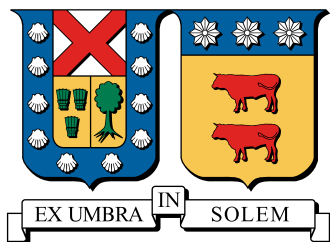


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

SANTIAGO - CHILE



**SISTEMA DE ANÁLISIS ESPACIAL Y  
PREDICTIVO PARA LA CARACTERIZACIÓN  
DEL COMERCIO INFORMAL EN CONTEXTOS  
URBANOS**

CRISTÓBAL NILO GARRIDO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL EN TELEMÁTICA

PROFESOR GUÍA: NICOLÁS SEBASTIÁN GÁLVEZ RAMÍREZ  
PROFESOR CORREFERENTE: NICOLÁS VALENZUELA LEVI

DICIEMBRE - 2024

Para Violeta Paz

## AGRADECIMIENTOS

En estos seis años de carrera, me han acompañado la incansable búsqueda de conocimiento, la ambición por lograr metas importantes y un deseo constante de trascendencia que ha guiado muchas de las decisiones de mi vida. Estoy convencido de que he logrado muchas cosas, algunas buenas, otras no tanto, pero siempre impulsado por el deseo de aprender y mejorar. Sin embargo, esta ambición y trascendencia no tendrían sentido sin las personas que me rodean.

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi profesor guía, Nicolás Gálvez, por confiar en mí, no solo durante este proceso, sino a lo largo de toda mi carrera. También agradezco a Nicolás Valenzuela por ayudarme a encontrar sentido en lo que aprendo y darme el espacio para aplicar mis conocimientos en soluciones que impactan positivamente en la vida de las personas.

No puedo dejar de mencionar a mis amigos Vicente, Matías, Thomas, Diego, Clemente y Juan, con quienes compartí momentos difíciles, pero también experiencias de aprendizaje y crecimiento que siempre recordaré. Aunque no puedo incluir a todas las personas que me han acompañado, quiero que sepan que cada uno tiene un lugar importante en mi memoria.

Agradezco profundamente a mi familia. A Marcela y Javier, quienes me han guiado desde el inicio y siempre han estado ahí para apoyarme. No podría pedir más que todo lo que ya han hecho por mí. A Nora, que desde la distancia me acompaña siempre. A mi hermana Javiera, quien comprende mis penas y alegrías mejor que nadie y me ha regalado el amor más puro que existe: el amor de Violeta.

A mis tíos Pablo y Andrea, gracias por creer en mí como nadie más lo ha hecho y por escucharme siempre que lo he necesitado.

También agradezco a Paula, quien con su amor y compañía me ha dado luz y orientación en momentos de cansancio y frustración, y a su familia, que me ha acogido y apoyado de forma genuina y desinteresada.

Finalmente, quiero reconocer a las personas que participaron en el levantamiento de información que sentó las bases de este trabajo. Sin su esfuerzo, este proyecto no habría sido posible. En particular, agradezco a Danitza por su dedicación y a Javiera, quien me brindó un apoyo especial para superar los desafíos que implicó este desarrollo.

**Gracias a todos por ser parte de este viaje.**

Esta Memoria recibió apoyo del Fondecyt de Iniciación número 11221325 financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) titulado “Desigualdad Territorial e Informalidad en la Infraestructura Alimentaria Urbana: el caso del Gran Santiago” y del Proyecto Multidisciplinario Interno PI\_M\_23\_03 “Caracterización de escenarios y factores para la gestión de residuos en el espacio público mediante inteligencia artificial”.

## RESUMEN

El comercio informal en ámbitos urbanos plantea retos significativos para la gestión del espacio público y la formulación de decisiones fundamentadas en evidencia. Con el objetivo de abordar este fenómeno en el centro de Santiago, este estudio desarrolla una plataforma integral que integra técnicas de inteligencia artificial (incluyendo visionado automatizado mediante YOLO y clasificación probabilística con Naive Bayes), análisis geoespacial (empleando una grilla de 100x100 metros) y el procesamiento de imágenes georreferenciadas. Esta solución posibilita caracterizar y analizar la ocupación de comerciantes en la vía pública, identificar patrones, estimar probabilidades de presencia, y generar visualizaciones interactivas. A pesar de que las primeras evaluaciones se llevaron a cabo con datos y etiquetas simuladas, la validación cruzada avala la correcta implementación del flujo de trabajo, estableciendo las bases para la integración de datos reales, la adopción de técnicas de aprendizaje profundo y la aplicación del enfoque a otros contextos urbanos. De esta manera, se pretende contribuir a un equilibrio entre el rol económico-social del comercio informal y la ordenación del espacio público. Para concretar esta propuesta, se consideran los siguientes pasos principales:

1. Diseñar y desarrollar un prototipo de interfaz que consolide y exhiba la información recolectada, resaltando las áreas con mayor ocupación y sus atributos más relevantes.
2. Implementar un mecanismo de carga de datos desde múltiples fuentes (imágenes, registros oficiales), permitiendo su procesamiento con algoritmos de visión por computador y análisis geoespacial.
3. Crear visualizaciones de resultados, incorporando gráficos y mapas para evidenciar patrones y tendencias en la distribución del comercio informal.
4. Integrar métodos de aprendizaje automático que faciliten la clasificación y segmentación de la información, favoreciendo el uso de evidencia en la toma de decisiones.
5. Realizar pruebas de validación para asegurar la precisión y consistencia de los algoritmos, evaluando su eficiencia al identificar y analizar los patrones de comercio informal.

Este enfoque multidisciplinario, pionero en Chile, profundiza el entendimiento de un fenómeno que afecta el desarrollo económico-social y la planificación urbana, ofreciendo una herramienta sólida para la gestión del comercio informal y el diseño de políticas públicas basadas en evidencia.

**Palabras Clave**—comercio informal, análisis geoespacial, aprendizaje automático, SIG, planificación urbana.

## ABSTRACT

Informal trade within urban settings presents significant challenges to the management of public spaces and the formulation of decisions grounded in empirical evidence. In response to this issue in the context of downtown Santiago, this study develops a comprehensive platform integrating artificial intelligence methodologies, specifically automated vision via YOLO and probabilistic classification using Naive Bayes, with geospatial analysis using a  $100 \times 100$  meter grid and the processing of georeferenced images. This solution facilitates the characterization and analysis of street vendor occupancy, the identification of patterns, the estimation of probabilities of vendor presence, and the creation of interactive visual representations. Although initial evaluations were performed using simulated data and labels, cross-validation confirms the correct execution of the workflow, thereby establishing a basis for the integration of actual data, the incorporation of deep learning techniques, and the applicability of the methodology to other urban environments. Accordingly, the objective is to foster an equilibrium between the socio-economic functions of informal trade and the structuring of public spaces. To achieve this objective, the following principal steps are considered:

1. Design and develop a prototype interface that consolidates and displays the collected information, highlighting areas with the highest occupation and their most relevant attributes.
2. Implement a data loading mechanism from multiple sources (images, official records), enabling their processing with computer vision algorithms and geospatial analysis.
3. Create result visualizations, incorporating charts and maps to highlight patterns and trends in the distribution of informal trade.
4. Integrate machine learning methods that facilitate the classification and segmentation of information, promoting evidence-based decision-making.
5. Conduct validation tests to ensure the accuracy and consistency of the algorithms, evaluating their efficiency in identifying and analyzing informal trade patterns.

