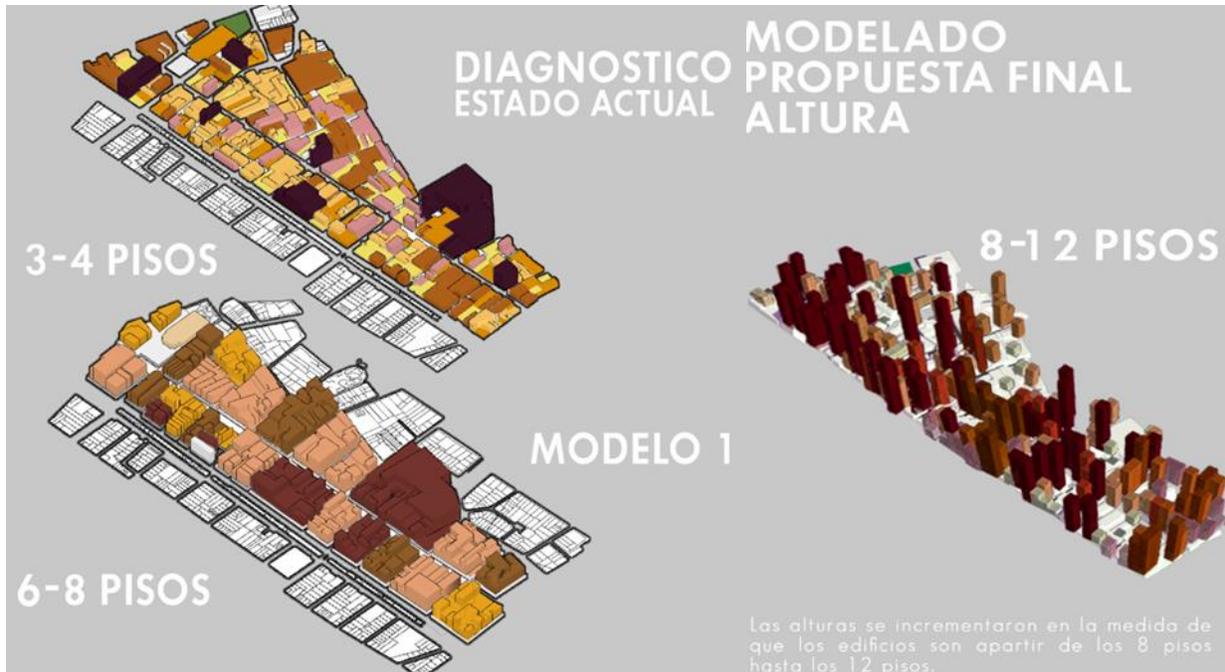
*Estructura verde final*



*Nota.* Resultados estructura verde en los tres modelos predictivos.

