

ORIGINAL

Analysis of dynamic scenarios generated by urban growth in the city of Pasto using a predictive model supported by a software product

Análisis de escenarios dinámicos generados por el crecimiento urbano en la ciudad de Pasto mediante un modelo predictivo respaldado por un producto software

Jheison Edilson Arteaga Quistial¹ , Miguel Ángel Velásquez Bravo¹ , Omar Alexander Revelo Zambrano¹

¹Universidad CESMAG, Facultad de Ingeniería, Ingeniería de sistemas. Pasto - Nariño, Colombia.

Citar como: Arteaga Quistial JE, Velásquez Bravo M Ángel, Revelo Zambrano OA. Analysis of dynamic scenarios generated by urban growth in the city of Pasto using a predictive model supported by a software product. Gentrification. 2025; 3:93. <https://doi.org/10.62486/gen202593>

Enviado: 18-03-2024

Revisado: 24-07-2024

Aceptado: 05-07-2025

Publicado: 06-07-2025

Editor: Prof. Estela Hernández-Runque 

ABSTRACT

The objective of this research is to analyse urban growth in Pasto using a predictive model in order to identify expansion patterns and anticipate future scenarios. The study responds to the need to manage rapid urban change in the city, which has gone from being mainly agricultural to urban in the last two decades. Through the analysis of urban data, it seeks to facilitate planning and informed decision-making, promoting sustainability and organised development.

Keywords: Urban Growth; Predictive Model; Urban Repository; Data Analytics; Web Application; Residential Projects.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es analizar el crecimiento urbano en Pasto mediante un modelo predictivo, con el fin de identificar patrones de expansión y anticipar escenarios futuros. El estudio responde a la necesidad de gestionar el rápido cambio urbano en la ciudad, que ha pasado de ser mayormente agrícola a urbano en las últimas dos décadas. A través del análisis de datos urbanísticos, se busca facilitar la planificación y toma de decisiones informadas, promoviendo la sostenibilidad y el desarrollo organizado.

Palabras clave: Crecimiento Urbano; Modelo Predictivo; Repositorio Urbanístico; Analítica de Datos; Aplicación Web; Proyectos Residenciales.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la expansión desorganizada del crecimiento, tanto formal como informal, de viviendas en la ciudad de Pasto ha generado un panorama urbano marcado por una densificación significativa en las periferias y áreas rurales.^(1,2,3,4,5) Esta realidad plantea desafíos sustanciales para la planificación y gestión territorial de la ciudad, manifestándose como una transición evidente de un entorno agrícola a uno urbano, especialmente notoria entre los años 2000 y 2022. La implementación de modelos de ocupación en este lapso ha provocado una transformación estructural profunda en la configuración urbano-territorial de Pasto.^(6,7,8,9,10) Este cambio se manifiesta claramente en la complejidad de la morfología urbana, donde los puntos periféricos convergen hacia una huella compacta.^(11,12,13,14,15) El enfoque predominante en las áreas periféricas como solución para el desarrollo urbano destaca la urgente necesidad de abordar los desafíos derivados de la expansión y cohesión territorial en la ciudad.^(16,17,18,19,20)

A lo largo de más de dos décadas, numerosos estudios de simulación y modelamiento urbano, desde las contribuciones de Tobler, Couclelis, Takeyama, y White y Engelen hasta investigaciones más contemporáneas de Feng, Liu y Batty y Feng y Tong, han resaltado la funcionalidad de estos enfoques. Sin embargo, la dispersión actual de los sistemas de información de la ciudad de Pasto en diversas fuentes, algunas desactualizadas o no depuradas, ha generado información incoherente con la realidad de la ciudad. De igual forma, los datos disponibles exhiben una dinámica intrínseca en constante evolución, experimentando transformaciones estrechamente vinculadas a los procesos de crecimiento urbano en las áreas de expansión.^(21,22,23,24,25) La carencia de fuentes confiables y de fácil accesibilidad complica la tarea de establecer relaciones directas y precisas con datos actualizados y oportunos. Las complicaciones inherentes al uso y acceso a la información actúan como barreras que restringen la transmisión fluida y funcional del repositorio correspondiente.^(26,27,28,29,30) Por ende, surgió la propuesta de investigación titulada “Análisis del crecimiento urbano en las zonas de expansión de Pasto 2000-2022: implicaciones del modelo territorial compacto propuesto por los planes de ordenamiento territorial en el planeamiento urbano, mediante modelo predictivo”.^(31,32,33,34,35) La investigación se encuentra en proceso de ejecución, en la cual se han obtenido procesos investigativos de gran relevancia, destacando el desarrollo de productos software de calidad.^(36,37,38,39,40) Resaltando así el desarrollo de un portal web como herramienta de consulta, el cual fue presentado al III Encuentro Internacional de Semilleros de la Universidad CESMAG, obteniendo un reconocimiento por parte de los evaluadores al ser un trabajo destacado por su innovación en el campo de arquitectura e ingeniería de sistemas.^(41,42,43)

Con lo anterior, se han identificado diversos factores a mejorar; por consiguiente, surge la iniciativa del desarrollo de una página web interactiva aplicando tecnologías innovadoras como modelos predictivos,^(44,45,46) los cuales se encuentran sustentados por inteligencia artificial, permitiendo resaltar el crecimiento urbano en la ciudad de Pasto.^(47,48,49) De igual forma, su libre uso y fácil acceso y comprensión de la información serán su mayor atractivo.^(50,51,52) Este enfoque no solo incluirá la consolidación de datos validados, sino también su visualización a través de un software interactivo que tiene como objetivo recopilar datos confiables y presentar la información de forma accesible, brindando a los usuarios una comprensión detallada de la evolución del crecimiento urbano en Pasto.

La investigación en curso busca identificar y analizar detalladamente la transición de Pasto de un entorno agrícola a uno urbano, reconociendo la complejidad y las implicaciones que este cambio ha tenido en la configuración de la ciudad a lo largo del tiempo. Se busca examinar de manera integral cómo este fenómeno ha dejado una marca significativa en la estructura urbano-territorial, influyendo en la planificación y el desarrollo de la ciudad. El proceso investigativo se adentra en la morfología emergente, destacando los elementos clave que han contribuido a la transformación, desde los modelos de ocupación implementados hasta las dinámicas de crecimiento formal e informal.

Planteamiento del problema

Con la promulgación de la Ley No. 388 de 1997, que se establece como la normativa principal en la planificación territorial, Colombia inició una nueva etapa en la planificación y gestión de las ciudades y centros urbanos en el país. No obstante, estas regulaciones resultan efectivas únicamente si se comprende la jerarquía y preponderancia del suelo urbano en comparación con otros tipos de suelo. Dicho de otro modo, la planificación se enfoca en la materialización, la densificación y desarrollo del espacio urbano que conocemos como ciudades. Desde otra perspectiva, se identifica una carencia de herramientas de gestión óptimas para el desarrollo de las zonas rurales y suburbanas, cuya vocación se centra específicamente en actividades rurales, agrícolas, turísticas.^(53,54,55)

En la actualidad, se dispone de sistemas de información destinados a preservar datos y variables relacionados con los patrones de desarrollo urbano en Pasto. No obstante, esta información proviene de diversas fuentes y, en algunos casos, no ha sido objeto de actualización, limpieza o modificación, lo que resulta en la presencia de datos inconsistentes con la situación real en la ciudad. Además, es crucial destacar que esta información no permanece estática, sino que experimenta un constante dinamismo y evolución en paralelo a los procesos de crecimiento urbano en las áreas de expansión de Pasto. La carencia de fuentes fiables disponibles para consulta directa por parte de los usuarios dificulta el acceso a datos actualizados y oportunos. En el contexto de una ciudad como Pasto, caracterizada por la gestión de múltiples repositorios almacenados en diversas fuentes, la utilización de la información se torna más compleja obstaculizando el acceso a la misma. Considerar la analítica de datos y la recolección de información de forma precisa y concisa se convierte en un referente fundamental para lograr un desarrollo y comprensión efectivos de la situación durante los periodos 2000 y 2022. “Pasto es una de las ciudades de Colombia que ha sufrido un proceso de tránsito de un paisaje agrícola a uno urbano. Este hecho se hizo más evidente con los modelos de ocupación implementados entre 2000 y 2022, tema que fue abordado por expertos en el programa OGU, de Radio UNAL”. Considerando la anterior cita como referencia, la cual evidencia la significativa transición que Pasto ha experimentado a lo largo de los años, es imperativo realizar un análisis y una recolección de información para determinar los factores que han contribuido a dicho

proceso de cambio y crecimiento.

¿Cómo ha experimentado la ciudad de Pasto su crecimiento urbano entre los años 2000 y 2022, evaluado a través de escenarios dinámicos y respaldado por un modelo predictivo?

Objetivos General

Determinar escenarios interactivos de crecimiento urbano en la ciudad de Pasto mediante un modelo predictivo, apoyado por un producto software.

MÉTODO

Paradigma

La investigación se centra en el paradigma positivista basado en la replicabilidad, que involucra el modelo predictivo alimentado por una fuente de datos confiables recolectados durante la investigación. Una característica fundamental de este paradigma es la causalidad, debido a que el proceso investigativo se enfatiza en identificar la causa, que es el crecimiento urbano, y sus efectos, que corresponden a los cambios en los escenarios dinámicos de la ciudad de Pasto.

Enfoque

El enfoque de la investigación tiene como objetivo la creación de un producto software que permita identificar el crecimiento urbano en la ciudad de Pasto. Para ello, se tiene en cuenta un enfoque cuantitativo, que se caracteriza en el estudio de una matriz la cual resulta en un repositorio de información que contiene más de 30 000 datos urbanísticos. Estos datos serán el motor impulsor para que el modelo predictivo sea alimentado. A partir del análisis de estos datos, el enfoque cuantitativo permite identificar qué sectores de Pasto han experimentado un mayor crecimiento urbano, así como determinar qué tipos de construcciones han sido más constantes entre los años 2000 y 2022. La importancia de este análisis radica en que, al identificar patrones y tendencias, el modelo podrá realizar proyecciones fundamentadas sobre el futuro del desarrollo urbano en la ciudad, permitiendo que la información obtenida sea visualizada de manera efectiva en el producto software desarrollado.

Método

Dado que esta investigación abarca tanto aspectos cuantitativos como cualitativos, puede ser clasificada como una investigación mixta. En este sentido, se emplean diversos métodos, incluyendo la investigación documental en combinación con la investigación de campo, que a su vez se desglosa en encuestas, observación y análisis de datos.

Para la implementación del modelo predictivo, se considera primordial la validación, evaluación y análisis de los resultados, aspectos que fueron contemplados durante la etapa de recolección de la información.

Tipo de investigación

La investigación es de tipo exploratoria, dada la complejidad de analizar escenarios dinámicos en el marco del crecimiento urbano en la ciudad de Pasto y la posibilidad de contar con un historial limitado de investigaciones previas. Se plantea iniciar con una investigación exploratoria que permita un análisis en profundidad de la dinámica del crecimiento urbano en Pasto, identificando factores clave y relevantes que permitan el correcto estudio de dicha dinámica.

Una vez alcanzado el nivel adecuado de comprensión respecto a la dinámica del crecimiento urbano en Pasto, se procede hacia una investigación de tipo experimental. En esta fase, se desarrolla y valida el modelo predictivo, utilizando datos previamente procesados. Además, se evalúa cómo diversos factores clave influyen en el crecimiento urbano.

Diseño de investigación

La investigación adopta el diseño cuasiexperimental, el cual permite la manipulación de variables independientes específicas, tales como políticas urbanas o planificación urbana, importantes para analizar su impacto en el crecimiento urbano en Pasto. El anterior diseño facilita la aplicación de intervenciones controladas, seguidas de la evaluación de sus efectos en la dinámica de crecimiento urbano en mencionada ciudad.

En este contexto, se definen grupos de estudio que representan diversos escenarios urbanos o condiciones. Se manipulan variables claves relacionadas con el crecimiento urbano para observar cómo influyen tanto en el modelo predictivo como en los resultados obtenidos.

Este diseño posibilita un enfoque más controlado y estructurado capaz de analizar la dinámica del crecimiento urbano en la ciudad de Pasto, permitiendo la facilitación en la evaluación y validación del modelo predictivo respaldado por el software desarrollado.

Población

La población objetivo de esta investigación se centra en el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto, abordando aspectos relacionados con edificaciones, condominios, conjuntos residenciales y viviendas en general.

Muestra

La muestra abarca el período comprendido entre los años 2000 y 2022. Durante este intervalo, se llevó a cabo un análisis exhaustivo enfocado en el estudio y evaluación del crecimiento urbano respecto a las múltiples variables urbanísticas obtenidas en el proceso investigativo.

Técnicas de recolección de información

La primera fase se centró en realizar una encuesta a personas que tienen conocimiento en el área de construcción de viviendas en la ciudad de Pasto en los periodos 2000-2022, para así poder identificar los proyectos residenciales que se han construido y desarrollado a lo largo de los años, al igual que cada característica que identifica a cada proyecto residencial. De igual manera se realizó una investigación minuciosa en fuentes virtuales, para identificar diversos factores claves que se necesitan para el estudio del crecimiento urbano de la ciudad.

Validez de las técnicas de recolección

Las técnicas a emplear se basan en la sinergia entre el crecimiento urbano y la tecnología. La creación e implementación de una encuesta representa la fase primordial para determinar las áreas de la ciudad de Pasto que deben ser analizadas para posteriormente trabajar en ellas y recolectar la información necesaria para la implementación de un modelo predictivo definido por variables urbanísticas, que incluyen información relevante para su entrenamiento y desarrollo. El análisis del documento sustenta la viabilidad del estudio y la integración del crecimiento urbano y la tecnología, con el propósito de ofrecer una perspectiva sobre cómo identificar el crecimiento urbano en la ciudad de Pasto.

Confiabilidad de las técnicas de recolección

La confiabilidad de la información se fundamenta en el análisis de la misma y su coherencia con el contexto y las preguntas planteadas en la encuesta. Para lograrlo, se proporcionará una explicación detallada del propósito y la finalidad de la encuesta o de los temas a tratar, ya sea en formato visual o presencial. Esto garantizará que el encuestado pueda proporcionar información válida y precisa. De igual manera, en la recopilación de datos a través de herramientas virtuales, se aplicarán filtros comparativos utilizando diversas fuentes de información para identificar patrones de coherencia que validen la confiabilidad y validez de la información suministrada.

Instrumentos de recolección de información

En el proceso de recolección de información, se emplearán herramientas tecnológicas avanzadas y diversas fuentes en línea. Estas herramientas incluirán plataformas como Google, Google Scholar, Google Maps y Google Earth, que permitirán la obtención de datos geoespaciales (variables de estudio: longitud y latitud de residencias ubicadas en Pasto), mapas y vistas satelitales para visualizar el entorno urbano de Pasto y rastrear su evolución a lo largo del tiempo. De igual forma, se explorarán páginas de información de precios de viviendas y sitios web que ofrecen recursos visuales que permitan identificar cómo era la ciudad de Pasto antes del año 2000, conjuntamente se empleará al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) como fuente primordial para garantizar la fiabilidad de la información. Estas fuentes serán cruciales para el desarrollo y población de una matriz de información con datos válidos y precisos que respaldan el análisis del crecimiento urbano en la ciudad.

Adicionalmente, las encuestas que se llevarán a cabo en la ciudad de Pasto, tienen como objetivo recopilar información esencial para el proceso investigativo, permitiendo analizar y estudiar el crecimiento urbano de la ciudad, centrándose además en las variables de estudio de la investigación:

- Nombre del Proyecto (Residencia, Edificio o Conjunto): donde se busca obtener información específica sobre la denominación de la residencia, edificio o conjunto habitacional ubicado en una determinada zona. Buscando comprender cómo se identifican y diferencian estos espacios dentro de la ciudad.
- Tipo de Vivienda (Morfología): permitiendo conocer en detalle la morfología de las viviendas, es decir, si son multifamiliares o unifamiliares. Esta clasificación ayudará a entender la estructura residencial predominante en la ciudad de Pasto, proporcionando información valiosa sobre la diversidad arquitectónica.
- Estrato de la Vivienda: permitiendo identificar el estrato al que pertenece cada residencia, edificio o conjunto residencial. Esta variable es crucial para analizar la distribución socioeconómica en la ciudad, posibilitando comprender la diversidad de estratos presentes.

- **Tamaño de la Vivienda:** En esta sección, se pretende obtener información acerca de las dimensiones de las viviendas, expresadas en metros cuadrados. Esto permitirá entender la variabilidad en el tamaño de las residencias o edificaciones en la zona, proporcionando percepciones valiosas sobre la distribución del espacio residencial.

En el repositorio se registraron solo algunos puntos obtenidos mediante las encuestas previas, mientras que la mayoría se recopiló mediante una exhaustiva revisión documental. Se usaron fuentes confiables en sitios web, análisis a través de Google Maps y el apoyo de información confidencial y de valor proporcionada por EMPOPASTO, lo que permitió complementar y validar la información de manera integral.

RESULTADOS

La creación de un repositorio de datos urbanísticos en la ciudad de Pasto ha sido fundamental para el análisis del crecimiento urbano entre 2000 y 2022. Este repositorio compila información detallada sobre proyectos residenciales, incluyendo localización, características de las viviendas y contextos de riesgo, sirviendo como una herramienta esencial para urbanistas y autoridades locales en la identificación de patrones de expansión y evaluación de políticas urbanas.

Para gestionar eficientemente esta información, se desarrolló una aplicación web intuitiva, que permite a los usuarios acceder a datos relevantes y visualizar resultados de un modelo predictivo. Este modelo, diseñado para analizar el crecimiento urbano, utiliza técnicas de aprendizaje automático y ha sido validado con métricas como el coeficiente de determinación (R^2) y el error cuadrático medio (MSE), demostrando su eficacia en la previsión de tendencias futuras.

La integración entre la aplicación web y el modelo predictivo se facilita mediante una API desarrollada con Flask, que permite el envío de datos y la obtención de predicciones en tiempo real. Cada uno de estos componentes se ha desarrollado siguiendo las siguientes metodologías específicas:

- Data Warehousing para la creación y estructuración del repositorio de datos.
- Scrum para el desarrollo de la aplicación web, permitiendo un enfoque ágil y adaptativo.
- CRISP-DM para el desarrollo del modelo predictivo, asegurando un análisis riguroso y basado en datos históricos.

Esta combinación de metodologías y herramientas establecieron un marco robusto para la planificación y el desarrollo sostenible de Pasto, dando cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos de la investigación.

Creación de un repositorio de datos urbanísticos

Después de un arduo trabajo y meticulosa recolección de información, se logró compilar un repositorio de datos que agrupa todos los proyectos residenciales construidos en la ciudad de Pasto entre los años 2000 y 2022. Este repositorio, ahora completo y bien documentado, representa una fuente invaluable para cualquier entidad interesada en el estudio y análisis del crecimiento urbano en la región.

El repositorio contiene una extensa colección de datos geoespaciales que representan a proyectos residenciales construidos entre los años 2000 y 2022, donde además incluyen información o características urbanísticas como: La zona de riesgo o amenaza, estructura ecológica principal, cantidad de viviendas, tipo de vivienda (morfología), tipo de vivienda (subsidio), estrato vivienda, tamaño de la vivienda, precio de la vivienda, año de construcción, densidad poblacional (hab/Hec), equipamientos (m), localización del proyecto residencial (Longitud), localización del proyecto residencial (Latitud). Este recurso ofrece una visión detallada del crecimiento urbano de Pasto entre 2000 y 2022, sirviendo como herramienta clave para urbanistas, académicos y autoridades, que pueden identificar patrones de expansión y evaluar políticas. Además, apoya decisiones estratégicas sobre desarrollo sostenible y mejora de infraestructura, siendo valioso también para empresas de bienes raíces y constructoras en la comprensión del mercado residencial.