This multidisciplinary approach, a pioneering initiative in Chile, enhances understanding of a phenomenon affecting socio-economic development and urban planning. It provides a robust tool for the management of informal trade and the formulation of evidence-based public policy.

**Keywords**—informal commerce, geospatial analysis, machine learning, GIS, urban planning.

# Índice general

---

|                                                                                 |          |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Índice de figuras                                                               | III      |
| Índice de tablas                                                                | VI       |
| <b>1. Introducción</b>                                                          | <b>1</b> |
| 1.1. Propósito . . . . .                                                        | 2        |
| 1.2. Objetivos . . . . .                                                        | 2        |
| 1.2.1. Objetivo General . . . . .                                               | 2        |
| 1.2.2. Objetivos Específicos . . . . .                                          | 3        |
| 1.3. Contribuciones del trabajo . . . . .                                       | 3        |
| 1.4. Estructura de la memoria . . . . .                                         | 4        |
| <b>2. Definición del problema</b>                                               | <b>5</b> |
| 2.1. ¿Qué es el comercio informal? . . . . .                                    | 5        |
| 2.1.1. Perspectivas multidimensionales del comercio informal . . . . .          | 6        |
| 2.1.2. Replantando la economía informal . . . . .                               | 7        |
| 2.2. El comercio informal como « <i>problema urbano</i> » . . . . .             | 9        |
| 2.2.1. Influencia del comercio informal en el uso del espacio público . . . . . | 9        |
| 2.3. El comercio informal e incivildades . . . . .                              | 11       |
| 2.3.1. Estrategias de intervención y gestión . . . . .                          | 13       |
| 2.4. Impacto del comercio informal en la organización comunitaria y la cultura  | 13       |

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5. Desafíos en la caracterización del comercio informal . . . . .           | 15        |
| <b>3. Estado del arte</b>                                                     | <b>18</b> |
| 3.1. Preámbulo . . . . .                                                      | 18        |
| 3.2. Representación de Datos geoespaciales . . . . .                          | 19        |
| 3.3. Técnicas de agrupamiento y análisis estadístico . . . . .                | 22        |
| 3.4. Visión por Computadora en la Detección del Comercio Informal . . . . .   | 25        |
| 3.5. Modelos de Aprendizaje Automático para la Predicción Espacial . . . . .  | 28        |
| 3.6. Visualización de Resultados . . . . .                                    | 29        |
| 3.6.1. Herramientas y Tecnologías para la Visualización Geoespacial . . . . . | 34        |
| <b>4. Propuesta y diseño de solución</b>                                      | <b>35</b> |
| 4.1. Requerimientos . . . . .                                                 | 35        |
| 4.1.1. Requisitos Funcionales . . . . .                                       | 36        |
| 4.1.2. Requisitos No Funcionales . . . . .                                    | 37        |
| 4.1.3. Requisitos de Ambiente . . . . .                                       | 37        |
| 4.2. Perfiles de Usuario . . . . .                                            | 38        |
| 4.3. Diagrama de contexto . . . . .                                           | 39        |
| 4.4. Diagrama de Arquitectura . . . . .                                       | 40        |
| 4.5. Diagrama de interfaces . . . . .                                         | 42        |
| 4.6. Módulos . . . . .                                                        | 43        |
| 4.6.1. Módulo de Carga de Imágenes . . . . .                                  | 43        |
| 4.6.2. Módulo de Carga de Datos . . . . .                                     | 43        |
| 4.6.3. Módulo de Almacenamiento de Datos . . . . .                            | 44        |
| 4.6.4. Módulo de Clasificación de Imágenes . . . . .                          | 44        |
| 4.6.5. Capa de Ubicación de Datos . . . . .                                   | 45        |
| 4.6.6. Módulo de Clustering y Naive bayes. . . . .                            | 45        |
| 4.6.7. Módulo de Visualización de Datos . . . . .                             | 46        |
| 4.7. Mockups de la plataforma . . . . .                                       | 47        |
| 4.7.1. Vista principal . . . . .                                              | 47        |
| 4.7.2. Vista del módulo de clustering . . . . .                               | 47        |

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.7.3. Vista de resultados . . . . .                                           | 48        |
| <b>5. Implementación y validación de la solución</b>                           | <b>50</b> |
| 5.1. Caso de Uso . . . . .                                                     | 50        |
| 5.2. Configuración de Desarrollo e Implementación . . . . .                    | 51        |
| 5.2.1. Captura y preparación de datos . . . . .                                | 51        |
| 5.2.2. Representación espacial y estructura de la información . . . . .        | 53        |
| 5.2.3. Procesamiento de imágenes mediante visión por computadora . . . . .     | 54        |
| 5.2.4. Análisis espacial y modelamiento probabilístico . . . . .               | 55        |
| 5.2.5. Visualización y exploración de resultados . . . . .                     | 56        |
| 5.3. Resultados de la Implementación y Validación . . . . .                    | 57        |
| 5.3.1. Resultados del Módulo de Procesamiento de Datos Geoespaciales . . . . . | 57        |
| 5.3.2. Resultados del Módulo de Clasificación de Imágenes (YOLO) . . . . .     | 58        |
| 5.3.3. Resultados del Módulo Naive Bayes (etiquetas simuladas) . . . . .       | 60        |
| 5.4. Vistas e interfaces del prototipo . . . . .                               | 60        |
| 5.5. Validación . . . . .                                                      | 64        |
| <b>6. Conclusiones</b>                                                         | <b>67</b> |
| 6.1. Síntesis de los Hallazgos . . . . .                                       | 67        |
| 6.2. Limitaciones y Dificultades . . . . .                                     | 68        |
| 6.3. Validación y Perspectivas a Futuro . . . . .                              | 69        |
| 6.4. Reflexión Personal . . . . .                                              | 71        |
| 6.5. Algoritmos incluidos en la plataforma. . . . .                            | 72        |
| <b>Bibliografía</b>                                                            | <b>74</b> |