**Figura 27**

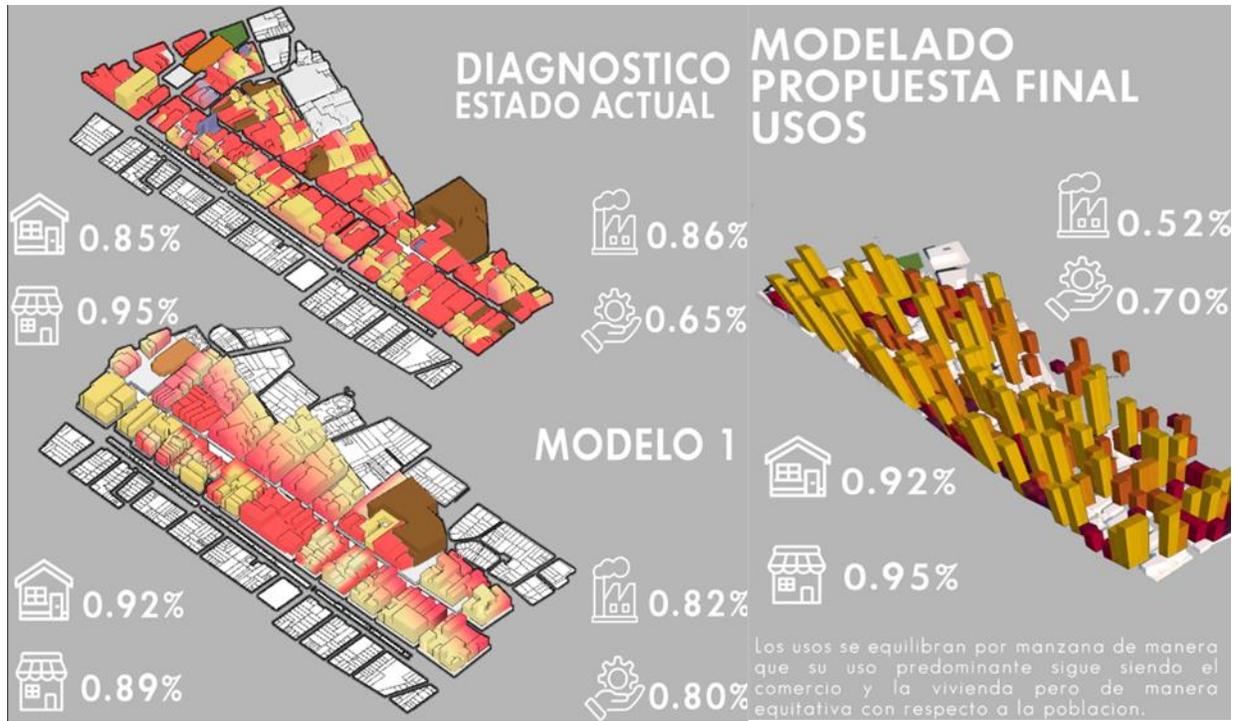
*Alturas final*



**Nota.** Resultados alturas por manzana en los tres modelos predictivos.

**Figura 28**

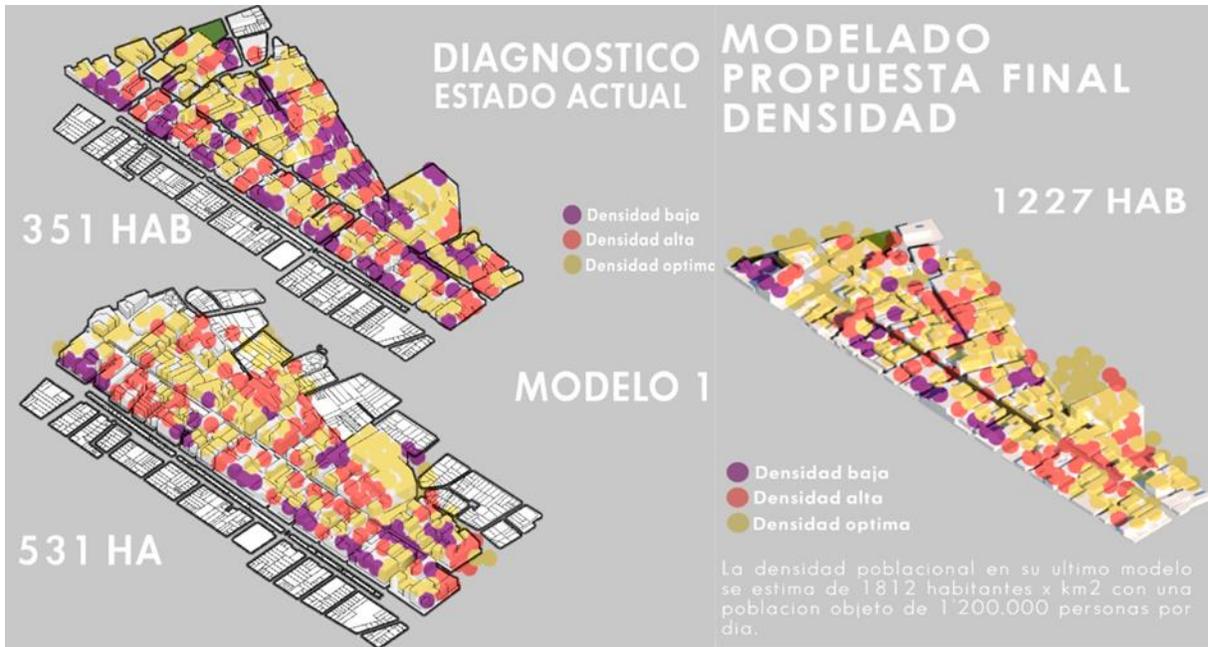
*Usos final*



**Nota.** Resultados usos en los tres modelos predictivos

**Figura 29**

*Densidades final*



**Nota.** Resultados de los tres modelos predictivos de la densidad poblacional.

## 11. CONCLUSIONES

-En primera instancia se debe aclarar que para el desarrollo de este proyecto hay algunos márgenes de error, puesto que la obtención de información es muy limitada tanto para datos cartográficos como para los datos catastrales desactualizados, entonces hay información que no tiene en cuenta el modelo predictivo como lo sería la memoria urbana y el impacto de la reconfiguración de manzanas en el lugar.

-Partiendo de la metodología utilizada esta produce una reducción del nivel de incertidumbre que se genera al realizar los análisis y una alta precisión de resultados siempre y cuando los datos ingresados sean de fuentes verificadas, estén actualizados y verídicos, además el modelo debe ser alimentado con la mayor cantidad de datos posibles puesto que esto variaría en su precisión. En base a esto esta metodología puede llegar a ser bastante útil para la agilización, la precisión de los procesos de diagnóstico y propuesta, y la reducción del nivel de incertidumbre en cuanto a los resultados

-Después de lo antes mencionado este modelo predictivo a pesar del margen error que puede presentar es una herramienta de gran ayuda que reduce tiempo y precisión en los procesos que suelen hacerse de manera manual, en este caso los resultados obtenidos pueden llegar a estimar lo que pasaría reconfigurando la mayoría de lo construido y generando una propuesta un poco costosa a nivel económico; Este proyecto puede dar luz a muchas más intervenciones de diferentes escalas en los cuales se puede utilizar como un verificador o herramienta complementaria de cada una de las estructuras en una ciudad, barrio o cierta cantidad de manzanas.