En el contexto de la creación del repositorio urbanístico, se optó por la Metodología de Data Warehousing (Almacenamiento de Datos) como la más adecuada para llevar a cabo un proceso efectivo. Esta metodología se estructura en las siguientes fases clave:

Recolección de datos

- **Identificación de Fuentes:** en esta fase, se determinó qué datos y fuentes eran necesarios para enriquecer el repositorio urbanístico. Se llevó a cabo la recolección de datos a partir de diversas fuentes, incluyendo la revisión documental y la obtención de información geoespacial mediante Google Maps y Google Earth. Además, Empopasto contribuyó proporcionando información urbanística relevante para la investigación, lo que resultó fundamental para la construcción del repositorio de datos.
- **Extracción de Datos:** donde se llevó a cabo el proceso de recolección de datos de las fuentes identificadas.

Transformación de datos

- Limpieza de Datos: fase enfocada en eliminar datos duplicados, corregir errores y normalizar los formatos.
- Estandarización: etapa clave para asegurar que los datos sigan un formato coherente y estructurado necesario para su comprensión.

Almacenamientos de datos

- Diseño de la Base de Datos: donde se precedió a definir la estructura de la base de datos, considerando las tablas que podrían trabajarse además de las relaciones entre estas.
- Carga de Datos: proceso de inserción de los datos transformados y depurados en el repositorio como tal, para ser manipulado por la aplicación web para su gestión y por el modelo predictivo para realizar predicciones.

Documentación y metadatos

- Creación de Metadatos: fase donde se llevó a cabo el proceso de documentación de la fuente, formato y contexto de los datos para facilitar su uso y comprensión, (Véase anexo G).
- Guías de Uso: se desarrolló una guía útil para comprender la estructura y características de los datos y del repositorio urbanístico, (Véase anexo G)

Mantenimiento y actualización

- Actualización Regular: etapa donde se estableció un cronograma y la estructura necesaria para la incorporación de nuevos datos en el repositorio.
- Monitoreo de Calidad: fase enfocada en la revisión periódica de la calidad de los datos.

Accesibilidad y actualización

- Interfaz de Usuario: se creó una interfaz en la aplicación web para facilitar el acceso y la consulta de datos, garantizando además la correcta gestión y seguridad de estos.

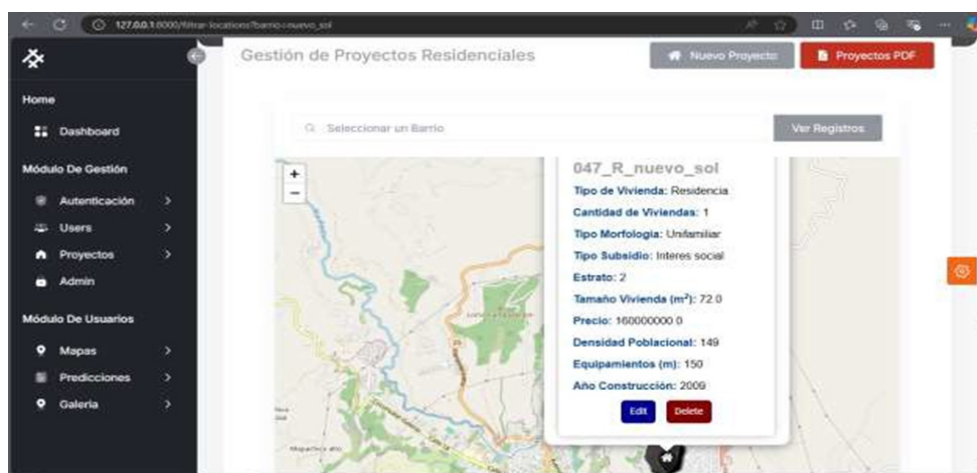


Figura 1. Interfaz del aplicativo web que permite la Gestión del repositorio urbanístico

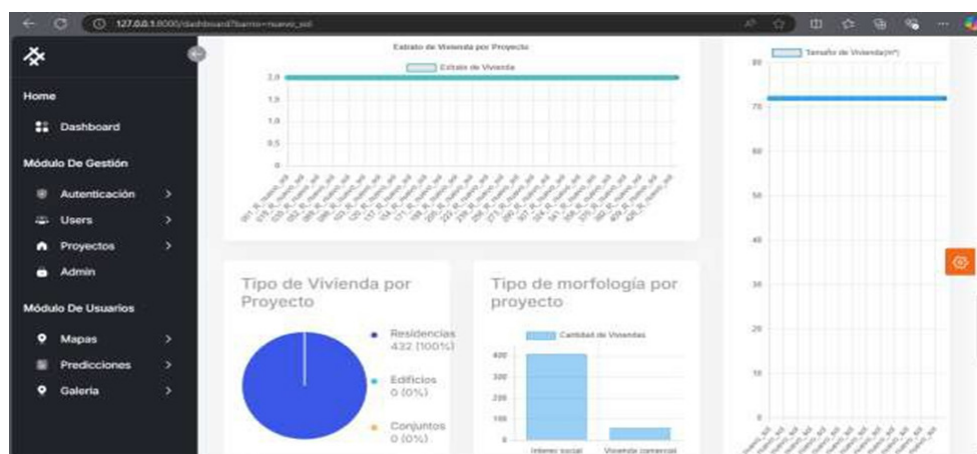


Figura 2. Interfaz del aplicativo web donde permite la visualización de Gráficos estadísticos por barrio (1 solo barrio)

- Herramientas de Visualización: etapa donde se implementó gráficos estadísticos y un Dashboard que permitieran analizar y visualizar los datos de forma interactiva.



Figura 3. Interfaz del aplicativo web donde permite la visualización de gráficos estadísticos comparando todos los barrios de la ciudad

Validación en la recolección de información para el repositorio urbanístico: apoyo por parte de Empopasto

La recolección de datos para el repositorio urbanístico es un proceso fundamental que se sustenta en la información verídica y precisa proporcionada por Empopasto. Gracias a su experiencia y compromiso con la calidad de los datos, se garantiza que la información recopilada no solo sea confiable, sino que también refleje con exactitud las características y necesidades del entorno urbano. Este aporte se convierte en un pilar esencial para el desarrollo del proceso investigativo, asegurando que las decisiones futuras estén basadas en evidencias sólidas y relevantes.

Información validada y brindada por Empopasto:



Fuente: EMPOPASTO

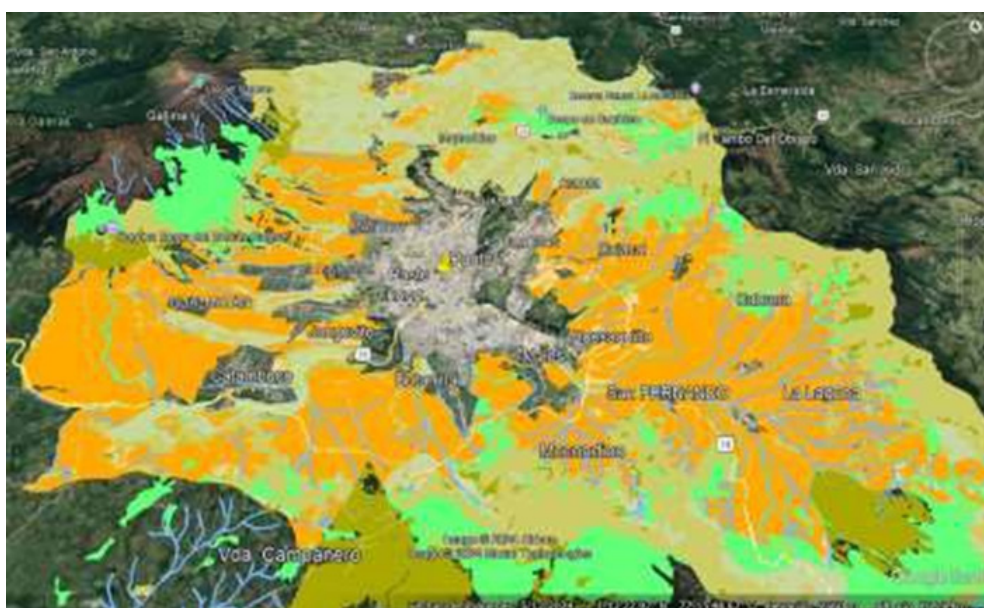
Figura 4. Proyección de un punto en google earth trabajando zona de riesgo o amenaza

COLOR IDENTIFICADOR	Tipo de zona
	Zona con amenaza por inundacion
	Zona con amenaza por deslizamiento
	Zona por colapso por mineria
	Zona por colapso por mineria
	Zona Sin Riesgo

Fuente: EMPOPASTO

Figura 5. Clasificación de las zonas de riesgo de acuerdo a un color identificador

Al colocar un punto sobre el mapa, y al asignarle un color específico, se identifica una zona de riesgo correspondiente a ese proyecto residencial. Esta acción permite seleccionar de manera clara y precisa el área afectada, facilitando la diligencia del valor en la columna “zona_riesgo” del repositorio. Así, se garantiza una gestión eficiente de la información, permitiendo un análisis más profundo de los riesgos asociados en la ciudad de Pasto.



Fuente: EMPOPASTO

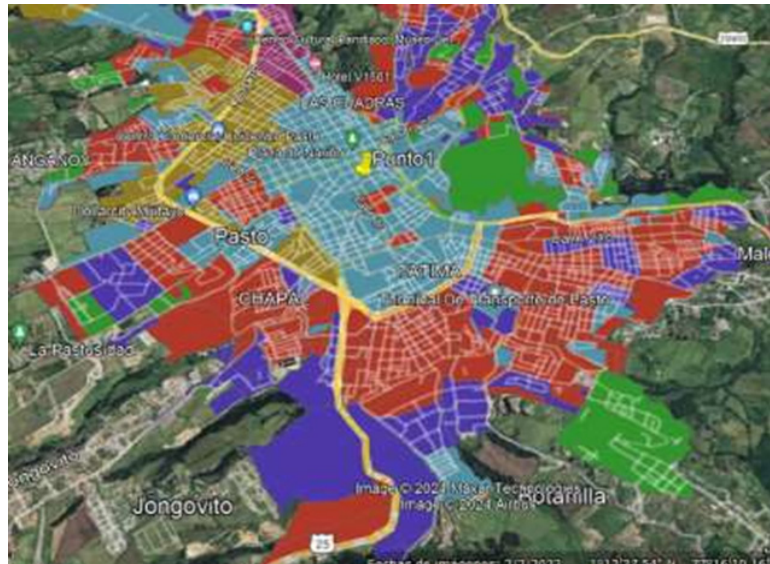
Figura 6. Proyección de un punto en google earth trabajando estructura ecológica principal

COLOR IDENTIFICADOR	Estructura Ecológica
	Areas agricolas
	Drenaje doble
	Areas de Amenazas Naturales
	Drenaje sencillo
	Areas forestales protectoras
	Areas Agrosilvopastoriles
	Sin zona ecológica

Fuente: EMPOPASTO

Figura 7. Clasificación de estructuras ecológicas de acuerdo a un color identificador

Al colocar un punto sobre el mapa y asignarle un color específico, se establece una zona respecto a la estructura ecológica para ese proyecto residencial. Esta acción permite seleccionar de manera precisa el área en cuestión, facilitando la diligencia del valor en la columna “estructura_ecologica” del repositorio. De este modo, se asegura una organización clara de la información, lo que contribuye a un mejor entendimiento y análisis de los elementos ecológicos presentes en el territorio.



Fuente: EMPOPASTO

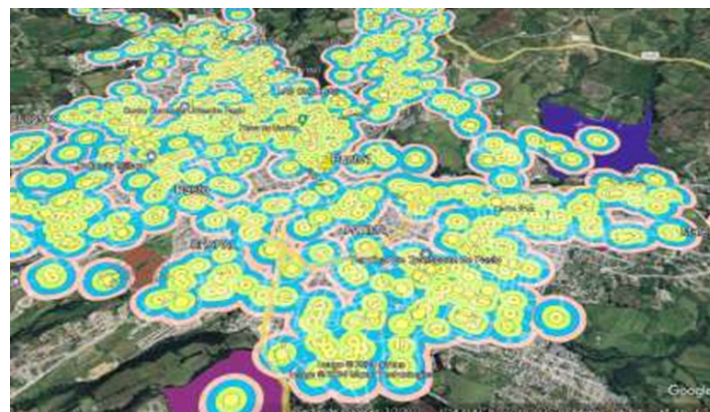
Figura 8. Proyección de un punto en google earth trabajando estrato



Fuente: EMPOPASTO

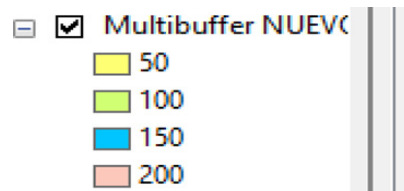
Figura 9. Clasificación de estratos de Pasto de acuerdo a un color identificador

Al colocar un punto sobre el mapa y asignarle un color específico, se define el estrato para dicho punto o proyecto residencial. Esta acción permite seleccionar con precisión el área correspondiente, facilitando la diligencia del valor en la columna “estrato_vivienda” del repositorio. Así, se garantiza una categorización clara de la información, lo que contribuye a un análisis más profundo de las características socioeconómicas de la población en el territorio.



Fuente: EMPOPASTO

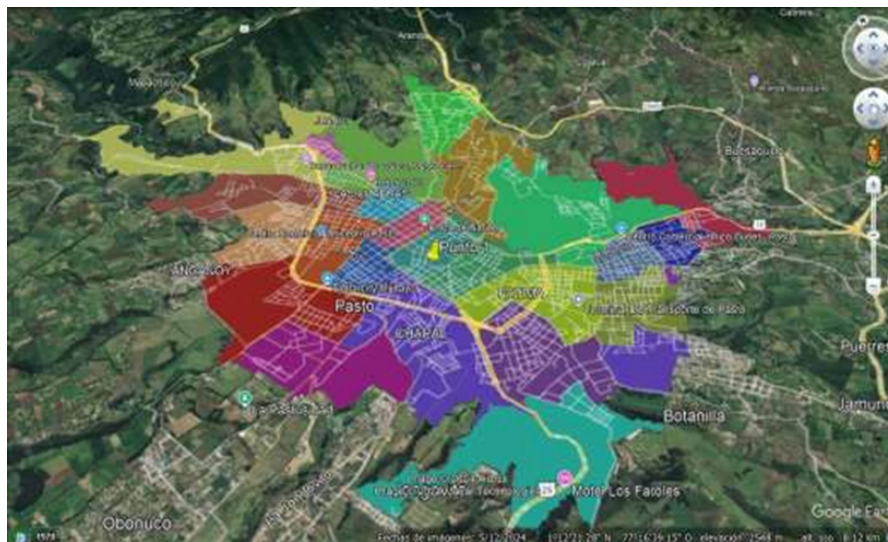
Figura 10. Proyección de un punto en google earth trabajando equipamientos



Fuente: EMPOPASTO

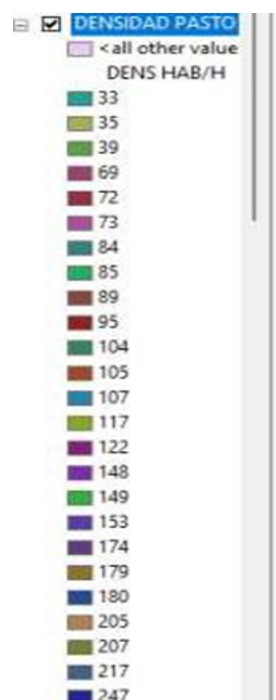
Figura 11. Clasificación de los equipamientos (en metros) de acuerdo a un color identificador

Al colocar un punto sobre el mapa y asignarle un color específico que corresponda a la zona de equipamientos, se determina el valor de equipamientos (en metros) para ese punto. Este proceso asegura que la información recolectada sea precisa y refleje adecuadamente la disponibilidad de servicios en el área seleccionada. Esta acción permite seleccionar con precisión el espacio correspondiente, facilitando la diligencia del valor en la columna “equipamientos” del repositorio. De este modo, se asegura una organización clara de la información, lo que permite un análisis más completo sobre la disponibilidad y distribución de servicios y recursos en el territorio.



Fuente: EMPOPASTO

Figura 12. Proyección de un punto en google earth trabajando densidad



Fuente: EMPOPASTO

Figura 13. Clasificación de densidades (hab/Hec) de acuerdo a un color identificador

Al ubicar un punto sobre el mapa y asignarle un color específico relacionado con la densidad poblacional, se define claramente la concentración de habitantes en esa área y el valor de densidad para dicho punto. Esta acción permite registrar de manera precisa el valor correspondiente en la columna “densidad_poblacional” del repositorio. Así, se garantiza que la información refleje fielmente la distribución demográfica, facilitando un análisis más profundo sobre las dinámicas sociales y urbanas del territorio.

Validación de la recolección mediante la encuesta a un experto en la construcción

La validación de la recolección de datos mediante la encuesta a un experto en la construcción es un paso crucial para asegurar la calidad y pertinencia de la información obtenida. Al consultar a un profesional con experiencia en el sector, se busca corroborar la precisión de los datos recolectados y obtener perspectivas valiosas que enriquezcan el análisis. Esta validación no solo refuerza la credibilidad de la investigación, sino que también garantiza que las decisiones y recomendaciones derivadas del estudio estén fundamentadas en conocimientos técnicos y prácticos. Para ver la entrevista subida a YouTube hacer click en el enlace (Link Video), (Acceso al guion de la entrevista).

Respuestas obtenidas durante la entrevista

Bloque 1: Experiencia Profesional y Crecimiento Urbano

1. ¿Podrías comenzar contándome un poco sobre tu experiencia profesional en el área de construcción e instalación en Pasto?

El experto es técnico electricista con amplia experiencia en construcción, y ha tenido la oportunidad de observar de cerca el avance en la construcción y en la sociedad de Pasto a lo largo de su carrera.

2. Desde tu experiencia, ¿cómo describirías el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto desde el año 2000?

Describe el crecimiento urbano en Pasto como acelerado, impulsado en gran medida por el aumento de la población y factores migratorios. La expansión urbana ha sido notable en comparación con años anteriores, y la ciudad ha tenido que adaptarse rápidamente a esta presión.

3. ¿Qué factores principales crees que han impulsado este crecimiento?

Entre los factores mencionados están el desplazamiento migratorio (incluido el impacto de la inmigración venezolana), el desplazamiento interno regional, y la búsqueda de mejores oportunidades económicas en Pasto, especialmente por habitantes de áreas rurales.

4. ¿Cuáles dirías que son los sectores o barrios de la ciudad que más han crecido en los últimos 20 años?

El experto señala varias zonas clave:

- Alrededores del Hospital San Pedro y las áreas cercanas al estadio.
- Zonas surorientales, incluyendo sectores como Santa Mónica.
- La comuna 10, donde destacan sectores como Nuevo Sol, Nueva Aranda y San Diego, que han experimentado un notable crecimiento en construcción.

Bloque 2: Barrios, Conjuntos Residenciales y Desarrollo en Pasto

1. ¿Puedes hablarme sobre el desarrollo de barrios, conjuntos residenciales o condominios en Pasto desde el año 2000?

El experto valida el trabajo de clasificación que se ha hecho en términos de conjuntos residenciales y condominios. Destaca que el uso de tecnología y software avanzado ha permitido realizar un análisis detallado y preciso sobre el desarrollo habitacional.

2. ¿Podrías confirmarme si la clasificación de las viviendas, conjuntos y edificios que hemos trabajado corresponde correctamente a las construcciones después del año 2000?

Sí, el experto confirma que la clasificación de viviendas, conjuntos y edificios es adecuada y refleja con precisión las características de las construcciones realizadas después del año 2000.

Destaca que se ha llevado a cabo un análisis minucioso, respaldado por herramientas tecnológicas avanzadas y software especializado, que permiten validar la exactitud de la clasificación y de los datos recolectados. Además, menciona que el proceso ha considerado la evolución en la tipología de las construcciones, lo cual permite que el análisis se ajuste a las características específicas de los nuevos desarrollos urbanos en Pasto y ayude a visualizar mejor las diferencias en el crecimiento habitacional en la ciudad. Esta combinación de tecnología y un enfoque detallado asegura que los datos representen fielmente el desarrollo urbano reciente en Pasto.

3. Desde tu experiencia, ¿has notado algún cambio significativo en el tipo de viviendas o conjuntos residenciales que se construyen en Pasto a partir del 2000 en comparación con antes?