# Índice de figuras

---

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. División de un área urbana en una grilla de 100x100m. . . . .               | 20 |
| 3.2. Resultados del clustering K-means. . . . .                                  | 25 |
| 3.3. Detección automatizada de comercio informal. . . . .                        | 27 |
| 3.4. Mapa de calor de presencia de comercio. . . . .                             | 30 |
| 3.5. Mapa coroplético. . . . .                                                   | 30 |
| 3.6. Mapa de símbolos proporcionales. . . . .                                    | 31 |
| 3.7. Mapa de densidad de puntos. . . . .                                         | 32 |
| 4.1. Diagrama de contexto del sistema. . . . .                                   | 39 |
| 4.2. Diagrama de arquitectura del sistema. . . . .                               | 41 |
| 4.3. Diagrama de interfaces. . . . .                                             | 42 |
| 4.4. Mockups pre implementación. . . . .                                         | 48 |
| 4.5. Mockup de la vista del mapa de calor. . . . .                               | 49 |
| 5.1. Diagrama de Estructura metodológica. . . . .                                | 57 |
| 5.2. Anotaciones por clase en el conjunto de entrenamiento. . . . .              | 59 |
| 5.3. Precisión promedio mAP50 por clase, destacando “Toldos”. . . . .            | 59 |
| 5.4. Evolución de las pérdidas durante el entrenamiento del modelo YOLO. . . . . | 60 |
| 5.5. Vista principal de la grilla de 100x100 en el prototipo. . . . .            | 61 |
| 5.6. Vista del dataframe en el prototipo. . . . .                                | 61 |
| 5.7. Vista del clustering en el prototipo. . . . .                               | 62 |

---

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 5.8. Vista del módulo de imágenes en el prototipo. . . . .     | 62 |
| 5.9. Vista de imágenes filtradas por fecha. . . . .            | 63 |
| 5.10. Vista del clasificador de instancias de objetos. . . . . | 63 |
| 5.11. Vista del mapa de calor. . . . .                         | 64 |
| 5.12. Simbología implementada como mejora. . . . .             | 65 |
| 5.13. Clasificador implementado. . . . .                       | 66 |

# Índice de tablas

---

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Resumen de la definición de comercio informal. . . . .                | 8  |
| 3.1. Resumen de técnicas y aplicaciones del análisis espacial. . . . .     | 22 |
| 3.2. Ventajas y desventajas de técnicas de visualización. . . . .          | 33 |
| 4.1. Resumen de los Requisitos Funcionales del Sistema. . . . .            | 36 |
| 4.2. Resumen de los Requisitos No Funcionales del Sistema. . . . .         | 37 |
| 4.3. Resumen de requisitos de ambiente. . . . .                            | 38 |
| 4.4. Matriz de requisitos funcionales y módulos. . . . .                   | 47 |
| 5.1. Resumen de tecnologías etapa captura. . . . .                         | 53 |
| 5.2. Resumen de decisiones para la representación de información . . . . . | 54 |
| 5.3. Herramientas seleccionadas para clustering y clasificación. . . . .   | 56 |
| 5.4. Resumen del Desempeño de la Arquitectura. . . . .                     | 58 |
| 5.5. Resultados validación cruzada. . . . .                                | 60 |

# Introducción

---

El comercio informal se refiere a las actividades económicas que operan al margen de las regulaciones legales y fiscales establecidas por el Estado [1]. Este tipo de comercio es prevalente en numerosas ciudades alrededor del mundo, y su presencia es especialmente notable en países en vías de desarrollo. La literatura lo aborda como un problema urbano, ya que representa desafíos significativos para la gestión de las ciudades y el logro de un desarrollo económico sostenible.

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), más del 60 % de la fuerza laboral global participa en la economía informal [2]. Esta alta participación refleja cómo el comercio informal a menudo surge en respuesta a crisis económicas y a la insuficiencia de los medios oficiales para ofrecer alternativas viables a la diversidad y necesidades de la población urbana. Cuando las estructuras formales no logran absorber la mano de obra disponible ni satisfacer las demandas del mercado, el comercio informal se convierte en una estrategia de subsistencia para muchos, especialmente en países en vías de desarrollo [3]. En este contexto, el comercio ambulante influye profundamente en la dinámica urbana y en la calidad de vida de los habitantes. Al ocupar espacios públicos y ofrecer bienes y servicios esenciales, estos comerciantes informales modifican el uso y la percepción del espacio urbano [4].

En América Latina, el fenómeno del comercio informal es particularmente frecuente debido a múltiples factores como la precarización del trabajo—agravada por la pandemia—, las limitadas oportunidades de empleo formal y el difícil acceso al financiamiento para la educación [5]. Estos desafíos estructurales abren paso a actividades no reguladas que se manifiestan en diversas ciudades de la región. Por ejemplo, en Ciudad de México [6], Bogotá [7] y Lima [8], el comercio informal es una realidad cotidiana que refleja las dificultades económicas y sociales que enfrentan sus habitantes.

Esta situación ha generado preocupaciones relacionadas con la ocupación del espacio público, la seguridad y el impacto en la economía formal. Estudios indican que en

algunas ciudades latinoamericanas, el sector informal puede representar hasta el 50 % del empleo total [3], evidenciando la magnitud y complejidad del desafío.

El comercio informal en Chile no es un fenómeno nuevo, ha ganado relevancia en los últimos años debido a factores económicos y sociales como el aumento del desempleo y la migración [9], generando múltiples desafíos relacionados con el uso del espacio público, la seguridad y el ordenamiento urbano. En la Región Metropolitana, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), el empleo informal representó aproximadamente un 27 % de la ocupación total en 2020 [10]. Este aumento, aunque no se limita a las actividades del comercio informal, ha influido en la degradación del espacio público, la congestión y el incremento de la percepción de inseguridad [11]. Por ejemplo, este fenómeno incluso ha dado lugar a conflictos entre los vendedores no regulados y las autoridades locales. Distintos medios han reportado enfrentamientos durante operativos municipales en el centro de Santiago, afectando la seguridad y el orden público [12, 13]. En ese marco, los avances tecnológicos en el análisis de datos geoespaciales han permitido explorar nuevas maneras de caracterizar este fenómeno. Al integrar datos precisos sobre la ubicación y distribución de los vendedores ambulantes, tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el aprendizaje automático ofrecen herramientas efectivas para generar estrategias de gestión inteligente y basadas en evidencia [14]. Estas herramientas permiten a las autoridades y planificadores urbanos identificar patrones y tendencias en la ocupación del espacio público, facilitando la toma de decisiones informadas para abordar el comercio informal de manera efectiva.

## 1.1. Propósito

¿Pueden las herramientas tecnológicas geoespaciales y de *machine learning* permitir caracterizar el fenómeno del comercio informal en Santiago, para distinguir zonas de predisposición al desarrollo de la actividad?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de sistema de información que permita visualizar y gestionar la información sobre el comercio informal en Santiago, integrando técnicas de procesamiento de datos y análisis geoespacial, con el uso de aprendizaje automático para la identificación y segmentación de datos.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Definir un prototipo de interfaz que permita la visualización y análisis de datos sobre el comercio informal, destacando las áreas de ocupación y sus características principales.
- Implementar un sistema de carga de datos desde diferentes fuentes (como imágenes y registros oficiales), que permita al usuario ingresar datos georreferenciados y procesarlos mediante algoritmos de procesamiento y ML.
- Diseñar una visualización de los resultados procesados, que permita la identificación de patrones y tendencias en la distribución del comercio informal a través de gráficos y mapas.
- Integrar algoritmos de aprendizaje automático para la clasificación y segmentación de los datos recolectados, permitiendo una gestión basada en evidencias.
- Realizar pruebas de validación para asegurar la precisión y consistencia de los algoritmos aplicados, evaluando su rendimiento en el análisis de patrones del comercio informal.