-Teniendo en cuenta que se realizó una redistribución de manzanas los porcentajes de uso x manzana cambiaron de manera que se equilibra la vivienda y el comercio dejando a un pequeño porcentaje a la industria y los usos dotaciones. Puesto que el sector es un lugar de flujos comerciales y residenciales estos dos son los principales que se usan con base a la normativa colombiana existente.

-En base a que los modelos predictivos operan bajo la normativa actual colombiana se agregan más datos de cada uno de los programas para que sus resultados sean en base a predicciones que tengan en cuenta la norma, pero de igual manera la norma no sea un parámetro estrictamente obligatorio a seguir, esto se puede evidenciar en el modelo de las alturas puesto que debido a la

normativa predicción de densidad y redistribución de usos la altura pasa de 6 pisos a 8 pisos y 12 pisos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allam, Z., Sharifi, A., Bibri, S. E., Jones, D. S., & Krogstie, J. (2022). The Metaverse as a Virtual Form of Smart Cities: Opportunities and Challenges for Environmental, Economic, and Social Sustainability in Urban Futures. *Smart Cities*, 5(3), 771–801. <https://doi.org/10.3390/smartcities5030040>
- Allwinkle, S., & Cruickshank, P. (2011). Creating smart-er cities: An overview. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 1–16.
- Álvarez, F., Cleary, F., Daras, P., Domingue, J., Galis, A., Garcia, A., Gavras, A., Karnourskos, S., Krco, S., Li, M.-S., Lotz, V., Müller, H., Salvadori, E., Sassen, A.-M., Schaffers, H., Stiller, B., Tselentis, G., Turkama, P., & Zahariadis, T. (Eds.). (2012). *The Future Internet* (Vol. 7281). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30241-1>
- Bernadó, J. and Transversal, P. (2020) *Deep learning Aplicado al Urbanismo o cómo analizar mejor las ciudades - paisaje transversal, Paisaje Transversal - Escuchar para Transformar la Ciudad*. Tomado de: <https://paisajetransversal.org/2019/02/modelo-predictivo-de-densidades-urbanas-a-partir-de-la-lectura-de-fotos-aereas-sistemas-informacion-geografica-gis-barcelona-bogota-urbanismo-analisis-deep-learning-densidad/> (Accessed: 02 December 2023).
- Bibri, S. E. (2020). Compact urbanism and the synergic potential of its integration with data-driven smart urbanism : An extensive interdisciplinary literature review. *Land Use Policy*, 97, 104703. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104703>
- Bibri, S.E., Allam, Z. & Krogstie, J. The Metaverse as a virtual form of data-driven smart urbanism: platformization and its underlying processes, institutional dimensions, and disruptive impacts. *Comput.Urban Sci.* 2, 24 (2022). <https://doi.org/10.1007/s43762-022-00051-0>
- Escribá Pina, E. (1970, January 1). *Aprendizaje por refuerzo Mediante Deep Learning para las ciudades inteligentes*. Inicio. <https://oa.upm.es/68733/>
- Esmartcity. (2018). *Un Modelo Predictivo Basado en Datos Abiertos y Aprendizaje Profundo para conocer La Densidad de Ciudades de Todo El Mundo*. ESMARTCITY. <https://www.esmartcity.es/2018/09/13/modelo-predictivo-basado-datos-abiertos-aprendizaje-profundo-conocer-densidad-ciudades-todo-mundo>
- Kemeç, A. (2023). *Metaverse Applications as a Tool in Urban Policy Design* (pp. 12–34).

<https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6097-9.ch002>

- Kim, T. J., Wiggins, L. L., & Wright, J. R. (Eds.). (1990). *Expert Systems: Applications to Urban Planning*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3348-0>
- Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>
- Liu, L., Biderman, A., & Ratti, C. (n.d.). *URBAN MOBILITY LANDSCAPE: REAL TIME MONITORING OF URBAN MOBILITY PATTERNS*.
- Manyika, J., Chiu, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., et al. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey Global Institute.
- Osorio, P. A. M., & Tuirán, A. C. (2023). *Inteligencia artificial en arquitectura, urbanismo y Diseño: Abriendo Nuevas Fronteras Creativas*. Procesos Urbanos. <https://revistas.cecar.edu.co/index.php/procesos-urbanos/article/view/617>
- Yaqoob, I., Hashem, I. A. T., Mehmood, Y., Gani, A., Mokhtar, S., & Guizani, S. (2017). Enabling communication technologies for smart cities. *IEEE Communications Magazine*, 55(1), 112–120.