Ha habido un cambio notable en las viviendas. Se observa una diversificación de los estratos socioeconómicos en las nuevas construcciones, adaptándose a las demandas del mercado, donde existen diferencias en estratos medio, bajo y alto, y la proliferación de edificios comerciales y residenciales.

4. ¿Consideras que los datos que hemos utilizado reflejan con precisión el crecimiento urbano en Pasto después del 2000?

Sí, considera que los datos reflejan bien el crecimiento, observable en la cantidad de nuevas construcciones tanto para vivienda como para comercio en la ciudad.

5. ¿Crees que la ciudad de Pasto tenderá a crecer más en edificios, conjuntos o condominios?

El experto anticipa un crecimiento en propiedad horizontal debido a la limitación de suelo disponible. Menciona que anteriormente predominaban las casas de mayor tamaño, pero hoy en día las nuevas construcciones se orientan a edificios y desarrollos horizontales más compactos.

Desarrollo de una aplicación web óptima con estándares de calidad

Después de un periodo intensivo de desarrollo y pruebas, se logró con éxito la creación de una aplicación web que cumple con altos estándares de calidad y es capaz de gestionar información relacionada con usuarios, roles, permisos de usuario, reportes y proyectos residenciales. La aplicación, además de sus funciones de gestión, permite mostrar los resultados de las predicciones realizadas por el modelo predictivo, creado para analizar el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto.

La aplicación web fue diseñada para ser intuitiva y fácil de usar, permitiendo a los usuarios registrados acceder a información clave de manera segura y eficiente. Entre sus funcionalidades, para dar cumplimiento al objetivo 2 de la investigación se tiene:

1. Visualizar la información del repositorio urbanístico y temas relacionados al crecimiento urbano (página de inicio).
2. Acceder al sistema mediante la autenticación de usuarios.
3. Asignación de roles dentro del sistema.
4. Gestión de usuarios dentro del sistema.
5. Gestión de la información personal de cada usuario.
6. Gestionar el repositorio urbanístico.
7. Visualizar la información del repositorio urbanístico.
8. Desarrollar e interactuar con un Chat Bot en la aplicación web.
9. Implementar un API.
10. Enviar la información pertinente para realizar las predicciones del crecimiento urbano.
11. Guardar las predicciones realizadas por el modelo predictivo.
12. Buscar las predicciones realizadas por el modelo predictivo.
13. Visualizar las predicciones realizadas por el modelo predictivo.

Para el desarrollo de la aplicación web, se utilizó la metodología Scrum, implementando un total de cuatro sprints. Durante este proceso, se creó un product backlog para organizar las historias de usuario, lo que permitió estructurar y priorizar las tareas de manera efectiva. Esta organización facilitó el desarrollo ágil de la aplicación, asegurando que se cumplieran los objetivos y se entregaran funcionalidades de manera continua.

Planificación Sprints 1,2,3,4

	Sprint 1	Sprint 2	Sprint 3	Sprint 4
FECHA INICIO	12/02/2024	26/02/2024	11/03/2024	1/04/2024
FECHA FIN	26/02/2024	11/03/2024	1/04/2024	10/05/2024

Figura 14. Fechas Inicio y Finalización Sprints 1,2,3,4

Product Backlog desarrollado

<i>ID</i>	<i>Como...</i>	<i>Necesito...</i>	<i>Para...</i>	<i>Prioridad</i>	<i>Sprint</i>	<i>Estado</i>
HU-1	Super Administrador, Adminstrador, Usuario	Acceder al sistema mediante la autenticación de usuarios	Poder registrarse	Should	1	Terminado
HU-2	Super Administrador, Adminstrador, Usuario	Acceder al sistema mediante la autenticación de usuarios	Poder Iniciar sesión	Should	1	Terminado
HU-3	Super Administrador, Adminstrador, Usuario	Recuperar la contraseña en caso de olvidarla o perderla	Ingresa al sistema	Should	1	Terminado
HU-4	Super Administrador, Adminstrador, Usuario	Visualizar y gestionar la información personal	Controlar y organizar los datos personales de cada usuario del sistema	Could	1	Terminado
HU-5	Super Administrador, Administrador, Usuario	Descargar gráficos de barras de la información urbanística	Generar informes y proporcionar una representación visual de los datos urbanísticos para su análisis y presentación	Could	1	Terminado
HU-6	Super Administrador, Adminstrador, Usuario	Realizar predicciones de crecimiento urbano de la ciudad de Pasto en un determinado año mediante un Chat Bot	Obtener gráficos de crecimiento urbano de la ciudad en un determinado año en específico	Must	2	Terminado

HU-7	Super Administrador, Administrador, Usuario	Realizar predicciones de crecimiento urbano por zonas de la ciudad mediante un Chat Bot	- Ver un panorama de crecimiento urbano en diferentes zonas de Pasto en un mapa interactivo	Must	2	Terminado
HU-8	Super Administrador, Administrador, Usuario	Contar con una función en el chat bot que permita ver la información de los mapas del sistema	El Chat Bot debe contar con una función para ver los mapas del sistema -Mapa de comunas -Mapa de densidades -Mapa de estratos -Mapa de equipamientos -Mapa de puntos (Opción 3 del Chat Bot)	Could	2	Terminado
HU-9	Super Administrador, Administrador, Usuario	Contar con una función en el chat bot que permita salir de las opciones de menú	El Chat Bot debe contar con una función para salir de las opciones de menú (Opción 4 del Chat Bot)	Could	2	Terminado
HU-10	Super Administrador, Administrador, Usuario	Guardar las predicciones de un determinado año en la base de datos del sistema	El sistema debe permitir almacenar las predicciones realizadas en la base de datos para brindar la seguridad de la información	Must	2	Terminado

HU-11	Super Administrador, Administrador, Usuario	Guardar las predicciones por zonas en la base de datos del sistema	El sistema debe permitir almacenar las predicciones realizadas en la base de datos para brindar la seguridad de la información	Must	2	Terminado
HU-12	Super Administrador, Administrador, Usuario	Buscar las predicciones de crecimiento urbano de la ciudad almacenadas en el sistema	Encontrar los gráficos de las diferentes predicciones de crecimiento urbano de la ciudad realizadas en el sistema	Should	2	Terminado
HU-13	Super Administrador, Administrador, Usuario	Buscar las predicciones de crecimiento urbano por zonas almacenadas en el sistema	Encontrar los gráficos de las diferentes predicciones de crecimiento urbano por zonas realizadas en el sistema	Should	2	Terminado
HU-14	Super Administrador, Administrador, Usuario	Visualizar las predicciones de crecimiento urbano de la ciudad almacenadas en el sistema	Ver diferentes gráficos de crecimiento tales como: - Gráfico de crecimiento urbano real de Pasto - Gráfico de crecimiento urbano predicho por el modelo predictivo a desarrollar - Gráfico comparativo entre crecimiento urbano real y crecimiento	Should	3	Terminado

			urbano real y crecimiento urbano predicho de Pasto - Gráfico que contiene la tabla de predicciones con los porcentajes de crecimiento urbano de Pasto			
HU-15	Super Administrador, Administrador, Usuario	Visualizar las predicciones de crecimiento urbano por zonas almacenadas en el sistema	- Ver un gráfico de barras demostrando el crecimiento residencial respecto a ciertas variables urbanísticas - Ver en un mapa interactivo el crecimiento urbano por zonas, mostrando las predicciones almacenadas en la base de datos	Should	3	Terminado
HU-16	Super Administrador	Asignar y gestionar los roles dentro del sistema	Poder tener control de la visualización o gestión de la información	Must	3	Terminado
HU-17	Administrador	Gestionar usuarios dentro del sistema	- Controlar el acceso a la información	Must	3	Terminado
HU-18	Super Administrador	Gestionar la información del repositorio urbanístico mediante los procesos:	Controlar y organizar toda la información de las variables urbanísticas del repositorio de	Must	4	Terminado

			datos			
			- Añadir - Editar - Eliminar - Buscar			
HU-19	Super Administrador, Administrador, Usuario	Visualizar la información del repositorio urbanístico	Poder obtener un panorama de la información urbanística de la ciudad de Pasto	Should	4	Terminado
HU-20	Super Administrador, Administrador	Realizar informes de la información del sistema, relacionada con cada uno de los módulos (usuarios, proyectos residenciales)	Tener un control de la información urbanística en documentos organizados y estructurados	Should	4	Terminado

Figura 15. Product Backlog de los Sprints 1,2,3,4

Además, para facilitar el envío de información desde la aplicación web al modelo predictivo, era necesario crear un puente de conexión. Por esta razón, se desarrolló un API que permitiera esta comunicación de manera efectiva.

Desarrollo e implementación de un API funcional

Se ha logrado implementar con éxito un API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) utilizando Flask que actúa como conexión entre el modelo predictivo y la aplicación web. Esta API permite el envío de datos desde la aplicación web hacia el modelo predictivo, proporcionando un mecanismo para que los usuarios puedan enviar información urbanística mediante formularios en la aplicación web para posteriormente recibir las predicciones del modelo predictivo y de esta manera lograr visualizarlas en el aplicativo web.

Características del API

- Interacción con el Modelo Predictivo: el API puede cargar al modelo predictivo desde el almacenamiento de la aplicación web o almacenamiento del sistema operativo y así realizar predicciones basadas en los datos que recibe de la aplicación web. Esto permite a los usuarios obtener resultados en tiempo real.
- Comunicación entre Aplicaciones: el API utiliza Flask para crear un endpoint (puntos de acceso) que la aplicación web puede usar para enviar datos. Este endpoint está diseñado para ser seguro y eficiente, permitiendo una comunicación fluida entre la aplicación web y el modelo.
- Integración de Formularios: la aplicación web cuenta con dos formularios que permiten a los usuarios enviar información desde la aplicación web hacia el modelo. En primer lugar, se tiene un formulario donde se puede ingresar un determinado año en específico, para realizar la respectiva predicción del crecimiento urbano.

La información proporcionada por los usuarios se envía al API, donde se genera la predicción utilizando un modelo predictivo. Esta predicción se visualiza en un gráfico que representa el crecimiento urbano proyectado y la variación anual desde 2022 hasta un año específico. Además, se almacena un gráfico estadístico en la carpeta "images" de la aplicación web, que ilustra el crecimiento real, la predicción del modelo en relación con el crecimiento real, y una comparación entre ambos, así como la predicción de crecimiento desde 2022 hasta el año ingresado por los usuarios.

En segundo lugar, se cuenta con un formulario donde se puede ingresar cierta información relacionada con diferentes variables urbanísticas y de esta forma realizar predicciones que permiten identificar las zonas con mayor o menor crecimiento urbano evaluado a partir de un índice de crecimiento.

La información proporcionada se envía al API, donde el modelo realiza la predicción a partir de los datos ingresados, que incluyen tipo de vivienda, cantidad de viviendas, morfología, precio, densidad poblacional, tipo de subsidio, longitud y latitud. Estos datos, enviados desde la aplicación web, son analizados por el modelo para generar una predicción. Como resultado, se crea un punto geoespacial en un mapa interactivo que

representa un índice de crecimiento basado en las variables urbanísticas ingresadas. Esto permite obtener una visión general de las zonas de Pasto con mayor y menor crecimiento urbano.

- Manejo de Respuestas y Errores: el API está configurada para manejar respuestas adecuadamente y reportar errores si algo sale mal. Esto garantiza que los usuarios obtengan respuestas claras y útiles cuando interactúan con la aplicación web.

Desarrollo e implementación de la herramienta asistente UrbanPredictor (ChatBot)

UrbanPredictor es un chatbot diseñado para mejorar la experiencia del usuario en la aplicación web JMM URBAN VISION, facilitando el envío de datos al API de manera eficiente. Este asistente cuenta con varias funciones que permiten optimizar la interacción y la recolección de información relevante para la predicción urbanística.

1. Envío de Datos de Predicción por años:
 - Seleccionar Opción 1: envío de datos para realizar una predicción de crecimiento urbano en un determinado año.
 - Diligenciamiento del ID de predicción.
 - Diligenciamiento del año de predicción.
2. Envío de Datos de Predicción por zonas:
 - Seleccionar Opción 2: envío de datos para realizar una predicción de crecimiento urbano por zonas en la ciudad de Pasto.
 - Diligenciamiento del código del proyecto.
 - Diligenciamiento del tipo de vivienda.
 - Diligenciamiento de la morfología.
 - Diligenciamiento del subsidio de vivienda.
 - Diligenciamiento del tamaño de la vivienda.
 - Diligenciamiento del precio de la vivienda.
 - Diligenciamiento de la densidad poblacional.
 - Diligenciamiento de la longitud y latitud del proyecto residencial.

Casos de prueba para el Aplicativo Web, Api, y ChatBot

Se llevaron a cabo casos de prueba exhaustivos para el aplicativo web, el API y el chatbot, asegurando que todas las funciones operan según lo esperado. Estos casos de prueba permitieron verificar que cada una de las funcionalidades descritas en las historias de usuario y en el Product Backlog se implementan correctamente, garantizando así la calidad y eficiencia del sistema. Este proceso no solo valida el correcto funcionamiento de las herramientas, sino que también asegura una experiencia óptima para el usuario final, (Acceso a los casos de prueba).

Validación en el uso del aplicativo web por parte de expertos

Para la validación del aplicativo web, se llevó a cabo un proceso de encuestas con el objetivo de evaluar su funcionalidad. Las encuestas destacaron aspectos como la comprensión y la facilidad de uso, así como la apreciación del diseño, los colores, las interfaces y la tipografía. También se indagó sobre el rendimiento del aplicativo, evaluando si este era ágil y rápido para los encuestados, quienes son expertos en el área de la informática y han cursado o están cursando carreras relacionadas con esta disciplina.

Resultados obtenidos de las encuestas

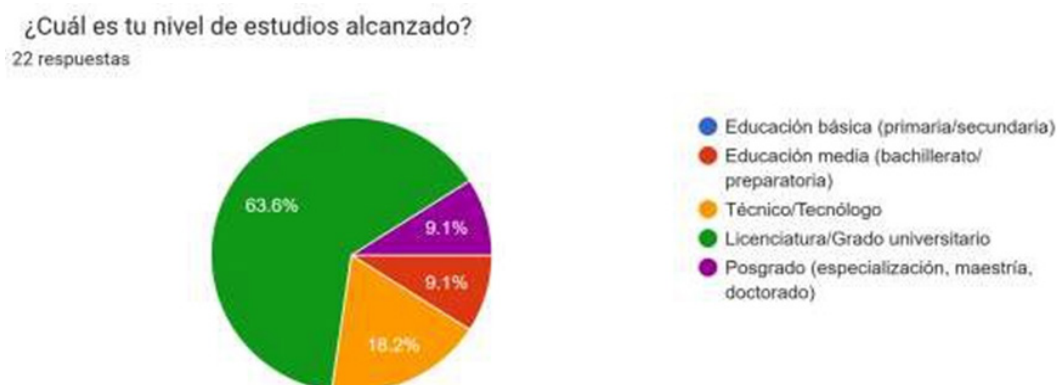


Figura 16. Diagrama de pastel del nivel de estudios de los encuestados

¿Cuántos años de experiencia tienes utilizando cualquier tipo de aplicación en general? Ejemplos de aplicaciones: Mercado Libre, Google Maps, Whatsapp Web, Facebook.
22 respuestas

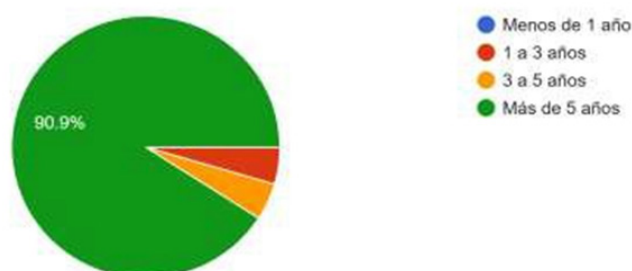


Figura 17. Diagrama de pastel de los años de experiencia en el uso de aplicaciones en general, por parte de los encuestados

¿Cuál es tu nivel de comodidad utilizando nuevas tecnologías?
22 respuestas

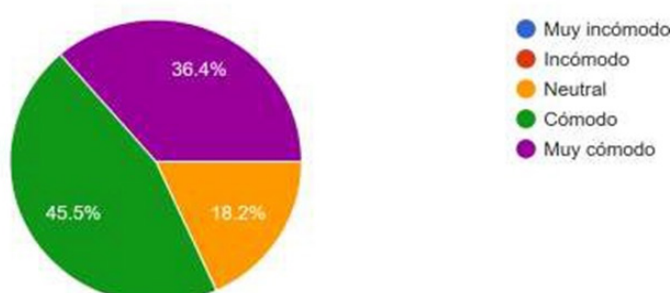


Figura 18. Diagrama de pastel del nivel de comodidad en la utilización de nuevas tecnologías por parte de los encuestados

¿Cómo preferirías recibir ayuda o soporte técnico cuando tienes problemas con cualquier aplicación? (Puedes seleccionar mas de una opción)
22 respuestas

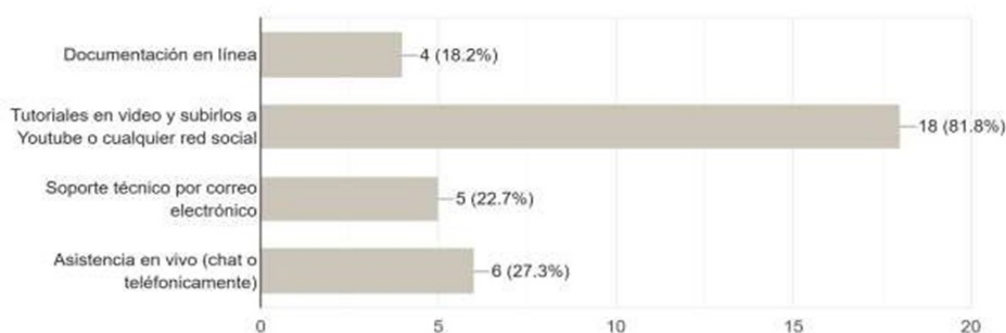


Figura 19. Diagrama de pastel en la preferencia del canal de comunicación para recibir soporte, por parte de los encuestados

¿Crees que al utilizar la aplicación web se adquirirá nuevos conocimientos referentes al crecimiento urbano o a la tecnología en general?
22 respuestas

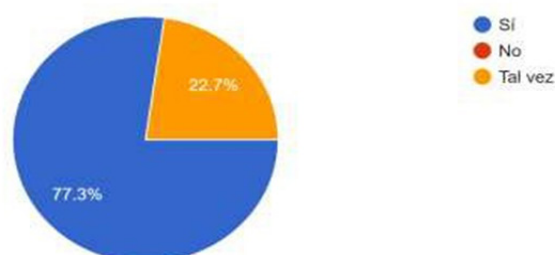


Figura 20. Diagrama de pastel para identificar la motivación principal en la utilización del aplicativo web por parte de los encuestados

¿Cómo calificarías el diseño general del software? (1 = Muy pobre, 5 = Excelente)
22 respuestas

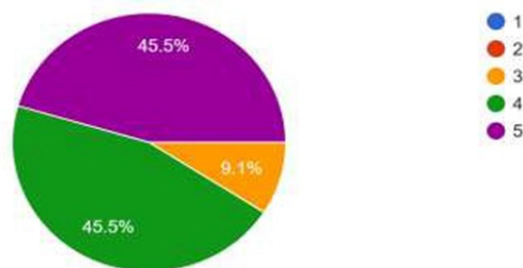


Figura 21. Diagrama de pastel para conocer la posibilidad de que los encuestados adquirirán nuevos conocimientos respecto a crecimiento urbano

¿Qué tan atractivos son los colores utilizados en la interfaz? (1 = Muy poco atractivos, 5 = Muy atractivos)
22 respuestas