## 1.3. Contribuciones del trabajo

Las principales contribuciones de este proyecto incluyen:

- El análisis y transformación de datos georreferenciados para su posterior procesamiento mediante algoritmos de aprendizaje automático.
- El desarrollo de un prototipo funcional que permite la visualización y gestión de datos del comercio informal en una plataforma web.
- La implementación de técnicas de clasificación y segmentación de datos que facilitan la identificación de patrones y tendencias en el uso del espacio público.
- La innovación en la creación de una plataforma integrada que combina visión por computadora para el análisis del comercio informal en contexto urbano.
- Desarrollo de una metodología replicable para múltiples casos de uso y adapta tecnologías comúnmente aplicadas en agricultura y manufactura al monitoreo urbano.
- Novedad en el enfoque, hasta la fecha no existen soluciones similares en el ámbito del comercio informal en Chile, lo que posiciona este trabajo como un aporte pionero en la gestión del espacio público mediante inteligencia artificial y tecnologías integradas.
- La generación de una herramienta que puede ser utilizada para la toma de decisiones informadas en la planificación urbana y la formulación de políticas públicas.

## 1.4. Estructura de la memoria

La estructura del presente documento se compone de la siguiente forma:

- El Capítulo 2 se centra en la definición del problema, destacando los desafíos relacionados con la gestión del comercio informal y la falta de herramientas tecnológicas que apoyen la planificación urbana.
- El Capítulo 3 se revisa el estado del arte en torno a las tecnologías usadas en los módulos en función del problema expuesto anteriormente.
- El Capítulo 4 expone la propuesta de solución, describiendo las estrategias tecnológicas que incluyen el uso de análisis geoespacial y aprendizaje automático y detalla el diseño de la solución, presentando diagramas de flujo, casos de uso y especificaciones técnicas de los módulos que componen el sistema.
- El Capítulo 5 se enfoca en la implementación de la solución, explicando el proceso de desarrollo de cada módulo, la interfaz y las funcionalidades integradas en la plataforma.
- El Capítulo 6 concluye con un resumen de los hallazgos y aportes del trabajo, así como recomendaciones para futuras mejoras y desarrollos.
- El Capítulo 7 presenta las referencias utilizadas a lo largo del documento.

## Definición del problema

---

### 2.1. ¿Qué es el comercio informal?

El comercio informal ha sido objeto de un extenso debate académico, con múltiples definiciones que han evolucionado para capturar mejor su complejidad y dinamismo. En términos generales, se entiende como “*todas las actividades económicas realizadas por trabajadores y unidades económicas que, legalmente o en la práctica, no están cubiertas o no son suficientemente cubiertas por disposiciones formales*” [1]. Si bien esta definición enfatiza la falta de regulación legal como un elemento clave, no abarca completamente las dimensiones económicas, sociales y urbanas asociadas al fenómeno, las cuales varían según el contexto.

El término “*sector informal*” fue utilizado y difundido ampliamente por el trabajo seminal de Keith Hart al analizar las actividades económicas en Ghana. En [15], se plantea que este sector incluye trabajos por cuenta propia y empleos no regulados que no están sujetos a impuestos ni supervisados por el gobierno. Este enfoque marcó un cambio conceptual significativo, al proponer que la economía informal no debe considerarse un espacio residual o marginal, sino un componente esencial de la economía urbana, especialmente en países en desarrollo. Sin embargo, el concepto de informalidad económica y su interrelación con los sistemas formales ya había sido abordado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), con sede en Chile, a través de la idea de “heterogeneidad estructural”. Esta perspectiva sostiene que las economías latinoamericanas están compuestas por “polos de modernización” coexistiendo con sectores económicos “primitivos”, similares a los tiempos coloniales [16]. Este marco teórico fue clave para entender cómo las economías informales y formales están profundamente interrelacionadas, en lugar de ser esferas completamente separadas.

La noción de heterogeneidad estructural conecta directamente con los argumentos sobre la interdependencia entre las economías formales e informales. Esta interacción trans-

forma las dinámicas económicas y sociales en las ciudades, rompiendo la dicotomía rígida entre lo formal y lo informal. Esto no solo resalta la importancia del comercio informal como respuesta a las limitaciones estructurales de los mercados laborales y de consumo, sino que también destaca su papel como un componente integral de las economías urbanas en constante evolución. Continuando con esta línea de pensamiento, en [17] se expande esta visión al argumentar que la economía informal no opera de manera aislada, sino en constante interacción con la economía formal. Según ellos, existe una interdependencia que transforma las dinámicas económicas y sociales en las ciudades, rompiendo así la dicotomía rígida entre lo formal y lo informal. En este sentido, el comercio informal se convierte en una extensión de las limitaciones estructurales de los mercados laborales y de consumo, permitiendo a las personas acceder a bienes y servicios que, de otro modo, serían inaccesibles.

### 2.1.1. Perspectivas multidimensionales del comercio informal

Para comprender plenamente el comercio informal, es necesario abordarlo desde diversas perspectivas que reflejan su naturaleza heterogénea y dinámica. Según la disciplina que lo analice, se pueden destacar diferentes interpretaciones:

- **Perspectiva Sociológica:** Desde el enfoque sociológico, el comercio informal se interpreta como una estrategia de supervivencia que emerge en respuesta a la exclusión social y económica. Las barreras estructurales, como la falta de acceso a educación y oportunidades laborales, llevan a muchas personas a encontrar sustento en actividades no reguladas. Esta visión subraya el papel del comercio informal en la inclusión económica de sectores vulnerables, y cómo estas prácticas pueden ser una respuesta a las desigualdades existentes [18].
- **Perspectiva Económica:** En términos económicos, el comercio informal es considerado parte de la economía sumergida, con implicaciones significativas para el empleo y la producción. Aunque opera fuera del sistema fiscal, contribuye sustancialmente al PIB en muchos países en desarrollo. Sin embargo, también plantea desafíos para la recaudación de impuestos y el control estatal de las actividades económicas, lo que puede afectar la capacidad gubernamental para implementar políticas públicas efectivas [19].
- **Perspectiva legal:** Legalmente, el comercio informal representa una zona gris entre la legalidad y la ilegalidad. Al operar sin los permisos requeridos, desafía las regulaciones formales y cuestiona la capacidad de los estados para ofrecer marcos regulatorios inclusivos y accesibles [20]. Esta situación evidencia la necesidad de replantear las políticas legales para abordar las realidades de quienes participan en el comercio informal.
- **Perspectiva urbana:** Desde la perspectiva urbana, el comercio informal es visto como una forma de apropiación del espacio público, a menudo en conflicto con las

normativas de planificación urbana. Estas actividades reflejan una lucha por el derecho a la ciudad, permitiendo a los sectores excluidos acceder a los beneficios económicos de las zonas urbanas [21]. Esto pone de manifiesto las tensiones entre las prácticas informales y las regulaciones formales del espacio urbano.