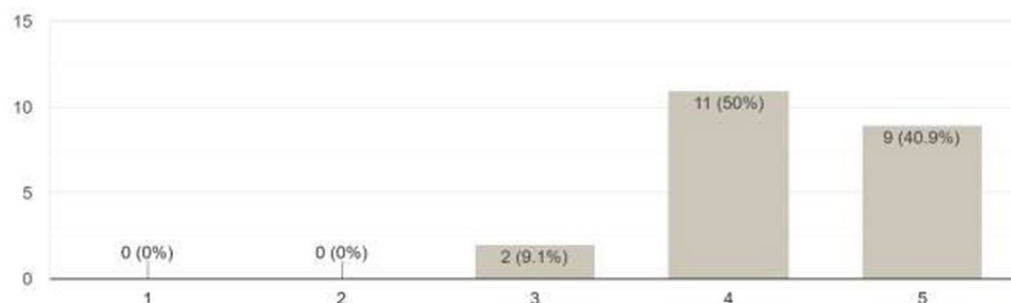


Figura 22. Calificación del diseño en general del aplicativo web por parte de los encuestados

¿Qué tan intuitivos te parecen los botones y opciones de la interfaz? (1 = Muy poco intuitivos, 5 = Muy intuitivos)
22 respuestas

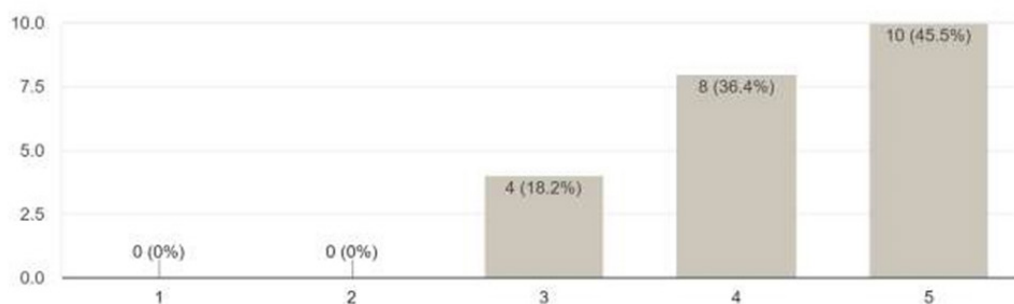


Figura 23. Gráfico de barras calificando el nivel de atraktividad de los colores de la aplicación web por parte de los encuestados

¿Qué tan atractivos son los colores utilizados en la interfaz? (1 = Muy poco atractivos, 5 = Muy atractivos)
22 respuestas

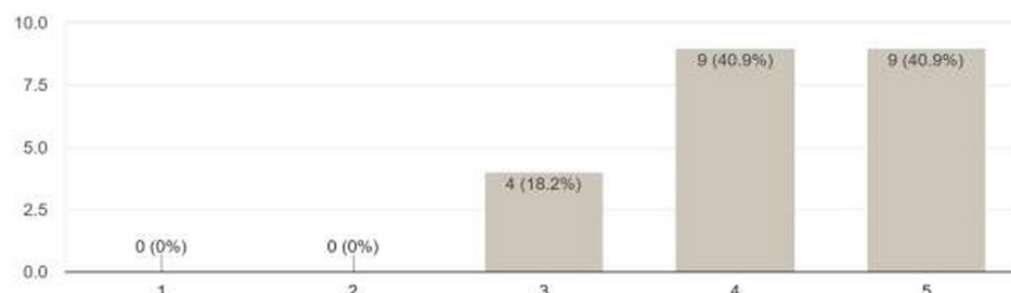


Figura 24. Calificación del nivel de atraktividad de los botones y menú de opciones por parte de los encuestados

¿Los colores utilizados son agradables a la vista? (1 = Muy desagradables, 5 = Muy agradables)
22 respuestas

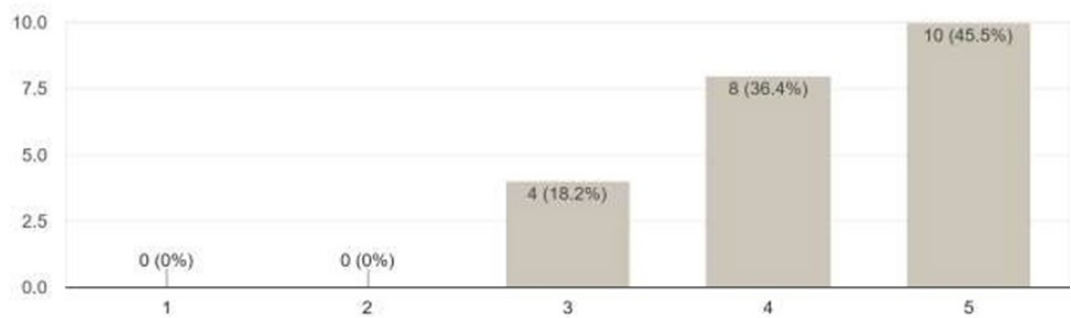


Figura 25. Calificación del nivel de atractividad de los colores de las interfaces del aplicativo web

¿Cómo calificarías la tipografía utilizada en el software? (1 = Muy mala, 5 = Muy buena)
22 respuestas

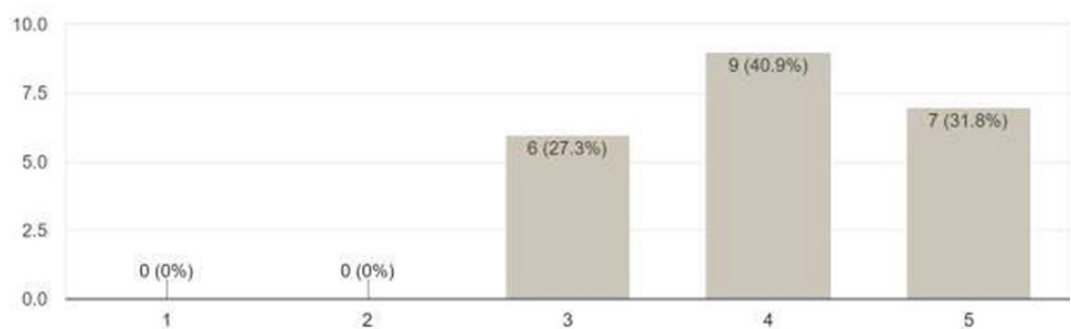


Figura 26. Calificación de los colores del aplicativo web respecto a que si son agradables o no a la vista

¿Cómo calificarías la tipografía utilizada en el software? (1 = Muy mala, 5 = Muy buena)
22 respuestas

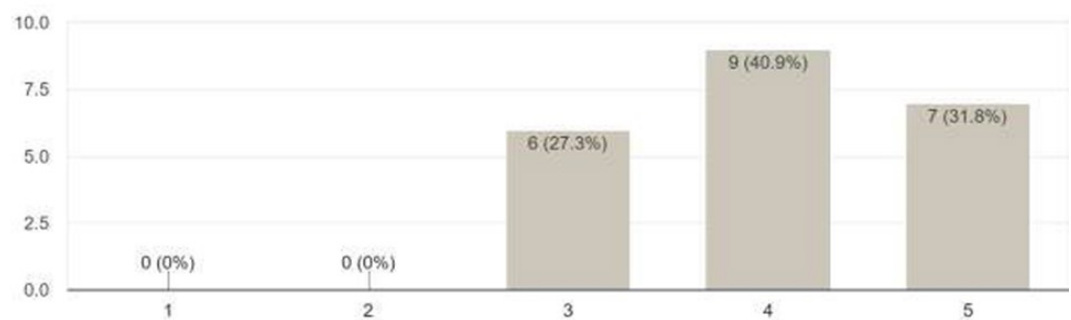


Figura 27. Calificación de la tipografía del aplicativo web por parte de los encuestados

¿La tipografía es legible y apropiada para su uso?
22 respuestas

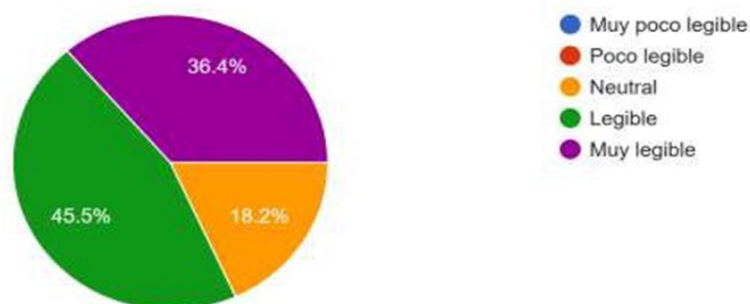


Figura 28. Determinación de la legibilidad de la tipografía del aplicativo web

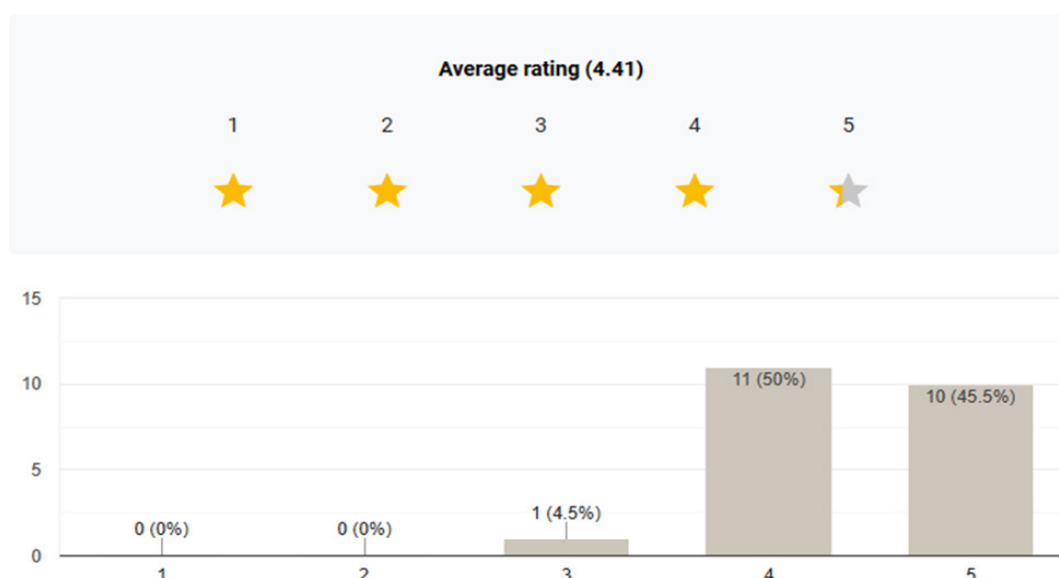


Figura 29. Calificación de la facilidad de uso del aplicativo web

¿Cómo calificarías la comprensión de la funcionalidad del software de acuerdo al video demostrativo?

22 respuestas



Figura 30. Calificación del nivel de comprensión de la funcionalidad del aplicativo web

Desarrollo de un modelo predictivo eficiente

Después de un proceso de desarrollo riguroso y exitoso, se completó la creación de un modelo predictivo capaz de realizar predicciones sobre el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto para el periodo comprendido entre 2000-2022, así como para escenarios futuros. Este modelo fue construido con el propósito adicional de encontrar patrones y tendencias en los datos recolectados, permitiendo así prever el posible desarrollo urbano de la ciudad en los próximos años.

El modelo se fundamenta en un conjunto sólido de datos históricos sobre proyectos residenciales, uso del suelo, infraestructura y otros factores clave relacionados con el crecimiento urbano en Pasto. Utilizando técnicas avanzadas de aprendizaje automático y análisis estadístico, el modelo fue entrenado para identificar relaciones significativas entre estas variables. Esto proporciona una base para predecir el crecimiento urbano de la ciudad en los próximos años, así como las áreas con mayor o menor crecimiento.

La eficacia del modelo se comprobó utilizando métricas como el coeficiente de determinación (R^2) y el error cuadrático medio (MSE), que indican el rendimiento del modelo respecto a los datos y la precisión de sus predicciones, respectivamente. Durante el proceso de evaluación, el modelo alcanzó un R^2 de 0,96 y MSE de 0,003, lo que demuestra una fuerte correlación entre las predicciones del modelo y los datos reales. El MSE se mantuvo dentro de un rango aceptable, indicando que los errores de predicción eran bajos y que el modelo podría generalizarse eficazmente a datos futuros, además que en el proceso de validación cruzada se obtuvieron buenos resultados, con un coeficiente R^2 de 0,94 y un MSE de 0,004 demostrando un rendimiento eficiente del modelo con nuevos datos urbanísticos de la ciudad de Pasto.

Para el desarrollo del modelo predictivo, se empleó la metodología CRISP-DM (Cross- Industry Standard Process for Data Mining) como marco de referencia. Esta metodología proporcionó un enfoque estructurado y sistemático que abarcó todas las fases del proceso, desde la comprensión del negocio y la preparación de los datos hasta la modelización y la evaluación. Al seguir los pasos de CRISP-DM, se garantizó que cada etapa del

desarrollo fuera rigurosa y alineada con los objetivos del proyecto, facilitando así la generación de un modelo predictivo robusto y efectivo.

Desglose de las fases o etapas consideradas para el desarrollo del modelo predictivo:

1. Comprensión del Negocio (Business Understanding)

- Objetivos de la investigación.
 - a) Objetivo general: determinar escenarios interactivos de crecimiento urbano en la ciudad de Pasto mediante un producto software apoyado por un modelo predictivo.
 - b) Objetivos específicos:
 - Generar un repositorio de información de los escenarios interactivos de crecimiento urbano en la ciudad de Pasto.
 - Desarrollar un software que permita gestionar la información de los diferentes escenarios dinámicos de crecimiento urbano de la ciudad de Pasto, así como también la información obtenida durante el proceso investigativo.
 - Aplicar el modelo predictivo utilizando analítica de datos como módulo de simulación en el producto software.
- Definición de los objetivos del modelo y el problema que se busca resolver.
 - a) Analizar y predecir el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto en general.
 - b) Analizar y predecir el crecimiento urbano por zonas de la ciudad de Pasto.
 - c) Definición de la pregunta problema: ¿Cómo ha evolucionado el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto entre los años 2000 y 2022, evaluado mediante escenarios dinámicos y un modelo predictivo respaldado por un producto software?

Nota: con la creación del modelo predictivo se busca resolver el objetivo específico 3 de la investigación.

2. Comprensión de los Datos (Data Understanding)

- Selección de las técnicas de recolección de la información.
- Recolección de datos urbanísticos necesarios y relevantes para el modelo predictivo.
- Exploración y análisis de los datos para obtener información sobre su calidad, estructura y contenido.
- Identificación de problemas o limitaciones en los datos, como valores faltantes o inconsistencias.

Cantidad de viviendas en total		Nombre del proyecto		Tipo de vivienda (BIFAMILIAR)		Tipo de vivienda (MULTIFAMILIAR)		Tipo de vivienda (UNIFAMILIAR)		Tipo de vivienda (VIVIENDA COMERCIAL)		Tipo de vivienda (INTERES SOCIAL)	
Estrato vivienda(0)	Estrato vivienda(1)	Estrato vivienda(2)	Estrato vivienda(3)	Estrato vivienda(4)	Estrato vivienda(5)	Estrato vivienda(6)	Estrato vivienda(N/A)	Precio promedio viviendas					
Año de inicio 2003	Año de inicio 2005	Año de inicio 2006	Año de inicio 2008	Año de inicio 2009	Año de inicio 2010	Año de inicio 2011	Año de inicio 2012	Año de inicio 2013					
Año de inicio 2014	Año de inicio 2015	Año de inicio 2016	Año de inicio 2017	Año de inicio 2018	Año de inicio 2019	Año de inicio 2020	Año de inicio 2021	Año de inicio 2022					

Figura 31. Encabezados del repositorio urbanístico agrupado por barrios

3. Preparación de los Datos (Data Preparation)

- Limpieza y preprocesamiento de los datos para que sean adecuados para el análisis.
- Transformación de los datos según sea necesario, aplicando MinMaxScaler() como proceso de escalamiento, además de Flatten para el proceso de aplanamiento de los datos.
- Creación de conjuntos de datos de entrenamiento y prueba.

```
# Lectura del archivo excel
df1 = pd.read_excel(file_path)

# Eliminar filas con valores nulos del repositorio que esta en el archivo
df = df1.dropna()
```

Python

Figura 32. Limpieza de valores nulos del repositorio urbanístico

```
scaler = MinMaxScaler() # Escalar en el rango [0, 1]
datos_num = scaler.fit_transform(datos)
```

Python

Figura 33. Escalamiento de los datos del repositorio urbanístico

```
# Convertir `y` a 1D usando `flatten`
y_1d = y.flatten()
```

Python

Figura 34. Aplanamiento de la variable objetivo

```
# Separación de los datos en datos de entrenamiento y de prueba
X_train1, X_test1, y_train1, y_test1 = train_test_split(X_scaled1, y_1d, test_size=0.2, random_state=42)
```

Python

Figura 35. Separación de los datos del repositorio urbanístico en datos de entrenamiento y prueba

4. Modelado (Modeling)

- Selección de las técnicas y algoritmo de aprendizaje automático adecuado para el modelado.
- Entrenamiento del modelo y ajuste de los hiperparámetros para mejorar su rendimiento.
- Validación del modelo utilizando el conjunto de datos de prueba.

Modelo de aprendizaje automático	r2	MSE
DecisionTreeRegressor()	0,965	0,003
RandomForestRegressor()	0,908	0,990
LinearRegression()	0,198	8,673
Ridge()	0,200	8,656
SVR()	0,424	6,227
Lasso()	-0,005	10,877
KNeighborsRegressor()	0,916	0,899

Figura 36. Comparativa de modelos de aprendizaje automático de regresión

Nota: antes de la creación del modelo, se realizó una comparativa de diferentes modelos de aprendizaje automático para seleccionar el más adecuado para la investigación en curso. Dicho proceso se llevó a cabo mediante la comparación de sus coeficientes r2 y MSE como se muestra en la figura 36, de tal forma que entre más se acerque r2 (coeficiente de determinación) a 1 y MSE (promedio de las diferencias al cuadrado entre los valores predichos y reales) sea el menor valor posible, permitirá identificar el mejor modelo. Por ende; DesicionTreeRegressor () es que el mejor se ajusta a las anteriores condiciones.

```

modelo_arbol = DecisionTreeRegressor(
    random_state=42,
    min_samples_leaf=1, # Mínimo 1 muestra por hoja
    min_samples_split=2 # Mínimo 2 muestras para dividir un nodo
)

```

Python

Figura 37. Creación del modelo (árbol de decisión de regresión)

```

modelo_arbol.fit(X_train1, y_train1)

```

Python

▼ DecisionTreeRegressor ⓘ ?

DecisionTreeRegressor(random_state=42)

Figura 38. Entrenamiento del modelo (árbol de decisión de regresión)

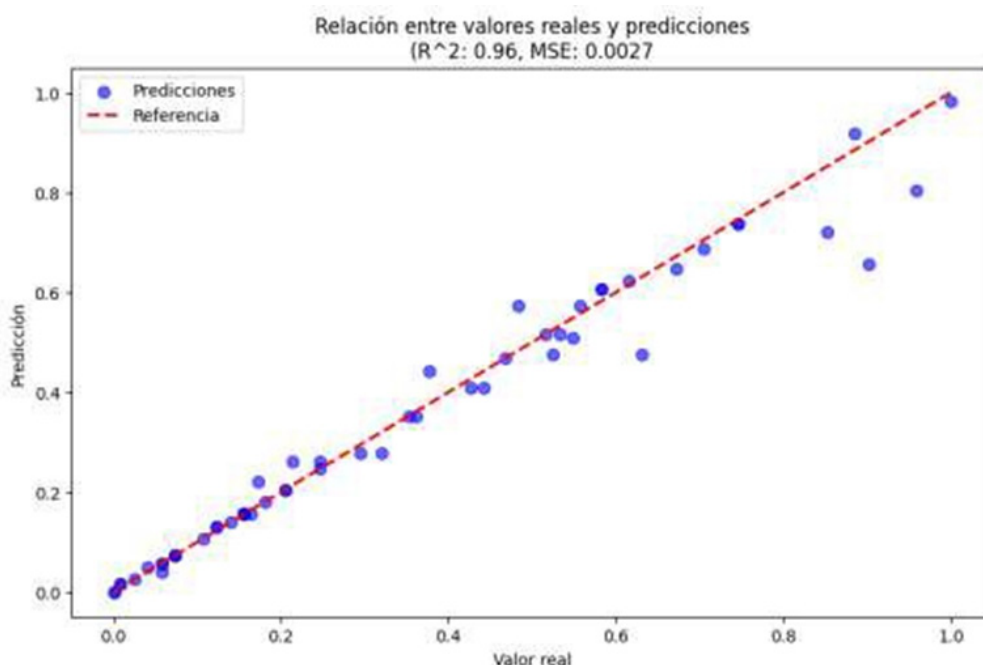


Figura 39. Validación del modelo (árbol de decisión de regresión)

5. Evaluación (Evaluation)

- Evaluación del rendimiento del modelo verificando si cumple con los objetivos del negocio.
- Realización de pruebas adicionales para asegurar que el modelo sea robusto y generalizable.

```

# Realizar validación cruzada con 9 pliegues para calcular el MSE
cv_scores = cross_val_score(modelo_arbol, X_scaled1, y_1d, cv=6, scoring='neg_mean_squared_error')

# Convertir a valores positivos para obtener el MSE real
cv_scores = -cv_scores # Convierte el MSE a positivo

# Imprimir resultados del MSE
print("MSE Scores:", cv_scores) # MSE para cada pliegue
print("Mean MSE:", np.mean(cv_scores)) # Promedio de los MSE

```

✓ 0.0s Python

MSE Scores: [0.00424533 0.00126081 0.00027446 0.00047316 0.00800946 0.005312]

Mean MSE: 0.0032625382151522607

Figura 40. Validación cruzada del MSE del modelo (árbol de decisión de regresión)

```

# Realizar validación cruzada con 9 pliegues para calcular el MSE
cv_scores = cross_val_score(modelo_arbol, X_scaled1, y_1d, cv=6, scoring='r2')

# Convertir a valores positivos para obtener el MSE real
cv_scores = cv_scores # Convierte el MSE a positivo

# Imprimir resultados del MSE
print("MSE R2:", cv_scores) # MSE para cada pliegue
print("Mean R2:", np.mean(cv_scores)) # Promedio de los MSE

```

✓ 0.0s Python

MSE R2: [0.92234224 0.97723786 0.99597407 0.98494665 0.89872006 0.90938974]
Mean R2: 0.9481017704147909

Figura 41. Validación cruzada del r2 del modelo (árbol de decisión de regresión)

6. Despliegue (Deployment)

- Implementación del modelo en un entorno de ejecución.
- Revisión del proceso completo de predicción para asegurar que el modelo es adecuado para la implementación.
- Interpretación de los resultados del modelo.

```

* Serving Flask app '__main__'
* Debug mode: on
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment. Use a production WSGI server instead.
* Running on http://127.0.0.1:5000
Press CTRL+C to quit

```

Figura 42. Servidor donde se ejecuta el modelo (árbol de decisión de regresión)

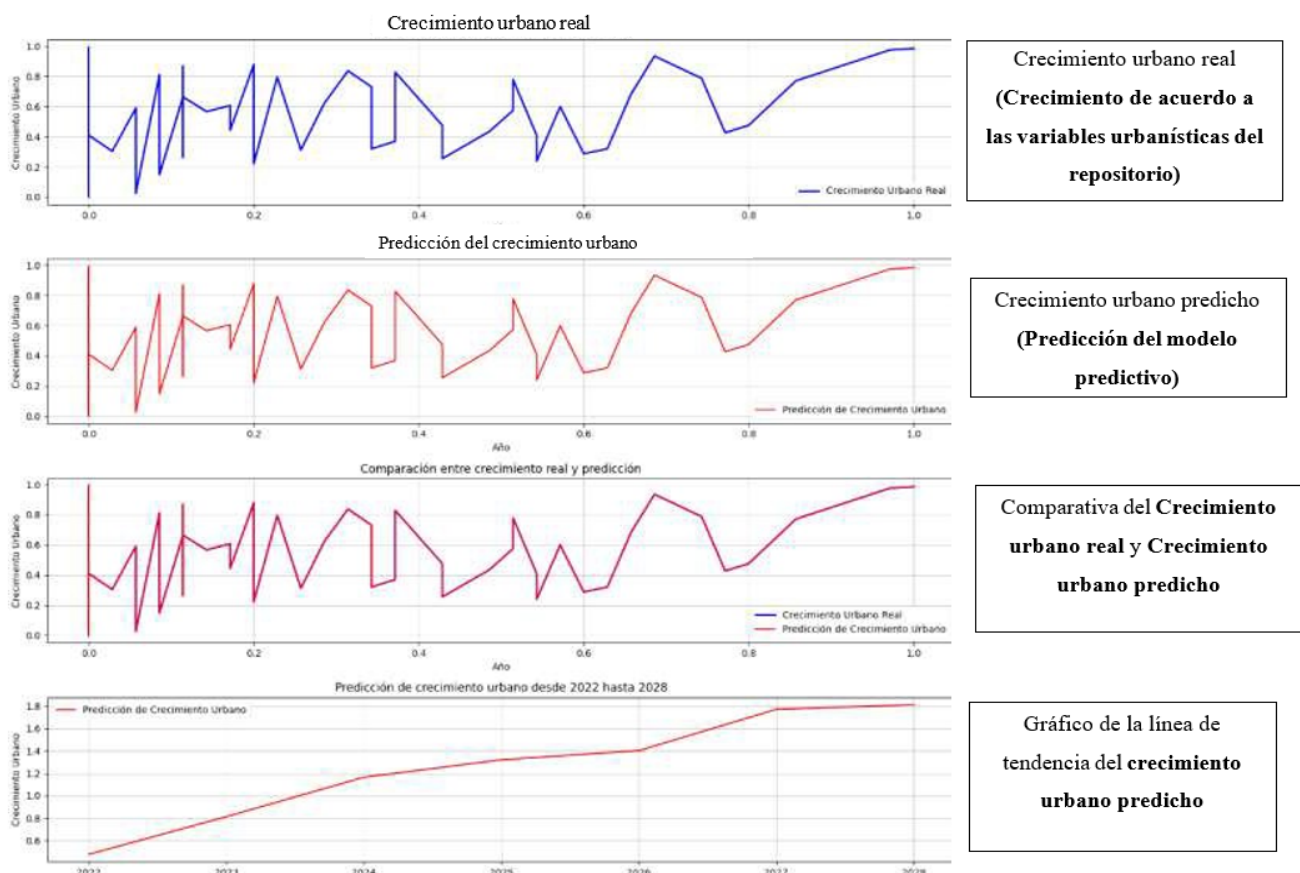


Figura 43. Gráfico de crecimiento urbano real y crecimiento urbano predicho generado por el modelo predictivo

7. Apoyo de un docente experto en inteligencia artificial para el desarrollo del modelo
- El docente experto Héctor Andrés Mora Paz cuenta con amplia experiencia en el campo de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, respaldada por su trayectoria en proyectos de análisis de datos y desarrollo de modelos predictivos. Su conocimiento en metodologías avanzadas de IA ha sido fundamental para orientar la creación del modelo, aportando estrategias precisas y optimizaciones clave para mejorar la precisión y eficiencia de las predicciones.
 - Es importante considerar la hoja de vida del docente experto, donde detalla su experiencia profesional y logros en el área de la inteligencia artificial respaldando su apoyo en la investigación (Link hoja de vida).

Investigaciones adicionales y logros alcanzados

A lo largo del proceso de desarrollo del proyecto, este ha obtenido importantes reconocimientos en exposiciones regionales, destacando la participación en la Universidad Cesmag y en semilleros de investigación. También se ha participado con el proyecto en congresos de carácter nacional e internacional, como el Congreso Internacional Safaris Tech. Entre los logros destacados se tiene, un primer puesto alcanzado en la convocatoria de proyectos de investigación del 2022. Además, se logró el segundo lugar en la Conferencia Regional de Semilleros logrando así la clasificación para una participación en Ibarra, Ecuador, así como el tercer puesto en el Congreso Nacional de Semilleros realizado en la Universidad Cesmag. De igual forma, se han desarrollado dos artículos investigativos que documentan el desarrollo del proyecto, (Acceso a certificaciones y logros obtenidos), (Acceso a los artículos desarrollados).

- Manuales de instalación, requisitos y configuración del aplicativo web, api, chat bot y modelo predictivo:
- Manual de usuario.
 - Manual de instalación.
 - Ficha de catalogación.
 - Documento técnico de requisitos.

Análisis de resultados

El análisis de escenarios dinámicos relacionados con el crecimiento urbano de la ciudad de Pasto se ha llevado a cabo mediante el estudio de diversas variables urbanísticas. Estas variables, que proporcionan un marco integral para entender las dinámicas de desarrollo en diferentes zonas, serán representadas a través de gráficos estadísticos, lo que permitirá visualizar de manera efectiva las tendencias y relaciones entre los factores que influyen en el crecimiento urbano.

Desglose de variables urbanísticas y resultados tabulares y/o estadísticos

Nombre del Proyecto: identificación de cada proyecto residencial, fundamental para referenciar y analizar el número de registros referentes a los proyectos construidos entre los años 2000 y 2022.

Tabla 1. Total de proyectos residenciales de la ciudad de Pasto	
Número total de proyectos residenciales construidos entre 2000 y 2022	17 047



Figura 44. Comparativa de Residencias, Edificios y Conjuntos de Pasto

Conjuntamente, considerando el crecimiento urbano, la arquitectura más adecuada podría ser un enfoque mixto entre conjuntos residenciales y edificios. Esto se debe a los siguientes factores:

- **Optimización del Espacio:** Edificios (con 432 proyectos) ocupan menos superficie de suelo para la misma cantidad de personas en comparación con residencias unifamiliares. Esto permite mayor densidad poblacional y optimiza el uso del suelo, reduciendo la expansión horizontal de la ciudad. Conjuntos residenciales (3367 proyectos) permiten mantener un entorno de baja altura, pero con la ventaja de agrupar varias viviendas, creando mini-comunidades y mejorando la eficiencia del uso del suelo frente a las residencias unifamiliares.
- **Sostenibilidad y Preservación del Entorno:** Un enfoque mixto, favoreciendo conjuntos y edificios en áreas urbanas, puede ayudar a reducir la expansión urbana descontrolada hacia áreas rurales o de reserva ecológica. Esto es clave para la sostenibilidad, ya que disminuye la necesidad de nuevas infraestructuras de transporte, agua y energía en áreas alejadas del centro urbano.
- **Acceso a Infraestructura y Servicios:** Al tener mayor densidad poblacional en menos espacio, como en el caso de los edificios y conjuntos, la ciudad puede concentrar y mejorar los servicios públicos (transporte, educación, salud) en un área más reducida, lo que reduce costos y mejora el acceso a la infraestructura.
- **Flexibilidad y Adaptabilidad al Crecimiento:** Conjuntos residenciales ofrecen un punto medio: permiten cierto nivel de densidad sin renunciar a un diseño de baja altura, más adecuado en barrios o zonas donde la infraestructura aún no soporta edificios altos. En áreas con alta demanda y buena infraestructura, edificios serían la opción óptima, maximizando la capacidad de la zona sin necesidad de expansión horizontal. De esta manera, utilizando phpmyadmin y la consulta, “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` where `tipo\_vivienda`='Edificio' ORDER BY `locations`.`id\_barrio` ASC;” obtenemos la lista de los barrios que cumplen la primera condición donde el proyecto residencial sea un edificio. Ahora bien; para conocer cuáles son los barrios o proyectos que pertenezcan a un conjunto realizamos la siguiente consulta “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` where `tipo\_vivienda`='Conjunto' ORDER BY `locations`.`id\_barrio` ASC;”, obteniendo así los barrios que cumplen la segunda condición.

Ahora para tener claros los barrios que han tenido un impacto en su crecimiento urbano, considerando el tipo de vivienda de cada proyecto se tiene:

- En primer lugar, se tiene la lista de todos los barrios con su respectivo id que se han obtenido durante la investigación.
- En segundo lugar, se tiene las listas de los barrios obtenidos en las consultas anteriores considerando la variable tipo de vivienda

Zona de Riesgo o Amenaza: evaluación de las áreas susceptibles a desastres naturales, esencial para identificar limitaciones en el crecimiento urbano y planificar de manera segura.



Figura 45. Número de proyectos considerando su zona de riesgo

La gráfica muestra el número de proyectos clasificados por su exposición a diferentes zonas de riesgo: proyectos sin zona de riesgo, amenaza por deslizamiento, colapso por minería, y amenaza por inundación. El análisis definitivo para el crecimiento urbano considerando estos datos podría enfocarse en los siguientes aspectos:

- **Priorización de Zonas Seguras:** con un número abrumador de proyectos (14 688) que no presentan riesgo, es claro que la mayoría de las construcciones están en zonas seguras. Esto es positivo para el desarrollo urbano, ya que proyectos en áreas de bajo riesgo tienden a ser más sostenibles y requieren menos intervenciones para mitigar riesgos ambientales.
- **Consideración de Políticas de Zonificación y Uso de Suelo:** las zonas que presentan riesgo de deslizamiento, colapso por minería o inundación representan una pequeña fracción de los proyectos, pero es importante que estas áreas tengan regulaciones estrictas. Las políticas de zonificación deben prohibir o restringir construcciones en áreas de alto riesgo para evitar daños futuros y altos costos de mitigación.
- **Planificación de Infraestructura de Mitigación:** para los proyectos en zonas de riesgo (especialmente las 1142 amenazadas por minería y 1057 por inundación), el crecimiento urbano debería integrar infraestructura de mitigación (muros de contención, drenaje adecuado, entre otros). La construcción en estas zonas debe incluir evaluaciones detalladas para reducir el impacto de posibles desastres.
- **Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible:** evitar la expansión urbana en áreas de riesgo promueve un desarrollo urbano más sostenible y menos invasivo, conservando áreas naturales y minimizando la modificación de ecosistemas sensibles.
- **Incentivos para la Reubicación o Remodelación de Proyectos:** las áreas con riesgos significativos, como la minería o deslizamientos, podrían beneficiarse de incentivos para reubicar proyectos existentes o remodelarlos con mejoras de seguridad. Esto reduce la exposición al riesgo y mejora la resiliencia de la ciudad frente a posibles desastres.

Ahora para tener claros los barrios que han tenido un impacto en su crecimiento urbano, considerando la zona de riesgo de cada proyecto se tiene: al utilizar phpmyadmin y la consulta, “select DISTINCT(`id\_barrio`) from locations where `zona\_riesgo` = 'Sin Riesgo' ORDER BY `locations`.`id\_barrio` ASC;” obtenemos la lista de los barrios que cumplen la condición donde los proyectos residenciales no hayan sido construidos en una zona con cualquier tipo de riesgo natural, permitiendo identificar los barrios que han tenido un crecimiento urbano positivo.

- En primer lugar, se tiene la lista de todos los barrios con su respectivo id que se han obtenido durante la investigación.
- En segundo lugar, se tiene la lista de los barrios obtenidos mediante las consultas considerando además la variable zona de riesgo.

Estructura Ecológica Principal: identificación de elementos naturales que sustentan el ecosistema, vital para garantizar que el desarrollo urbano no comprometa la biodiversidad.

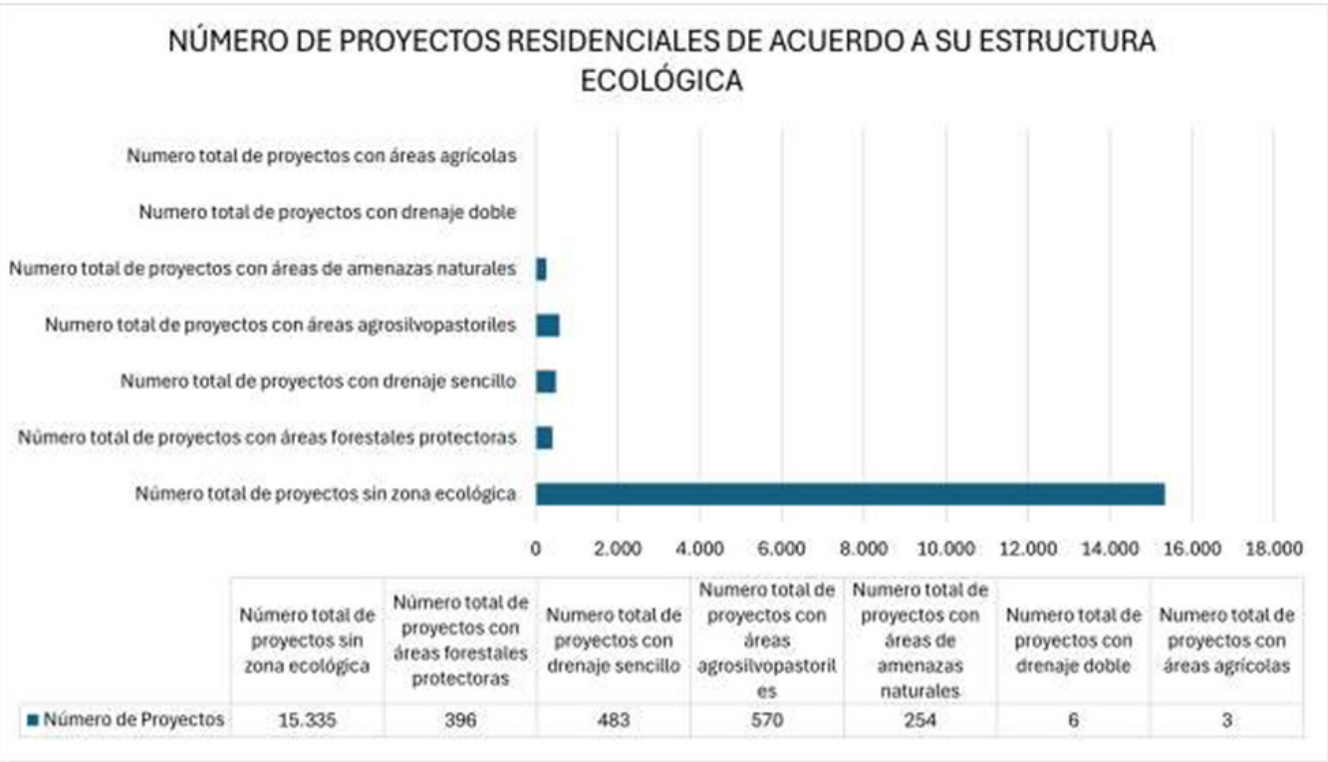


Figura 46. Número de proyectos considerando su estructura ecológica

La gráfica muestra el número de proyectos residenciales clasificados según su estructura ecológica. La mayoría de estos proyectos (15 335) están en zonas sin estructura ecológica, mientras que un número mucho menor se encuentra en áreas con características ecológicas como áreas forestales protectoras, áreas agrícolas, drenaje (sencillo o doble), y amenazas naturales.

Aquí están los puntos clave para el análisis del crecimiento urbano:

- **Predominancia de Zonas sin Estructura Ecológica:** el alto número de proyectos en zonas sin estructura ecológica indica que la expansión urbana se ha dado mayormente en áreas que no poseen valor ecológico significativo. Esto puede facilitar la construcción sin limitaciones ambientales, pero también podría indicar una pérdida de equilibrio en la relación urbano-ecológica de la ciudad.
- **Oportunidad para Infraestructura Verde y Desarrollo Sostenible:** dado que muy pocos proyectos se desarrollan en áreas con protección forestal o agrícola, el crecimiento urbano podría beneficiarse al integrar infraestructura verde en estas zonas. Esto podría incluir la creación de corredores ecológicos, espacios verdes y áreas de amortiguación que promuevan un entorno urbano más saludable y con menor impacto ambiental.
- **Mitigación de Riesgos Ambientales en Áreas Naturales:** solo 254 proyectos están en áreas de amenazas naturales y 570 en zonas agro- silvopastoriles. Esto sugiere que, aunque hay una presencia de proyectos en áreas sensibles, el número es bajo. No obstante, las construcciones en estas áreas deben ser cuidadosamente planificadas para no alterar los ecosistemas, reducir riesgos y conservar los recursos naturales.
- **Consideración de Estructuras de Drenaje:** el número reducido de proyectos con drenaje (sencillo o doble) sugiere una posible falta de infraestructura de drenaje en las nuevas construcciones. El crecimiento urbano debe asegurar que los proyectos futuros en zonas susceptibles a inundaciones incluyan sistemas de drenaje adecuados para evitar problemas de erosión y acumulación de agua.
- **Protección de Áreas Forestales y Agrícolas:** con solo 396 proyectos en áreas forestales protectoras y 6 en áreas agrícolas, parece que el crecimiento urbano no ha impactado gravemente estas zonas. Sin embargo, esto también refleja la necesidad de implementar políticas de conservación más estrictas para proteger los ecosistemas restantes y evitar la urbanización de estas áreas en el futuro.