- **Perspectiva Feminista:** La economía feminista ofrece una mirada crucial para entender el comercio informal, especialmente en lo que respecta a las “infraestructuras de cuidado”. Este enfoque destaca cómo las actividades informales, particularmente aquellas no remuneradas, están profundamente influenciadas por roles de género y desigualdades estructurales. Estas actividades incluyen tanto trabajos remunerados como no remunerados, como el cuidado de personas en el hogar, y suelen asociarse con altos niveles de estrés y precariedad económica [22]. Además, se argumenta que esta informalidad es clave para sostener las economías formales, actuando como un “subsido invisible” al estado y al capital. Este trabajo no solo mantiene el bienestar de las personas, sino que también reduce costos para el sistema económico formal, evidenciando una interdependencia estructural entre ambas esferas [23]. En el contexto del comercio informal, esta perspectiva resalta cómo las mujeres, predominantemente, soportan una doble carga: realizar trabajos de cuidado no remunerados y participar en actividades informales como estrategia de subsistencia.

### 2.1.2. Replanteando la economía informal

Ante estas diversas perspectivas, en [24] se sugiere que la economía informal debe ser repensada en relación con la economía formal y el entorno regulatorio. No es simplemente un fenómeno marginal, sino un componente fundamental de los sistemas económicos y sociales contemporáneos. Su persistencia refleja tanto las limitaciones de las políticas públicas como la resiliencia de los actores económicos en contextos adversos. Así, el comercio informal no es un fenómeno homogéneo; sus manifestaciones varían ampliamente según el contexto socioeconómico, cultural y político. Comprenderlo requiere un enfoque multidimensional que considere su interacción con la economía formal, su papel en la inclusión económica y su impacto en la configuración de los espacios urbanos. De este modo, lejos de ser un ámbito marginal, el comercio informal se erige como un elemento estructurante de las economías y sociedades contemporáneas. La Tabla 2.1 presenta un resumen estructurado de estas dimensiones, organizadas en términos de su definición, orígenes, interdependencia con la economía formal, perspectivas diversas y propuestas de replanteamiento. Cada dimensión se acompaña de atributos específicos, indicadores relevantes y referencias clave, que permiten un marco integral para estudiar el comercio informal desde distintas disciplinas, incluyendo la economía, la sociología, el urbanismo y el derecho.

| Dimensiones                             | Atributos              | Indicadores                                                                          | Aut. |
|-----------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Definición                              | Regulación legal       | Falta de cobertura por disposiciones formales.                                       | [1]  |
| Orígenes                                | Actividades económicas | Trabajo por cuenta propia y empleos no regulados.                                    | [15] |
| Interdependencia con la economía formal | Relaciones económicas  | Interacción constante entre economía formal e informal.                              | [17] |
| Perspectivas                            | Sociológica            | Estrategia de supervivencia frente a la exclusión social y económica.                | [18] |
|                                         | Económica              | Contribución al PIB; desafíos para la recaudación fiscal y regulación estatal.       | [19] |
|                                         | Urbana                 | Apropiación del espacio público; tensiones con regulaciones urbanas.                 | [21] |
|                                         | Legal                  | Zona gris entre legalidad e ilegalidad; necesidad de marcos regulatorios inclusivos. | [20] |
|                                         | Feminista              | Carga de trabajo no remunerado y su rol como subsidio invisible al estado y capital. | [23] |

Tabla 2.1: Resumen de la definición de comercio informal.

El comercio informal se ha consolidado como un fenómeno urbano de gran relevancia, atrayendo la atención de académicos, planificadores y responsables de políticas públicas. Su presencia en las ciudades, especialmente en aquellas en vías de desarrollo como Santiago, ha generado debates sobre su impacto en la dinámica urbana. Este capítulo aborda el comercio informal como un “problema urbano”, explorando su influencia en el uso del espacio público, su relación con las incivildades y su impacto en la organización comunitaria y la cultura.

A través de un análisis detallado, se examinan las transformaciones que el comercio informal provoca en los espacios urbanos, cómo redefine las funciones de calles y plazas, y los conflictos que surgen entre los vendedores informales, las autoridades y otros usuarios de la ciudad. Además, se discuten los desafíos en la caracterización del comercio informal debido a su naturaleza heterogénea y dinámica, y se explora el potencial de las tecnologías emergentes para superar las limitaciones en la recopilación y análisis de datos.

El objetivo es profundizar en la comprensión de este complejo fenómeno, evidenciando su doble faceta: por un lado, los desafíos que plantea para la planificación y gestión urbana; por otro, su papel en la generación de redes sociales, preservación de prácticas culturales y fortalecimiento del tejido comunitario. Al final, se plantea una cuestión

fundamental: ¿cómo caracterizar eficazmente el comercio informal para entender su alcance e implicaciones en ciudades como Santiago? Este interrogante sirve como punto de partida para reflexionar sobre estrategias integrales que reconozcan tanto los desafíos como las oportunidades que el comercio informal presenta en el contexto urbano contemporáneo.

## 2.2. El comercio informal como «*problema urbano*»

La tendencia a percibir el comercio informal como un problema urbano prevalece en la literatura aún cuando diferentes estudios [25] establecen que el comercio informal es una actividad económica fundamental. Este fenómeno, caracterizado por actividades económicas que operan al margen de las regulaciones estatales, es especialmente prominente en países en vías de desarrollo, donde se convierte en una estrategia de supervivencia para amplios sectores de la población [26]. Diversos estudios señalan que el crecimiento del comercio informal está íntimamente ligado a procesos de urbanización acelerada, migración interna y desigualdades socioeconómicas que las estructuras formales no logran abordar eficazmente [27]. La expansión del comercio informal en entornos urbanos complejos genera dinámicas que desafían las estructuras institucionales existentes y cuestionan la capacidad de las ciudades para gestionar eficientemente sus recursos y espacios [28]. Este escenario ha llevado a que el comercio informal sea percibido no solo como una cuestión económica, sino también como un problema que impacta en la organización y funcionalidad de las ciudades, demandando una atención multidimensional que considere aspectos sociales, legales y administrativos. La comprensión de este fenómeno como un problema urbano radica en su capacidad para alterar las dinámicas planificadas de las ciudades, influir en la cohesión social y plantear retos significativos para la gobernanza urbana [18]. Esta perspectiva establece la base para un análisis más detallado de las distintas dimensiones en las que el comercio informal interactúa con el entorno urbano, y cómo estas interacciones requieren respuestas.

### 2.2.1. Influencia del comercio informal en el uso del espacio público

El comercio informal tiene una relación intrínseca con el uso del espacio público en las ciudades. Los espacios públicos, como calles, plazas y aceras, se convierten en lugares clave donde los comerciantes informales realizan sus actividades económicas. Esta ocupación del espacio público es un fenómeno ampliamente estudiado en la literatura, donde se analiza cómo el comercio informal transforma y redefine el uso y la función de estos espacios urbanos.

En [27] se explica que los comerciantes informales utilizan el espacio público como una estrategia para acceder a mercados y clientes que de otra manera serían inaccesibles debido a limitaciones económicas o legales. Esta ocupación permite una interacción

directa con el público, facilitando la venta de bienes y servicios a precios competitivos. Sin embargo, esta dinámica también implica una reinterpretación del espacio público, donde las funciones originales pueden verse alteradas por la presencia de actividades comerciales no planificadas, alteraciones entre las cuales destacan:

- **Transformación del espacio público:** La presencia del comercio informal en el espacio público modifica la forma en que estos espacios son percibidos y utilizados por la sociedad. En [29] se introduce el concepto de “*quiet encroachment*” para describir cómo las acciones cotidianas de los vendedores informales pueden cambiar gradualmente el uso del espacio urbano sin una confrontación directa con las autoridades. Este proceso de transformación silenciosa implica una adaptación del entorno urbano a las necesidades de los comerciantes y de los usuarios que interactúan con ellos.

En [30] se argumenta que el comercio informal contribuye a la vitalidad y dinámica de los espacios públicos, creando ambientes más animados y atractivos para ciertos sectores de la población. La actividad comercial en las calles puede fomentar la interacción social y proporcionar una sensación de seguridad a través de la presencia constante de personas. No obstante, esta reinterpretación del espacio público también puede generar conflictos con las regulaciones urbanas y los planes de desarrollo establecidos.

- **Conflictos y negociaciones en el uso del espacio:** La ocupación del espacio público por parte de comerciantes informales a menudo conduce a conflictos con las autoridades municipales y otros actores urbanos. En [28] se señala que las ciudades enfrentan el desafío de equilibrar las necesidades económicas de los vendedores informales con las normas de planificación urbana y los intereses de otros usuarios del espacio público. Estos conflictos pueden manifestarse en acciones de desalojo, multas o regulaciones que buscan controlar o limitar la presencia de comercio informal en ciertas áreas.

Un ejemplo es la ciudad de Quito, Ecuador, donde las políticas municipales han intentado regular el comercio informal mediante la reubicación de vendedores a mercados formales [31]. Sin embargo, estas medidas no siempre tienen éxito, ya que los comerciantes prefieren los espacios públicos concurridos donde pueden maximizar sus ventas. La resistencia de los vendedores a estas políticas refleja la importancia del espacio público para sus medios de vida y la complejidad de gestionar estas dinámicas urbanas.

En ciudades latinoamericanas, el comercio informal y su influencia en el espacio público es particularmente notable. En Ciudad de México, se analiza cómo los vendedores ambulantes han establecido redes y organizaciones para negociar su derecho a ocupar espacios públicos [32]. Estas dinámicas crean una “geografía de resistencia” donde los comerciantes defienden sus medios de vida frente a las políticas de regeneración urbana.

- **Implicaciones para la planificación urbana:** El comercio informal plantea importantes implicaciones para la planificación y gestión del espacio urbano. En

[33] se destaca que los planificadores urbanos deben reconocer la realidad del comercio informal y considerar estrategias que integren estas actividades en el diseño de la ciudad. Ignorar o intentar erradicar el comercio informal sin ofrecer alternativas viables puede resultar contraproducente y exacerbar los problemas asociados.

En [34] se busca entender cómo las prácticas informales son parte integral de las ciudades contemporáneas. Este enfoque sugiere que las políticas urbanas deben adaptarse para incorporar la informalidad como un componente legítimo del paisaje urbano, en lugar de tratarla exclusivamente como un problema a resolver. Esto implica desarrollar marcos regulatorios flexibles y participativos que reconozcan las necesidades de los comerciantes informales y los derechos de otros usuarios del espacio público.

## 2.3. El comercio informal e incivildades

El comercio informal influye significativamente en el funcionamiento de las ciudades, a nivel de afectar tanto las condiciones de salubridad, la estética urbana y las condiciones de seguridad. La presencia de vendedores informales en espacios públicos genera cambios en el entorno físico, planteando desafíos para el mantenimiento de la limpieza y la imagen de las áreas urbanas. Este fenómeno ha sido objeto de diversos estudios que analizan cómo las actividades comerciales no reguladas interfieren en las actividades cotidianas y en la percepción estética de las ciudades.

- **Generación de residuos y manejo de desechos:** Uno de los principales impactos del comercio informal es la generación de residuos sólidos. Los vendedores informales, al no contar con acceso adecuado a servicios de recolección de basura, pueden contribuir a la acumulación de desechos en calles y espacios públicos [35]. La disposición inadecuada de residuos, como envoltorios, restos de alimentos y materiales de empaque, puede provocar problemas de higiene y salubridad, afectando la salud pública y el medio ambiente [36].
- **Implicaciones para la salud pública:** La presencia de desechos orgánicos y no orgánicos puede propiciar la proliferación de vectores de enfermedades, como roedores e insectos, aumentando el riesgo de brotes epidemiológicos [37]. Además, la falta de instalaciones sanitarias adecuadas para los comerciantes y sus clientes puede exacerbar estos riesgos [38].
- **Desafíos para la gestión del aseo urbano:** La gestión del aseo y ornato en áreas con alta presencia de comercio informal presenta desafíos para las autoridades municipales. La informalidad dificulta la planificación y provisión de servicios de limpieza, ya que los comerciantes informales no siempre están sujetos a regulaciones o contribuciones fiscales que financien estos servicios [39]. Además, la naturaleza móvil y dispersa de estos comerciantes complica la implementación de estrategias efectivas de recolección de residuos [35].

- **Deterioro del paisaje urbano y percepción estética:** El comercio informal altera el paisaje urbano y la percepción estética de los espacios públicos. La instalación de puestos de venta improvisados, carretillas y mercancías expuestas en las aceras puede modificar la imagen visual de calles y plazas [40]. Este cambio en el entorno puede afectar la identidad cultural y el atractivo turístico de las ciudades, especialmente en áreas históricas o de valor patrimonial [41].

En [42] se argumenta que el desorden visual asociado con el comercio informal puede generar una percepción negativa entre residentes y visitantes, quienes pueden asociar estas áreas con falta de seguridad y degradación urbana. Sin embargo, otros estudios sugieren que la presencia de comercio informal también puede contribuir a la vitalidad y diversidad cultural del espacio urbano, ofreciendo una experiencia más auténtica y dinámica [28].

- **Impacto en la criminalidad y seguridad urbana:** La presencia del comercio informal en espacios públicos también tiene repercusiones en la criminalidad y la seguridad urbana. Diversos estudios han señalado que las áreas con alta concentración de vendedores informales pueden experimentar desafíos relacionados con actividades delictivas, como robos, hurtos y venta de productos ilegales. En [28] se dice que, la falta de regulación y control en estos espacios puede facilitar la aparición de actividades ilícitas que aprovechan la informalidad para operar sin ser detectadas.