De esta forma, considerando un crecimiento urbano con un enfoque sostenible y enfocándose en mantener un balance entre expansión y conservación ecológica se tiene que los barrios que presentan áreas forestales protectoras o áreas agrícolas se los obtiene respectivamente: en primera instancia, realizando la siguiente consulta en el repositorio urbanístico; “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` WHERE `estructura\_ecologica`='Áreas forestales protectoras';”, de igual forma se tiene la siguiente consulta; “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` WHERE `estructura\_ecologica`='Áreas agrícolas';”.

- En primer lugar, se tiene la lista de todos los barrios con su respectivo id que se han obtenido durante la investigación.
- En segundo lugar, se tienen las listas de los barrios obtenidos durante las anteriores consultas teniendo en cuenta la variable estructura ecológica.

Cantidad de Viviendas: total de unidades habitacionales, que permite analizar la capacidad de cada zona para albergar población y su crecimiento.

Tabla 2. Cantidad de viviendas de los proyectos residenciales de Pasto

Cantidad total de viviendas considerando cada proyecto residencial	27 653
--	--------

La anterior tabla que muestra la cantidad total de viviendas es un componente clave en el estudio del crecimiento urbano, ya que proporciona datos esenciales para análisis, planificación y toma de decisiones informadas, el valor mostrado se lo obtiene mediante la consulta; “SELECT sum(`cantidad\_viviendas`) FROM `locations`;”, en el repositorio urbanístico.

Tipo de Vivienda (Morfología): característica enfocada en el diseño y forma de las edificaciones, donde se las puede categorizar como unifamiliares, bifamiliares, y multifamiliares.

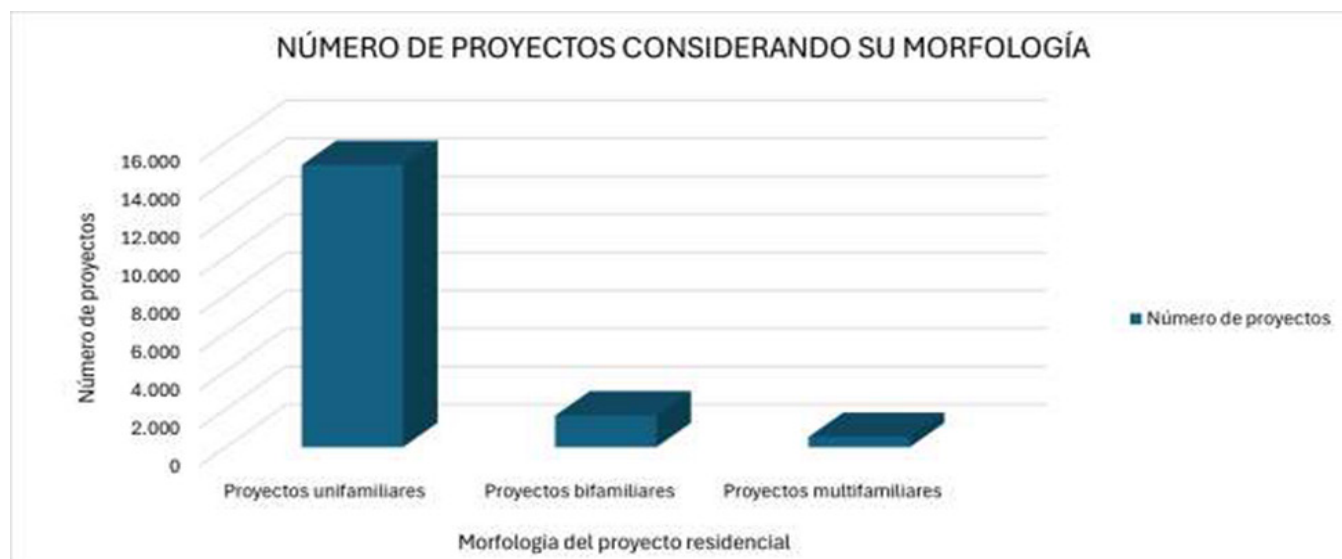


Figura 47. Número de proyectos considerando su morfología

Para un crecimiento urbano sostenible y eficiente, los tipos de morfología residencial más adecuados serían los proyectos multifamiliares y bifamiliares. Aquí se explica por qué estos tipos son beneficiosos en el contexto de crecimiento urbano:

Proyectos Multifamiliares (Edificios de Apartamentos):

- Eficiencia en el uso de suelo: los proyectos multifamiliares permiten concentrar un gran número de unidades en menor espacio, lo que reduce la expansión horizontal y el consumo de tierra.
- Infraestructura y servicios compartidos: al estar en un solo edificio o conjunto, la infraestructura (agua, electricidad, transporte, etc.) se puede distribuir de manera más económica y eficiente.
- Reducción de costos urbanos: al concentrar más personas en áreas más pequeñas, los gobiernos pueden reducir costos en la construcción y mantenimiento de infraestructuras como carreteras, alumbrado, y sistemas de saneamiento.
- Sostenibilidad ambiental: los edificios de viviendas multifamiliares permiten reducir la huella ecológica al limitar el uso de tierra y energía, promoviendo un modelo de ciudad compacta.

Proyectos Bifamiliares (Dúplex o Casas Adosadas):

- Densidad media: los proyectos bifamiliares permiten una densidad intermedia, proporcionando más espacio privado que un edificio multifamiliar, pero siendo más eficientes en uso de suelo que los unifamiliares.
- Flexibilidad de diseño: las casas adosadas o dúplex pueden adaptarse a distintas necesidades familiares, permitiendo una vivienda más asequible sin necesidad de grandes extensiones de tierra.
- Costos compartidos: en muchas zonas, los proyectos bifamiliares comparten paredes y otros elementos, lo que reduce costos de construcción y hace más eficiente el uso de recursos. De esta forma, para un crecimiento urbano sostenible, se deben priorizar los proyectos multifamiliares en áreas céntricas o con buena conectividad, y los bifamiliares en zonas periféricas o en barrios que requieran densidad media. Este enfoque optimiza el uso del suelo, reduce los costos de expansión y apoya una urbanización más ecológica y eficiente.

Para la obtención de los proyectos residenciales que cumplen las anteriores condiciones se ha realizado las siguientes consultas; para la obtención de los barrios con proyectos multifamiliares: “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` where `tipo\_morfologia`='Multifamiliar';”; ahora para la obtención de los barrios con proyectos bifamiliares se tiene: “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` where `tipo\_morfologia`='Bifamiliar';”.

- En primer lugar, se tiene la lista de todos los barrios con su respectivo id que se han obtenido durante la investigación
- En segundo lugar, se tiene la lista de los barrios obtenidos en las anteriores consultas considerando la variable morfología.

Tipo de Vivienda (Subsidio): clasificación de las viviendas de acuerdo a los subsidios gubernamentales y al valor monetario (COP) de cada proyecto residencial, que impactan la accesibilidad de la vivienda y pueden alterar la dinámica del mercado en ciertas áreas.

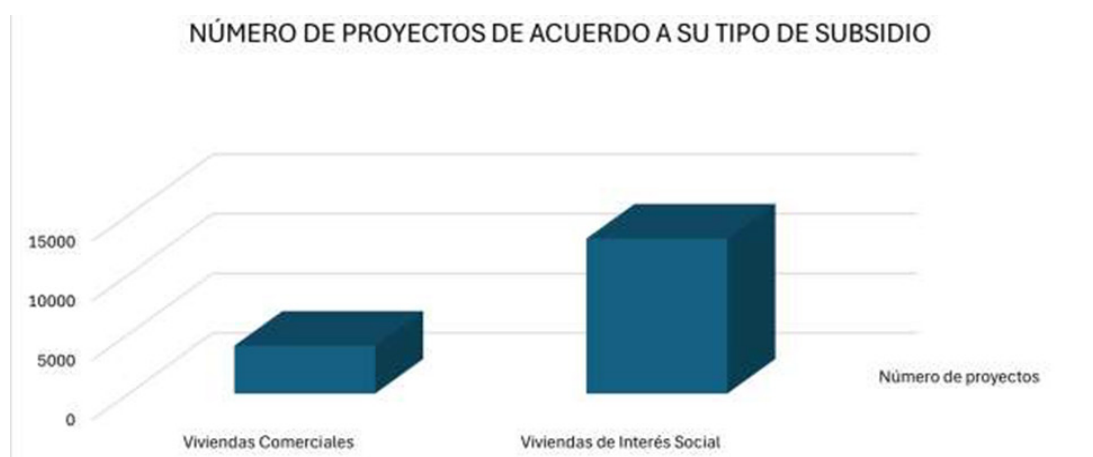


Figura 48. Número de proyectos considerando su tipo de subsidio

La gráfica muestra que la mayor parte de los proyectos se destina a viviendas de interés social (VIS), mientras que una menor proporción corresponde a viviendas comerciales o no VIS. A partir de esta información, y considerando las definiciones de VIS y no VIS:

- **Impulso al acceso a la vivienda:** el enfoque en viviendas VIS sugiere que el crecimiento urbano se orienta hacia la accesibilidad y el apoyo a sectores de la población con menos recursos. Esto es positivo para el crecimiento urbano inclusivo, ya que permite que más personas puedan acceder a viviendas con un costo regulado.
- **Sostenibilidad y densidad urbana:** las VIS tienden a promover una ocupación eficiente del suelo urbano en lugar de fomentar la expansión horizontal que caracteriza a las viviendas unifamiliares o comerciales de mayor costo. Esto es clave para una urbanización sostenible, ya que ayuda a concentrar a la población en áreas urbanas consolidadas.
- **Desafíos de infraestructura y servicios:** dado el alto número de proyectos VIS, es necesario que las ciudades inviertan en infraestructura y servicios (transporte, educación, salud, etc.) en las zonas donde se desarrollen estos proyectos, para garantizar la calidad de vida de sus habitantes y evitar la saturación de recursos.
- **Equilibrio en el desarrollo urbano:** aunque las VIS son importantes para la inclusión social, también es necesario equilibrarlas con viviendas no VIS para diversificar las áreas urbanas, lo que puede atraer inversión y promover una mezcla socioeconómica que beneficie al desarrollo de la ciudad. De esta forma, para un crecimiento urbano impulsado por una estrategia inclusiva, se deben priorizar los proyectos de interés social enfoque adecuado para mejorar el acceso a la vivienda y puede ser sostenible si se acompaña de inversiones en infraestructura y servicios públicos.

Para la obtención de los proyectos residenciales que cumplen las anteriores condiciones se ha realizado las siguientes consultas; para la obtención de los barrios con proyectos de interés social: “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` where `tipo\_subsidio`='Interes social'”.

- En primer lugar, se tiene la lista de todos los barrios con su respectivo id que se han obtenido durante la investigación.
- En segundo lugar, se tiene las listas de los barrios obtenidos a partir de la anterior consulta considerando la variable Tipo de vivienda de acuerdo al subsidio.

Estrato de la Vivienda: nivel socioeconómico asociado a cada vivienda, que permite comprender el perfil demográfico y las necesidades de los residentes.

Tabla 3. Número de proyectos considerando su estrato socioeconómico	
Estrato	Número de proyectos
Estrato 0	2465
Estrato 1	5513
Estrato 2	5378
Estrato 3	3033
Estrato 4	531
Estrato 5	102
Estrato 6	25



Figura 49. Diagrama de pastel del número de proyectos considerando su estrato socioeconómico

La anterior gráfica y datos tabulares muestra la distribución de proyectos residenciales de acuerdo con el estrato socioeconómico, indicando cómo se está configurando el crecimiento urbano en función de este factor. En términos de crecimiento urbano, el análisis sería el siguiente:

- Enfoque en estratos bajos y medios: la mayor cantidad de proyectos se concentra en los estratos 1, 2 y 3. Esto indica un enfoque en el desarrollo de viviendas accesibles para sectores de la población de ingresos bajos y medios. Este tipo de distribución promueve un crecimiento urbano inclusivo, permitiendo que personas de diferentes niveles socioeconómicos accedan a la vivienda en áreas urbanas.
- Desigualdad en la distribución por estratos altos: los estratos altos (estrato 5 y 6) tienen una menor representación en comparación con los estratos más bajos. Esto sugiere una menor inversión en áreas para sectores de ingresos altos, lo cual podría indicar una orientación urbana hacia la cobertura de necesidades básicas y la promoción de equidad habitacional. Sin embargo, esta falta de proyectos en los estratos altos también podría limitar la diversidad social y económica en ciertas áreas.
- Impulso de la densificación: los proyectos en estratos bajos y medios generalmente se concentran en áreas más densamente pobladas o en expansión, lo que puede promover una mayor densificación en áreas urbanas ya desarrolladas. Esto es beneficioso para un uso más eficiente del suelo y facilita la provisión de servicios básicos e infraestructura.
- Desafíos para la infraestructura y servicios: la concentración de proyectos en los estratos más bajos y medios implica la necesidad de una infraestructura adecuada y suficiente en las zonas donde estos proyectos se desarrollan, tales como transporte, educación y salud, para evitar la sobrecarga de los recursos urbanos y asegurar una calidad de vida adecuada.
- Promoción de la cohesión social: al facilitar el acceso a la vivienda para los estratos bajos y medios, el crecimiento urbano puede promover una mayor cohesión social, integrando a diferentes sectores de la sociedad en el tejido urbano y evitando la exclusión de áreas urbanas para ciertos grupos. De esta forma, el enfoque en proyectos de estratos bajos y medios contribuye al crecimiento urbano inclusivo y accesible. Sin embargo, es importante mantener el equilibrio entre estratos y mejorar la infraestructura en estas áreas para apoyar el crecimiento sostenible y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Para la obtención de los proyectos residenciales que cumplen las anteriores condiciones se ha realizado las siguientes consultas; para la obtención de los barrios con proyectos que presentan estrato 1: “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` WHERE `estrato\_vivienda`='1';”, para los barrios con proyectos que presentan estrato 2: “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` WHERE `estrato\_vivienda`='2';”, para los barrios con proyectos que tienen estrato 3: “SELECT DISTINCT(`id\_barrio`) FROM `locations` WHERE `estrato\_vivienda`='3';”.

- En primer lugar, se tiene la lista de todos los barrios con su respectivo id que se han obtenido durante la investigación
- En segundo lugar, se tiene la lista de los barrios que fueron obtenidos de las anteriores consultas donde se ha considerado la variable estrato.

Tamaño de la Vivienda (m^2): superficie habitable, importante para evaluar la calidad de vida y el uso eficiente del espacio en cada zona.

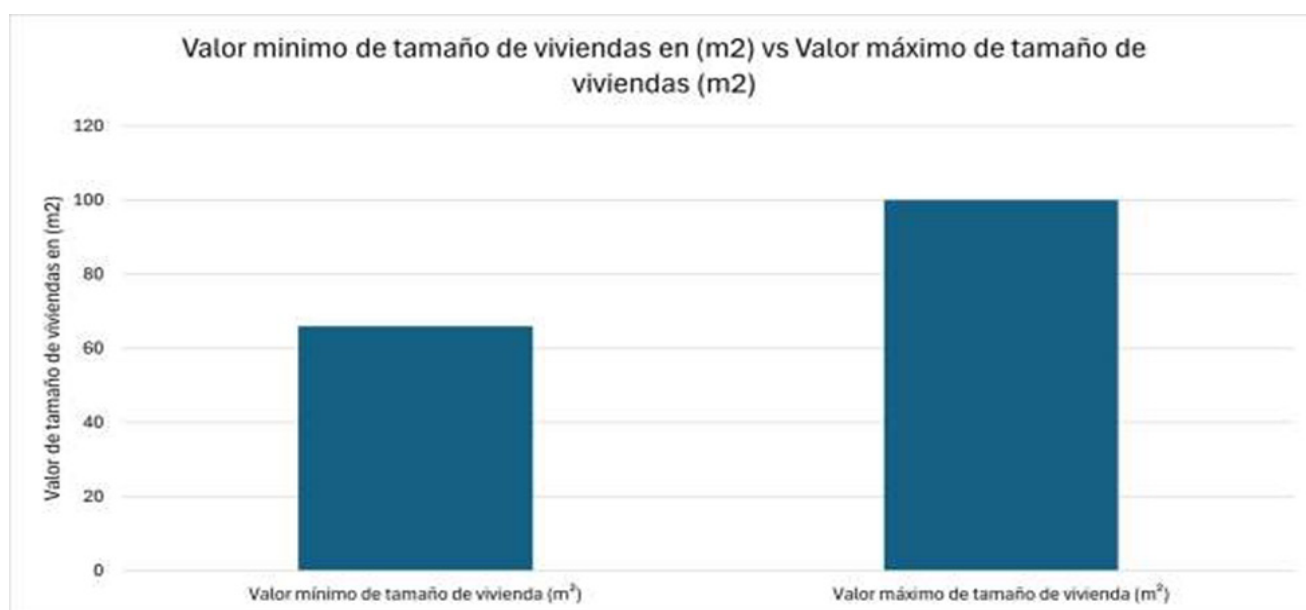


Figura 50. Comparativa valor mínimo de tamaño de viviendas en (m^2) vs valor máximo de tamaño de viviendas en (m^2)

Precio de la Vivienda: costo de adquisición, que influye en la demanda y puede reflejar las tendencias del mercado inmobiliario en diferentes áreas.

Tabla 4. Valor mínimo, máximo y promedio del precio de viviendas de Pasto (COP)	
Valor mínimo del precio de viviendas de Pasto (COP)	\$ 100 000 000
Valor máximo del precio de viviendas de Pasto (COP)	\$ 950 000 000
Valor promedio del precio de viviendas de Pasto (COP)	\$ 278 573 062,71

Valor Mínimo

Consulta SQL: "SELECT MIN(precio_vivienda) FROM locations;"

Definición: el precio más bajo de las viviendas en Pasto, determinado en \$100 000 000.

- Utilidad en la Investigación: identificación de Segmentos de Mercado lo que permite detectar el segmento de vivienda más asequible, esencial para evaluar la oferta de viviendas dirigidas a la población de ingresos bajos.
- Análisis de Accesibilidad: informa sobre la disponibilidad de opciones de vivienda asequibles y apoya el desarrollo de políticas para promover acceso a viviendas de bajo costo.

Valor Máximo

Consulta SQL: "SELECT MAX(precio_vivienda) FROM locations;"

Definición: el precio más alto de las viviendas en Pasto, establecido en \$950 000 000.

- Utilidad en la Investigación: detección de Nichos de Lujo permitiendo identificar el segmento de viviendas de lujo, permitiendo analizar cómo este sector impacta el crecimiento urbano.
- Orientación de Inversiones: proporciona datos clave para inversores interesados en proyectos de lujo, ayudando a definir oportunidades de inversión en el mercado inmobiliario.

Valor Promedio

Consulta SQL: "SELECT AVG(precio_vivienda) FROM locations;"

Definición: el precio promedio de las viviendas en Pasto, calculado en \$4 748 835 000 000.

- Utilidad en la Investigación: Evaluación general del mercado permitiendo dar una visión amplia del costo de la vivienda, fundamental para entender la dinámica de precios en Pasto.

- Planificación de Proyectos: Facilita el desarrollo de proyectos alineados con el precio promedio y la capacidad de compra de la población, optimizando la oferta de viviendas.
- Fundamentación de Políticas Públicas: Ayuda a los responsables de la formulación de políticas a entender el mercado, permitiendo crear estrategias para mejorar la equidad en el acceso a la vivienda.

Año de Inicio: fecha de construcción de los proyectos, relevante para identificar patrones de crecimiento a lo largo del tiempo y su relación con el desarrollo urbano.

Tabla 5. Año más antiguo, actual y promedio de construcción de viviendas

Año más antiguo de construcción de una vivienda (2000-2022)	2003
Año más actual de construcción de una vivienda (2000-2022)	2022

De la gráfica anterior se puede determinar el año máximo de construcción de viviendas, el cual se obtiene consultando la base de datos con la siguiente consulta: “SELECT max(año_inicio) FROM locations;”. Este año es relevante para el proyecto investigativo, ya que marca el límite del proceso de investigación. La recolección de datos urbanísticos abarcó desde 2002 hasta 2022, respetando así dicho rango. Además, el año mínimo registrado es 2003, obtenido mediante la consulta: “SELECT min(año_inicio) FROM locations;”. Este valor también se ajusta al límite mínimo del rango de investigación, ya que 2003 se encuentra entre 2000 y 2022.

Además, al centrarse en la planificación urbana, se genera un impacto significativo en el crecimiento urbano de una ciudad. Para los urbanistas y responsables de la toma de decisiones, este análisis proporciona información sobre los períodos en los que se han concentrado los esfuerzos de construcción. Esta información es valiosa, ya que puede orientar futuras inversiones en infraestructura y servicios públicos.

Densidad Poblacional (hab/Hec): número de habitantes por hectárea, que ayuda a analizar la presión demográfica sobre el desarrollo de las distintas zonas.

Tabla 6. Valor mínimo y máximo de Densidad Poblacional

Valor mínimo de densidad poblacional en una determinada área o zona de Pasto (hab/Hec)	33 hab/Hec
Valor máximo de densidad poblacional en una determinada área o zona de Pasto (hab/Hec)	247 hab/Hec

De la anterior tabla estadística, se logra obtener el valor mínimo y máximo de densidad poblacional de la ciudad de Pasto obtenidos mediante las consultas respectivamente; “SELECT min(`densidad\_poblacional`) FROM `locations` where `densidad\_poblacional`!=0;” y “SELECT max(`densidad\_poblacional`) FROM `locations`”; destacando una variación entre éstas indicando una diversidad en la ocupación del territorio y en la distribución de la población. Esta variación en la densidad poblacional tiene varias implicaciones para el crecimiento urbano:

- Planificación y Desarrollo: las áreas de alta densidad pueden requerir una planificación urbana más intensiva, con inversiones en infraestructura, transporte y servicios públicos para atender a una población más grande.
- Zonas de Expansión: las zonas con baja densidad podrían ser vistas como áreas potenciales para el crecimiento futuro, lo que podría guiar las decisiones sobre dónde enfocar el desarrollo y la inversión.
- Sostenibilidad: la variabilidad en la densidad también puede influir en la sostenibilidad del crecimiento urbano. Las áreas de alta densidad deben gestionarse cuidadosamente para evitar problemas como la congestión, la contaminación y la falta de servicios adecuados.

Equipamientos (m): servicios y facilidades disponibles en cada área, que son cruciales para determinar la calidad de vida y la atracción de nuevos residentes.

Tabla 7. Valor mínimo y máximo de equipamientos

Valor mínimo de equipamientos presente en la ciudad de Pasto	0 m
Valor máximo de equipamientos presente en la ciudad de Pasto	200 m

De la tabla anterior, se puede inferir que, si un proyecto residencial tiene un valor bajo en equipamientos, este estará más cerca de un equipamiento urbano, como un parque, hospital, escuela, entre otros. Por otro lado, si un proyecto residencial presenta un valor elevado en equipamientos, esto indica que se encuentra más alejado de estas instalaciones, lo que podría dificultar la calidad de vida de sus residentes.

Localización de la Residencia (Longitud y Latitud): coordenadas geográficas que permiten mapear y analizar cómo se distribuyen los proyectos en el territorio de Pasto.

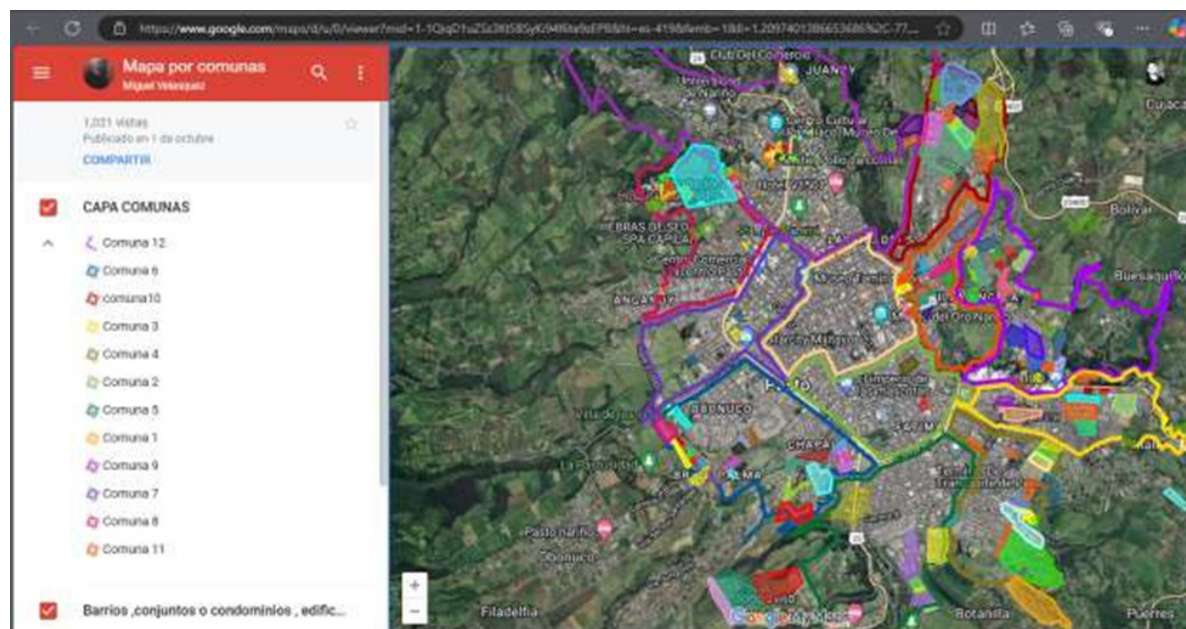


Figura 51. Interfaz del aplicativo web donde se visualizan los proyectos residenciales de la ciudad de Pasto agrupándolos por barrios y comunas

Análisis predictivo en un rango de años:



Figura 52. Gráfico del crecimiento urbano predicho

La figura 52 permite detallar la tendencia de crecimiento urbano predicho desde el 2022 (Barra 1) como punto de inicio, hasta el 2027 que sería el año ingresado por el usuario, donde el modelo predictivo realiza la respectiva predicción al obtener dicha información desde el aplicativo web, permitiendo visualizarlo de igual manera en el sistema. De esta forma, se puede decir que el crecimiento urbano predicho lo obtiene el modelo a partir de las variables urbanísticas con las cuales este fue entrenado.



Figura 53. Gráfico de diferencia anual del crecimiento urbano predicho

En la anterior grafica se puede detallar la diferencia anual del crecimiento urbano predicho de cada año respecto su anterior, demostrando de esta forma el valor de diferencia para cada año obteniendo así un panorama de los años que crecen más o menos de acuerdo al año anterior.

Cabe resaltar que los valores de predicción son generados por el modelo predictivo y son enviados de vuelta al aplicativo web mediante el api, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Figura 54. Flujo de trabajo del aplicativo web, Chat Bot y el modelo predictivo

Año	Crecimiento Urbano Predicho	Diferencia Anual	Categoría de Crecimiento
2022	0.48	0.00	
2023	0.81	0.34	Crecimiento Bajo
2024	1.16	0.35	Crecimiento Bajo
2025	1.32	0.16	Crecimiento Bajo
2026	1.40	0.08	Crecimiento Bajo
2027	1.77	0.37	Crecimiento Bajo

Figura 55. Datos tabulares de la diferencia anual de cada año

Los valores de crecimiento urbano predicho y diferencia anual que son generados por el modelo predictivo, son tabulados por este mismo; posteriormente los categoriza. Para la determinación de los niveles de categorización, se considera lo siguiente:

Clasificación de los niveles de acuerdo a los percentiles:

Formula a considerar: $P=(k*n)/100$

- Crecimiento urbano predicho bajo: categorizado como “Crecimiento Bajo” donde se le asigna el

color rojo, considerándolo además con el 25 % de acuerdo al percentil.

- Crecimiento urbano predicho estable: categorizado como “Crecimiento Medio” donde se le asigna el color naranja, considerándolo además con el 50 % de acuerdo al percentil.
- Crecimiento urbano predicho alto: categorizado como “Crecimiento Alto” donde se le asigna el color rojo, considerándolo además con el 75 % de acuerdo al percentil.
- Cabe resaltar que el color blanco representa el punto de partida del valor de predicción.

Análisis predictivo por zonas de la ciudad

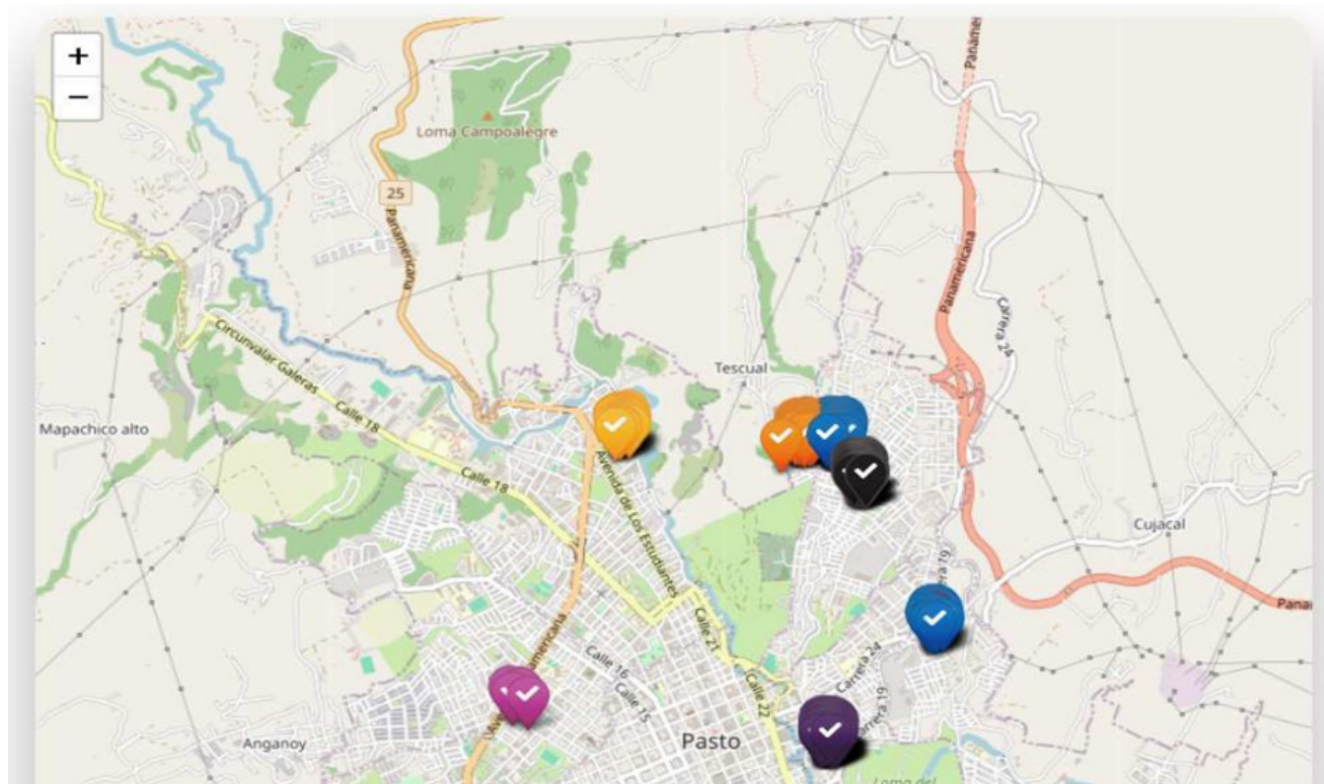


Figura 56. Mapa de crecimiento urbano predicho considerando el Tipo de vivienda de los proyectos residenciales

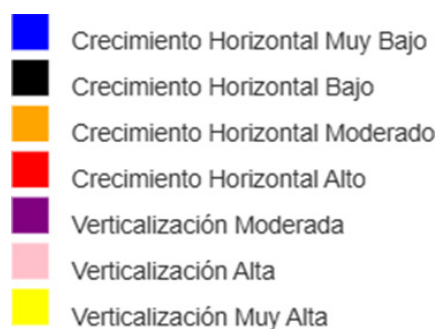


Figura 57. Niveles del crecimiento horizontal o vertical de los proyectos residenciales

Las gráficas anteriores destacan la concentración de puntos en siete zonas de la ciudad, donde cada zona corresponde a un barrio. Esta concentración se representa mediante un color identificador que resalta el nivel de crecimiento, ya sea vertical u horizontal, de cada área. A continuación, se explican los métodos utilizados para obtener dichos niveles:

Para definir los niveles, se realizó una consulta en el repositorio utilizando la siguiente instrucción: “SELECT `tipo\_vivienda`, `prediccion`, `barrio\_id` FROM `predicciones` GROUP BY `barrio\_id` ORDER BY `predicciones`.`prediccion` ASC;”. Esta consulta establece los niveles en función del valor de la predicción, que en este caso representa el crecimiento urbano predicho. Además, se relaciona con los proyectos más predominantes de cada barrio, considerando el tipo de vivienda. De este modo, se evidencia que el tipo de vivienda influye directamente en el crecimiento urbano predicho, como se ilustra en la figura a continuación.

				tipo_vivienda	prediccion	barrio_id
☐	 Editar	 Copiar	 Borrar	Residencia	0.010071375462131	1
☐	 Editar	 Copiar	 Borrar	Residencia	0.010197141327536	2
☐	 Editar	 Copiar	 Borrar	Residencia	0.010225414060676	3
☐	 Editar	 Copiar	 Borrar	Residencia	0.010270778947074	142
☐	 Editar	 Copiar	 Borrar	Conjunto	0.010444525959599	110
☐	 Editar	 Copiar	 Borrar	Edificio	0.025777366951184	263
☐	 Editar	 Copiar	 Borrar	Edificio	0.16296004495575	228

Figura 58. Consulta sql comparando el tipo de vivienda con el valor de crecimiento urbano predicho

En la figura anterior, se puede observar que los barrios con predominancia de viviendas tipo Residencia presentan los valores de predicción más bajos. En contraste, los conjuntos muestran valores de predicción ligeramente superiores en comparación con las residencias. Por otro lado, los edificios presentan los valores de predicción más altos. Es importante destacar que los valores de predicción para residencias, edificios y conjuntos pueden variar, ya que el modelo fue entrenado con múltiples variables. Por ejemplo, en los barrios identificados con los IDs 263 y 228, el valor de predicción cambia debido a otra variable: el estrato. No obstante, en este caso, se está comparando específicamente el crecimiento urbano predicho (columna de predicción) con el tipo de vivienda. Finalmente, se tiene que el crecimiento urbano predicho se lo puede analizar de acuerdo al crecimiento horizontal o vertical de la siguiente forma; Si, por ejemplo, los edificios tienen una mayor predicción de crecimiento, esto podría indicar una tendencia hacia la verticalización en ciertas áreas. En cambio, si las residencias tienen una alta predicción, puede reflejar un desarrollo más horizontal.

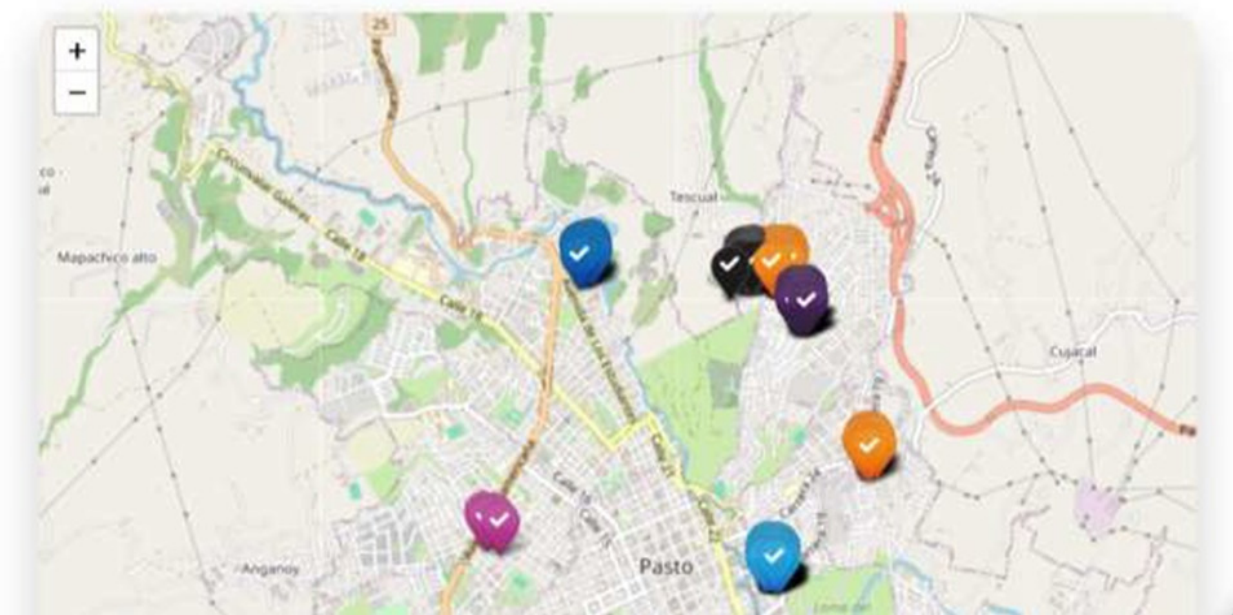


Figura 59. Mapa de crecimiento urbano predicho considerando la morfología de los proyectos residenciales

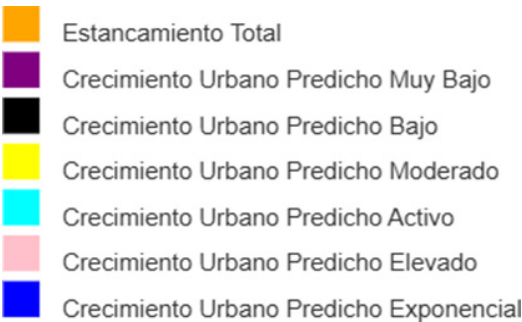


Figura 60. Niveles de crecimiento urbano predicho considerando la morfología de los proyectos residenciales

Las gráficas anteriores resaltan la concentración de puntos en siete zonas de la ciudad, cada una representando un barrio. Esta agrupación se visualiza a través de una gama de colores que identifica y destaca el nivel de crecimiento urbano predicho, ya sea estancamiento total o exponencial, en cada área.

Para definir los niveles, se realizó una consulta en el repositorio utilizando la siguiente instrucción: “SELECT `morfologia`, `prediccion`, `barrio\_id` FROM `predicciones` GROUP BY `barrio\_id` ORDER BY `predicciones`.`prediccion` ASC;”, Esta consulta establece los niveles en función del valor de la predicción, que en este caso representa el crecimiento urbano predicho. Además, se relaciona con los proyectos más predominantes de cada barrio, considerando la morfología de las viviendas. De este modo, se evidencia que la morfología influye directamente en el crecimiento urbano predicho, como se ilustra en la figura a continuación.