En investigaciones realizadas en ciudades latinoamericanas, como Bogotá y Ciudad de México, se ha evidenciado que algunos comerciantes informales pueden ser objeto de extorsión por parte de grupos criminales que buscan controlar el espacio público y exigir pagos a cambio de permitirles trabajar [32, 43]. Esta dinámica afecta la seguridad de los vendedores y contribuye a la consolidación de estructuras criminales en el entorno urbano.

La ocupación desordenada del espacio público por el comercio informal puede dificultar la movilidad y la vigilancia policial, creando entornos percibidos como inseguros por los ciudadanos. En [44] se analiza cómo la invasión de andenes y vías por parte de comerciantes informales afecta negativamente la movilidad y la seguridad en áreas urbanas. El estudio concluye que la congestión causada por el comercio informal en zonas céntricas reduce la eficacia de los patrullajes policiales y aumenta la percepción de inseguridad entre la población.

Sin embargo, es importante destacar que el comercio informal no es inherentemente generador de criminalidad. Algunos autores argumentan que la presencia de vendedores en las calles puede incrementar la actividad y vigilancia natural del espacio público, lo que disuade ciertos tipos de delitos. En [45] se introduce el concepto de “ojos en la calle”, enfatizando cómo la actividad humana constante puede contribuir a la seguridad urbana. Por lo tanto, las políticas públicas deben abordar el comercio informal de manera integral, considerando tanto los aspectos de seguridad como los beneficios sociales y económicos que aporta a las ciudades.

### 2.3.1. Estrategias de intervención y gestión

Diversas ciudades han implementado estrategias para abordar los desafíos del aseo y ornato asociados al comercio informal. Estas incluyen la creación de mercados formales o áreas designadas donde los comerciantes informales pueden operar con acceso a servicios básicos, como recolección de residuos y sanitarios [46]. La regulación y formalización parcial de estas actividades puede contribuir a mejorar las condiciones de higiene, la imagen urbana y la seguridad.

Otra estrategia es la participación comunitaria y la colaboración entre autoridades y comerciantes informales. En Bogotá, Colombia, los recicladores informales han sido reconocidos e integrados en sistemas formales de gestión de residuos sólidos. Este grupo puede considerarse parte del comercio informal, ya que su actividad históricamente se ha desarrollado fuera de las estructuras regulatorias, sin contratos formales ni acceso a derechos laborales básicos. Sin embargo, su trabajo desempeña un papel clave en la economía urbana, proporcionando servicios esenciales para la gestión de residuos y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental de las ciudades. La integración de estos trabajadores en sistemas formales ha implicado la creación de cooperativas, acceso a infraestructura básica y la provisión de capacitación, mejorando tanto sus condiciones laborales como la eficiencia en la gestión de residuos urbanos [47].

El impacto del comercio informal en las urbes es complejo y multifacético. Aunque presenta desafíos para la gestión urbana, también ofrece oportunidades para repensar la integración de actividades informales en la planificación y administración de las ciudades. Comprender estas dinámicas es esencial para desarrollar políticas y estrategias que aborden eficazmente los problemas analizados, reconociendo al mismo tiempo la importancia económica y social del comercio informal.

## 2.4. Impacto del comercio informal en la organización comunitaria y la cultura

El comercio informal no solo desempeña un papel económico en las ciudades, sino que también influye significativamente en la organización comunitaria y en la cultura urbana. Este fenómeno contribuye a la creación de redes sociales, la preservación de prácticas culturales y el fortalecimiento del tejido comunitario. A continuación, se exploran las formas en que el comercio informal impacta positivamente en estos aspectos, respaldado por diversos estudios y análisis académicos:

- **Generación de redes sociales y capital social:**

El comercio informal facilita la formación de redes sociales entre los comerciantes, sus familias y la comunidad en general. En [48] se sostiene que los vendedores informales desarrollan relaciones de confianza y reciprocidad que constituyen un importante capital social. Estas redes permiten el intercambio de información,

recursos y apoyo mutuo, lo que fortalece la cohesión social y la capacidad de organización colectiva.

En un estudio realizado en Lagos, Nigeria, se encontró que los mercados informales sirven como centros de interacción social, donde los comerciantes establecen lazos que trascienden las relaciones comerciales [49]. Estas conexiones fomentan un sentido de pertenencia y comunidad, contribuyendo al bienestar social y emocional de los individuos involucrados.

- **Preservación y promoción de prácticas culturales:** El comercio informal es a menudo un medio para la preservación de prácticas culturales y tradiciones locales. En [50] se destaca que los mercados informales son espacios donde se comercializan productos artesanales y alimentos tradicionales, manteniendo vivas las costumbres y el patrimonio cultural. Estos espacios permiten a los habitantes urbanos mantenerse conectados con sus raíces culturales y ofrecen a los visitantes una experiencia auténtica de la cultura local.

En América Latina, específicamente en Oaxaca, México, señalan que los vendedores informales juegan un papel crucial en la difusión de la cultura indígena a través de la venta de artesanías y la realización de festivales tradicionales en espacios públicos [51]. Este intercambio cultural enriquece la diversidad urbana y promueve el respeto y la valorización de diferentes identidades culturales.

- **Fortalecimiento del tejido comunitario:** La participación en el comercio informal puede fortalecer el tejido comunitario al involucrar a diversos miembros de la comunidad en actividades económicas compartidas. En [52] se argumenta que los mercados informales proporcionan oportunidades para la inclusión económica de grupos marginados, como mujeres, jóvenes y migrantes, facilitando su integración en la vida urbana.

Un ejemplo, es Hanoi, Vietnam, se observa que las vendedoras ambulantes, en su mayoría migrantes rurales, han creado redes de apoyo que les permiten adaptarse a la vida urbana y contribuir al sustento de sus familias [30]. Estas dinámicas fortalecen la resiliencia comunitaria y promueven la solidaridad entre los miembros de la comunidad.

- **Creación de espacios de innovación y creatividad:** El comercio informal también es un espacio para la innovación y la creatividad en las prácticas comerciales y culturales. En [53] se señala que los comerciantes informales a menudo desarrollan soluciones ingeniosas para superar las limitaciones impuestas por la falta de recursos o regulaciones. Esta capacidad de adaptación y emprendimiento contribuye al dinamismo económico y cultural de las ciudades.
- **Contribución a la diversidad urbana:** La presencia del comercio informal añade diversidad y vitalidad a los espacios urbanos. En [54] se argumenta que los mercados informales y las actividades comerciales callejeras crean entornos más inclusivos y heterogéneos, donde diferentes grupos sociales pueden interactuar.

Esta diversidad contribuye a la riqueza cultural de las ciudades y fomenta un sentido de comunidad más amplio.