← T →						morfologia	prediccion ▲ 1	barrio_id	
☐		Editar		Copiar		Borrar	Unifamiliar	0.010071375462131	1
☐		Editar		Copiar		Borrar	Unifamiliar	0.010197141327536	2
☐		Editar		Copiar		Borrar	Unifamiliar	0.010225414060676	3
☐		Editar		Copiar		Borrar	Unifamiliar	0.010270778947074	142
☐		Editar		Copiar		Borrar	Unifamiliar	0.010444525959599	110
☐		Editar		Copiar		Borrar	Multifamiliar	0.025777366951184	263
☐		Editar		Copiar		Borrar	Multifamiliar	0.16296004495575	228

Figura 61. Consulta sql comparando la morfología con el valor del crecimiento urbano predicho

En la figura anterior, se puede observar que los barrios con predominancia de viviendas tipo Unifamiliar presentan los valores de predicción más bajos. En contraste, los proyectos con morfología Multifamiliar muestran valores de predicción superiores en comparación con las unifamiliares. Cabe destacar que los valores de predicción para proyectos unifamiliares, bifamiliares y multifamiliares pueden variar, ya que el modelo fue entrenado con múltiples variables. Por ejemplo, en los barrios identificados con los IDs 263 y 228, el valor de predicción cambia debido a otra variable: el estrato. No obstante, en este caso, se está comparando específicamente el crecimiento urbano predicho (columna de predicción) con morfología. Finalmente, se tiene que el crecimiento urbano predicho se lo puede analizar de acuerdo al crecimiento horizontal o vertical de la siguiente forma; Si la morfología multifamiliar muestra un crecimiento predicho más alto, podría implicar que las áreas están buscando aumentar la densidad poblacional mediante edificios residenciales en lugar de viviendas unifamiliares.

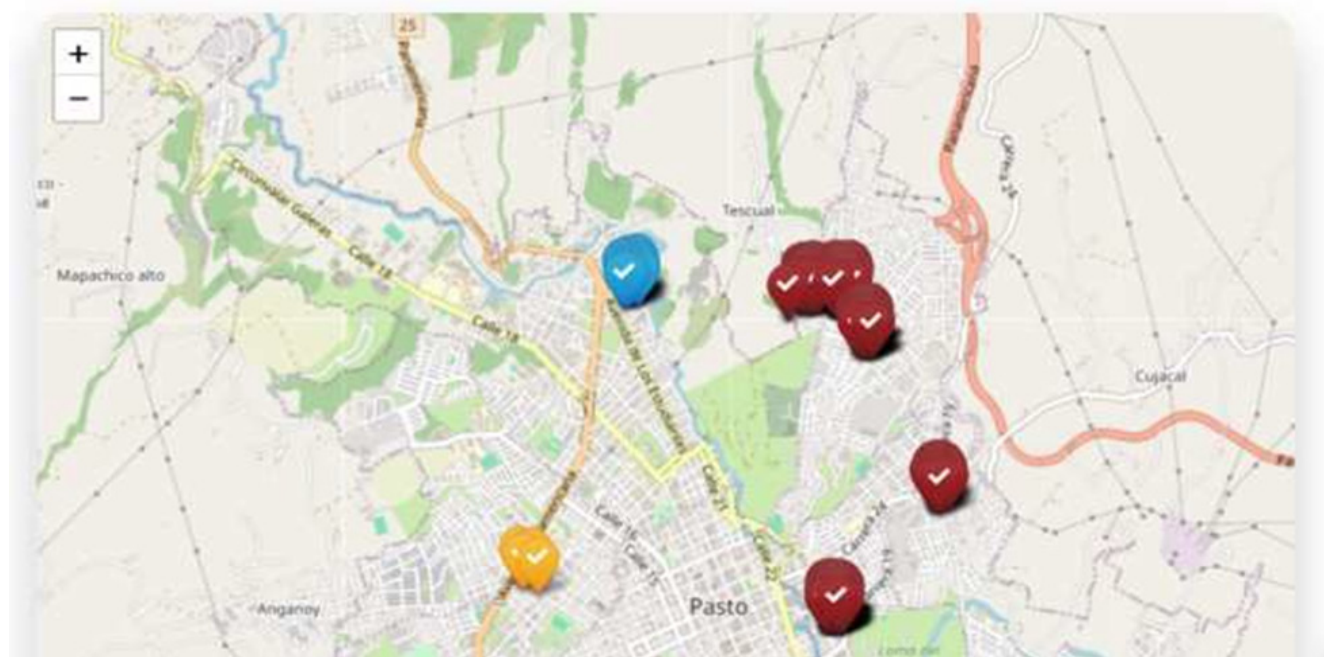


Figura 62. Mapa de crecimiento urbano predicho considerando el estrato de los proyectos residenciales

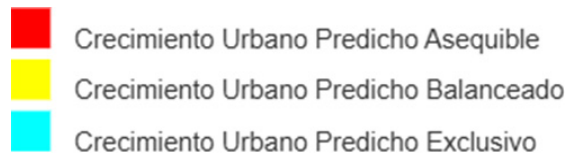


Figura 63. Niveles del crecimiento urbano predicho considerando el estrato de los proyectos residenciales

Las gráficas anteriores resaltan la concentración de puntos en siete zonas de la ciudad, cada una representando un barrio. Esta agrupación se visualiza a través de una gama de colores que identifica y destaca el nivel de crecimiento urbano predicho respecto al estrato de viviendas.

- Crecimiento Urbano Predicho Asequible: alta predicción de crecimiento urbano predicho en áreas de estratos bajos (0,1,2,3)
- Crecimiento Urbano Predicho Balanceado: crecimiento urbano predicho moderado en áreas de estratos medios (4).
- Crecimiento Urbano Predicho Exclusivo: caracterizado por una alta predicción de crecimiento en áreas de estratos altos (5,6).

Para definir los niveles, se realizó una consulta en el repositorio utilizando la siguiente instrucción: “SELECT `estrato`, `prediccion`, `barrio\_id` FROM `predicciones` GROUP BY `barrio\_id` ORDER BY `predicciones`.`prediccion` ASC”, Esta consulta establece los niveles en función del valor de la predicción, que en este caso representa el crecimiento urbano predicho. Además, se relaciona con el estrato de los proyectos residenciales. De este modo, se evidencia que el estrato influye directamente en el crecimiento urbano predicho, como se ilustra en la figura a continuación.

	estrato	prediccion	barrio_id
☐ Editar Copiar Borrar	2	0.010071375462131	1
☐ Editar Copiar Borrar	1	0.010197141327536	2
☐ Editar Copiar Borrar	2	0.010225414060676	3
☐ Editar Copiar Borrar	1	0.010270778947074	142
☐ Editar Copiar Borrar	3	0.010444525959599	110
☐ Editar Copiar Borrar	4	0.025777366951184	263
☐ Editar Copiar Borrar	5	0.16296004495575	228

Figura 64. Consulta sql comparando el estrato con el valor del crecimiento urbano predicho

En la figura anterior, se puede observar que los barrios con predominancia de viviendas en los estratos 0, 1, 2 y 3 presentan un valor de predicción bastante bajo. En contraste, la variación

en la predicción comienza a partir del estrato 4 en adelante. Además, se destaca que el estrato 5 es el más influyente en el valor de predicción del modelo. Finalmente, se tiene que el crecimiento urbano predicho se lo puede analizar de acuerdo al estrato de la siguiente forma; Si los estratos más bajos muestran una predicción de crecimiento urbano elevada, podría reflejar esfuerzos en políticas de vivienda asequible. En cambio, si los estratos altos tienen mayores predicciones, esto sugiere un crecimiento urbano de zonas más exclusivas.

La presente investigación ha logrado cumplir de manera satisfactoria con la hipótesis planteada: “Se logra determinar los escenarios interactivos de crecimiento urbano en la ciudad de Pasto mediante un modelo predictivo, apoyado por un producto software.” A lo largo del desarrollo del estudio, se generaron y evaluaron diferentes escenarios dinámicos de crecimiento urbano, los cuales fueron validados por expertos en el área, asegurando la robustez y fiabilidad de los resultados obtenidos.

Los resultados presentados han sido analizados de forma exhaustiva, demostrando que el modelo predictivo implementado no solo es capaz de reflejar las realidades actuales del crecimiento urbano en Pasto, sino que también permite anticipar futuros escenarios de desarrollo. Este análisis se ha llevado a cabo cumpliendo adecuadamente con los objetivos específicos de la investigación, tales como la creación de un repositorio de información relevante y el desarrollo de un software intuitivo que gestiona esta información de manera eficaz.

El enfoque adoptado en este estudio proporciona una herramienta valiosa para los urbanistas y responsables de la toma de decisiones, facilitando la planificación urbana basada en datos precisos y simulaciones interactivas. De esta manera, se contribuye al desarrollo sostenible de la ciudad, asegurando que las decisiones tomadas se alineen con las necesidades y expectativas de la comunidad. Finalmente, el trabajo realizado no solo cumple

con los objetivos propuestos, sino que también establece una base sólida para futuras investigaciones en el campo del crecimiento urbano, promoviendo un enfoque proactivo y fundamentado en la evidencia para la gestión del desarrollo urbano en Pasto.

CONCLUSIONES

La determinación de escenarios interactivos ha permitido comprender mejor las dinámicas del crecimiento urbano en Pasto. Al integrar un modelo predictivo respaldado por un software especializado, se ha facilitado la visualización de posibles futuros escenarios, lo que proporciona a los urbanistas y responsables de la toma de decisiones una herramienta valiosa para anticipar y gestionar el crecimiento de manera efectiva. Este enfoque proactivo ayuda a planificar el desarrollo urbano de manera sostenible, considerando diversas variables que afectan a la ciudad.

La creación de un repositorio de información ha sido fundamental para consolidar los datos relacionados con los escenarios de crecimiento urbano. Este repositorio no solo compila información histórica, sino que también incluye proyecciones basadas en el modelo predictivo, lo que facilita un análisis exhaustivo de las tendencias de desarrollo. Además, este recurso se convierte en una herramienta esencial para investigadores y planificadores, permitiéndoles acceder a datos relevantes y actualizados que respaldan la toma de decisiones informadas.

El desarrollo de un software especializado para la gestión de información sobre escenarios dinámicos de crecimiento urbano ha sido un avance significativo en la investigación. Este software permite organizar, analizar y visualizar datos de manera intuitiva, facilitando la interacción con la información. Al integrar la información recolectada durante el proceso investigativo, se garantiza que los usuarios puedan acceder fácilmente a datos relevantes y realizar análisis comparativos, lo que mejora la capacidad de respuesta ante los desafíos del crecimiento urbano en Pasto.

El modelo predictivo aplicando analítica de datos ha demostrado ser eficaz como herramienta de simulación en el software, permitiendo evaluar el impacto de diversas variables en el crecimiento urbano. Este enfoque facilita un análisis detallado que apoya la toma de decisiones, permitiendo a los urbanistas considerar múltiples escenarios y resultados en sus planes de desarrollo sostenible.

RECOMENDACIONES

Expandir la Base de Datos del Repositorio

Se recomienda ampliar el repositorio de información para incluir datos adicionales, como registros históricos de políticas urbanas, adición de nuevas variables urbanísticas, estudios de caso de intervenciones pasadas y datos demográficos actualizados. Esta expansión proporcionará un contexto más rico para los análisis futuros y permitirá una mejor comprensión de los factores que han influido en el crecimiento urbano a lo largo del tiempo.

Desarrollar Funcionalidades Avanzadas en el Software

Para mejorar la gestión de información sobre escenarios dinámicos de crecimiento urbano, se sugiere implementar funcionalidades avanzadas en el software desarrollado. Esto puede incluir herramientas de simulación más sofisticadas, capacidades de análisis predictivo adicionales y opciones para que los usuarios generen informes personalizados que se alineen con sus necesidades específicas en la planificación urbana.

Realizar Simulaciones a Largo Plazo

Se recomienda llevar a cabo simulaciones a largo plazo utilizando el modelo predictivo para evaluar el impacto de diferentes políticas urbanas en el crecimiento de Pasto. Estas simulaciones ayudarán a los responsables de la toma de decisiones a visualizar las consecuencias potenciales de sus estrategias a lo largo del tiempo, permitiendo ajustes proactivos en la planificación urbana.

Fomentar el Uso de Modelos de Crecimiento Sostenible

Se sugiere que futuros estudios incorporen principios de desarrollo sostenible en los modelos de crecimiento urbano. Al evaluar los escenarios dinámicos, se pueden incluir indicadores de sostenibilidad, como el uso eficiente de recursos, la protección de áreas verdes y la equidad social, lo que contribuirá a un desarrollo urbano más responsable y equilibrado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. «Entender la relación ciudad - territorio es comprender la transformación de Pasto». Radio UNAL. <https://ieu.unal.edu.co/en/rssieu/tag/Entender>
2. Apablaza M, Henriquez C. URBAN PLANNING AND GROWTH: dislocations and URBAN SUSTAINABILITY

CHALLENGES OF REGIONAL SANTIAGO, METROPOLITAN. *Rev electron geogr cienc soc.* 2010;14.

3. Ulloa-Espíndola R, Pérez-Albert Y. Validación de un modelo de predicción del crecimiento urbano en Quito (Ecuador). *EURE (Santiago)*. 2022;48(144):1-27. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612022000200006&script=sci_arttext
4. González et al. Análisis del crecimiento urbano en las zonas de expansión de Pasto 2000-2022. Convocatoria Universidad CESMAG; 2022.
5. Antonio L. Un modelo de crecimiento urbano vertical con factores característicos basado en inteligencia artificial. *Uaemex.mx*; 2021. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/112219>
6. Santos D. 20 ejemplos de páginas interactivas excepcionales. *Hubspot.es*; 2022. <https://blog.hubspot.es/website/ejemplos-paginas-interactivas>
7. Ley 388 de 1997. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-388-1997.pdf>
8. Administradorieu. Entender la relación ciudad - territorio es comprender la transformación de Pasto. <http://ieu.unal.edu.co/medios/noticias-del-ieu/item/entender-la-relacion-ciudad-territorio-es-comprender-la-transformacion-de-pasto>
9. Cañas EA, Díaz IC. Estrategias para la gestión de grandes volúmenes de datos por medio de Big Data. *MVM Ingeniería de Software*.
10. El Tiempo. Ahora se puede predecir el crecimiento urbano de las ciudades. 2021. <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/innovacion-paisa-permite-predecir-el-crecimiento-urbano-de-las-ciudades-593757>
11. Universidad EAFIT. Investigadores de EAFIT pronostican el crecimiento urbano y la demanda de agua en las ciudades. <https://www.eafit.edu.co>
12. González et al. Análisis del crecimiento urbano en las zonas de expansión de Pasto 2000-2022. Convocatoria Universidad CESMAG; 2022.
13. Caprotti F, et al. The New Urban Agenda: key opportunities and challenges for policy and practice. *Urban Res Pract.* 2017;10(3):367-78.
14. Blei AM, Angel S, Civco DL. Urban Expansion in a Global Sample of Cities, 1990-2014. Working Paper WP18AB2. Lincoln Institute; 2018.
15. Haller A. Los impactos del crecimiento urbano en los campesinos andinos. *Espacio y Desarrollo*. 2023.
16. Principi N. Evaluación multicriterio aplicada a la expansión urbana en Luján. *UNLu*. 2021.
17. Benjamín F, Antonio J. Modelo de evaluación de la capacidad de acogida del territorio con SIG y técnicas de decisión multicriterio. *Investig Geogr.* 2013;(60):69.
18. Bravo Cobeña CM, Valdivieso Guerra PEA, Arregui Pozo R. Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial. *Rev Electr Geogr Cienc Soc.* 2007;XI(245).
19. Gómez Delgado CM. Diseño de un modelo basado en agentes para simular el crecimiento urbano. *Boletín A G E.* 2016;(70).
20. Abrego Almazán D, Medina Quintero JM, Sánchez Limón ML. Los sistemas de información en el desempeño organizacional. *Investig Adm.* 2015;(115):7-23.
21. Castillo G. Los sistemas de información gestionando grandes volúmenes de datos. *Scielo.org.co*. 2023.
22. Bravo Cobeña CM, Valdivieso Guerra PEA, Arregui Pozo R. Los sistemas de información en la toma de decisiones gerenciales. *ECA Sinergia.* 2018;9(2):45.

23. Moreno-Cevallos JR, Dueñas-Holguín BL. Sistemas de información empresarial: la información como recurso estratégico. Dominio Cienc. 2018.
24. Orellana B, Ormeño S, Rodón Módol J. Impacto de la automatización sobre el desempeño. Esan.edu.pe. 2014.
25. Prieto A, Martínez M. Sistemas de información en las organizaciones. Rev Cienc Soc (Ve). 2004;X(2):322-37.
26. Jaramillo Valbuena S, Cardona SA, Fernández A. Minería de datos sobre streams de redes sociales. Inst Investig Bibliotecológicas. 2015;(33):63-74.
27. Jaramillo A. Aplicación de técnicas de minería de datos para determinar interacciones estudiantiles. Espol.edu.ec. 2023.
28. Bazant J. Procesos de expansión y consolidación urbana de bajos ingresos. Bitácora Urbano Territorial. 2008;13(2):117-32.
29. Alexander. Modelo para la evaluación multicriterio de tecnologías en salud. Unal.edu.co. 2021.
30. Lucia O. La evaluación multicriterio social y su aporte a la conservación de bosques. Rev Fac Nac Agron Medellín. 2023;58(1):2665-83.
31. Marcela L, Stevens G. Aplicación de un modelo predictivo para el cambio de cobertura urbana. Udistrital.edu.co. 2022.
32. Sánchez et al. Dinámica del uso del suelo y planificación sustentable. Scielo.org.co. 2023.
33. Enrique J. Acerca de los sistemas de información geográfica. Univ del Valle. 2013.
34. Manuel J, Gitierrez P. Desarrollo de un sistema de información para gestión de proyectos. UCatólica Colombia.
35. Lucía M, Elvirita L. Calidad de la gestión del sistema de información de una IPS. Cuader Lat Admin. 2016;9(17):58-71.
36. Oviedo Carrascal AI, Jiménez Giraldo J. Minería de datos educativos: análisis del desempeño estudiantil. Rev Politécnica. 2019;15(29):128-40.
37. Michele K, Yurani T. Evolución socio-espacial del área urbana de Sotomayor. Udenar.edu.co. 2021.
38. Benitez K, Gomez D. Zonificación por susceptibilidad a fenómenos de inundación. Udenar.edu.co. 2015.
39. Mauricio D, Jaramillo Molina C, Alberto C. Evaluación espacial de centros de distribución de café. Rev EIA. 2022;19(38):10.
40. Muñoz H, Revelo L. Implementación del sistema de información 'Open bravo'. Udenar.edu.co. 2015.
41. Lucía M, Elvirita L. Calidad de la gestión del sistema de información de una IPS. Cuader Lat Admin. 2016;9(17):58-71.
42. Carolina L, Sánchez JJ. Mapa de fallas de los volcanes Chiles-Cerro Negro. Bol Geol. 2017;39(3):71-86.
43. Pereira T, Clara. Minería de datos en supervivencia de cáncer cervical. Univ Salud. 2023;14(2):117-29.
44. López GA. ¿Las infraestructuras como proyecto de ciudad? Ciudades (Valladolid). 2023;(11):105-32.
45. Pérez Bustamante L, Salinas Varela E. Crecimiento urbano y globalización en Concepción, Chile. 2007.

46. Herrmann MG, Van Klaveren A. Disminución de participación ciudadana y planificación urbana. EURE. 2016.
47. Vista de Hacia una política pública de desarrollo urbano sostenible en el Perú. Paideia. <http://45.231.72.143>
48. De Población En et al. Repositorio UC. <https://repositorio.uc.cl>
49. Rodríguez P, Palomino N, Mondaca J. El uso de datos masivos para políticas públicas. BID. <https://publications.iadb.org>
50. Modelando el crecimiento de ciudades medias. Google Books. 2014.
51. Carlos J. Análisis de modelos predictivos basados en visión computacional. Unam.edu.pe. 2019.
52. Fernando L, Carlos J. Desarrollo de software educativo sobre Ubuntu 13.10. Unach.edu.ec. 2016.
53. Cataldi Z, Lage F, Pessacq R, García Martínez R. Ingeniería de software educativo. UBA. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net>
54. Varella G, Dos Santos M, Francisco C, Cassettari E. Propuesta de priorización de requisitos de software. ResearchGate. 2020.
55. Aguilera Benavente F. Predicción del crecimiento urbano con SIG y autómatas celulares. Geofocus. 2006;(6):4.

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Curación de datos: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Análisis formal: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Investigación: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Metodología: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Administración del proyecto: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Recursos: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Software: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Supervisión: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Validación: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Visualización: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Redacción - borrador original: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.

Redacción - revisión y edición: Jheison Edilson Arteaga Quistial, Miguel Ángel Velásquez Bravo, Omar Alexander Revelo Zambrano.