En Mumbai, los espacios ocupados por el comercio informal se convierten en puntos de encuentro donde personas de distintos orígenes convergen, promoviendo la convivencia y el entendimiento intercultural [55].

- **Adaptación de las políticas urbanas:** Reconocer el impacto positivo del comercio informal en la organización comunitaria y la cultura tiene implicaciones importantes para las políticas urbanas. Al integrar estas actividades en la planificación urbana, las autoridades pueden fomentar la cohesión social y la diversidad cultural. En [56] se sugiere que las políticas deben centrarse en facilitar la participación de los comerciantes informales en la toma de decisiones y en proporcionar espacios adecuados para sus actividades.

La implementación de enfoques participativos en la gestión urbana puede potenciar los beneficios culturales y comunitarios del comercio informal. En [57] se evidencia que la inclusión de los comerciantes en los procesos de planificación fortalece la gobernanza urbana y mejora la efectividad de las políticas públicas.

El comercio informal juega un papel significativo en la organización comunitaria y la cultura urbana, contribuyendo a la formación de redes sociales, la preservación de tradiciones y el fortalecimiento del tejido comunitario. Su influencia positiva en estos ámbitos destaca la importancia de adoptar enfoques que reconozcan y valoren estas contribuciones en el desarrollo urbano. Al considerar el comercio informal como un aliado en lugar de un problema, las ciudades pueden aprovechar su potencial para enriquecer la vida comunitaria y cultural, promoviendo entornos urbanos más inclusivos y dinámicos.

## 2.5. Desafíos en la caracterización del comercio informal

A pesar del reconocimiento generalizado del comercio informal como un componente esencial de las economías urbanas, su caracterización precisa sigue siendo un desafío complejo para académicos y responsables de políticas públicas. La naturaleza heterogénea y dinámica de este fenómeno dificulta establecer definiciones claras y consensuadas, lo que complica la comprensión de sus implicaciones y la elaboración de estrategias efectivas para abordarlo.

1. Uno de los principales obstáculos radica en la diversidad intrínseca del comercio informal. Este abarca una amplia gama de actividades económicas que varían significativamente según el contexto socioeconómico y cultural en el que se desarrollan [18]. Desde vendedores ambulantes y pequeños artesanos hasta trabajadores independientes, las manifestaciones del comercio informal son múltiples y están

influenciadas por factores locales específicos. Esta variedad dificulta la creación de una definición única que capture todas sus formas y expresiones [58].

2. La falta de datos confiables es otro reto significativo. Debido a su naturaleza no regulada y frecuentemente no registrada, las actividades del comercio informal suelen escapar a las estadísticas oficiales [19]. Esta carencia de información limita la capacidad para cuantificar su magnitud real, comprender sus dinámicas internas y diseñar políticas públicas basadas en evidencia sólida [59].
3. Las discrepancias en las definiciones y criterios utilizados para identificar el comercio informal complican aún más su caracterización. Algunos enfoques se centran en la legalidad de las actividades, mientras que otros ponen énfasis en la falta de registro oficial o en la ausencia de protección social para los trabajadores involucrados [60]. Esta falta de consenso conduce a interpretaciones variadas y dificulta la comparación entre estudios y contextos geográficos diferentes [61].
4. La interacción constante entre el comercio informal y la economía formal añade otro nivel de complejidad. El comercio informal no opera en aislamiento; a menudo está interconectado con cadenas de suministro, mercados y fuerzas laborales del sector formal [62]. Esta interdependencia difumina las fronteras entre lo formal y lo informal, haciendo que las categorías rígidas sean insuficientes para describir la realidad económica [24].
5. La naturaleza dinámica y adaptable del comercio informal también presenta desafíos para su caracterización. Capaz de evolucionar rápidamente en respuesta a cambios económicos, políticos y sociales, el comercio informal se reinventa constantemente para sobrevivir y prosperar [63]. Su capacidad para adaptarse a nuevas tecnologías, regulaciones o demandas del mercado hace que cualquier caracterización sea temporal y específica del contexto.

Ante estos desafíos, surge la necesidad de explorar nuevas herramientas y metodologías que permitan una mejor comprensión del comercio informal. En este sentido, el uso de tecnologías emergentes ofrece oportunidades para abordar algunas de las dificultades en su caracterización. La integración de tecnologías de la información y la comunicación (TIC), la ciencia de datos y técnicas de teledetección puede facilitar la recopilación y procesamiento de datos que tradicionalmente han sido difíciles de obtener.

El uso de dispositivos móviles y aplicaciones digitales permite la recolección de información en tiempo real sobre las actividades informales [64]. Las encuestas móviles y plataformas digitales pueden recopilar datos sobre la ubicación, tipos de productos o servicios ofrecidos y patrones de movilidad de los comerciantes informales, lo que facilita la obtención de datos más precisos y actualizados.

Las tecnologías de teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) también pueden desempeñar un papel significativo en la caracterización del comercio informal. A través del análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas, es posible identificar y mapear áreas de alta concentración de asentamientos informales en el espacio urbano

[65]. Esta información geoespacial permite visualizar patrones y tendencias que ayudan a comprender cómo el comercio informal interactúa con la infraestructura de la ciudad y cómo ocupa el espacio público.

La ciencia de datos y las técnicas de aprendizaje automático ofrecen herramientas para procesar grandes volúmenes de datos provenientes de diversas fuentes, como redes sociales, transacciones electrónicas y registros de telefonía móvil [66]. Estos métodos pueden identificar comportamientos y tendencias en poblaciones que participan en la economía informal, proporcionando perspectivas que no serían posibles a través de enfoques convencionales.

No obstante, el uso de tecnologías también presenta desafíos que deben ser considerados. La brecha digital puede limitar el acceso de algunos comerciantes informales a estas herramientas, especialmente en regiones con infraestructura tecnológica deficiente o en poblaciones con bajos niveles de alfabetización digital [67]. Además, existen preocupaciones relacionadas con la privacidad y la ética en la recopilación y uso de datos personales, lo que requiere marcos legales y éticos adecuados para proteger los derechos de los individuos [68]. Por otro lado, estudios recientes han mostrado que la digitalización puede tener efectos mixtos sobre la economía informal. Si bien un mayor uso de Internet puede reducir la informalidad al mejorar el acceso a mercados y la transparencia de las transacciones, también puede aumentar su alcance en contextos donde las regulaciones son débiles y la calidad institucional es baja [69].

En conclusión, el comercio informal presenta una complejidad intrínseca que dificulta su caracterización precisa. A lo largo de este análisis, se ha evidenciado cómo este fenómeno influye en múltiples dimensiones urbanas: desde la transformación del uso del espacio público y los desafíos en el aseo y ornato de las ciudades, hasta su impacto en la organización comunitaria y la cultura. Estas diversas manifestaciones hacen que comprender plenamente el comercio informal sea una tarea compleja. La heterogeneidad de las actividades, la falta de datos confiables y las definiciones variables complican aún más su estudio y gestión. Este escenario plantea un problema central para académicos y responsables de políticas: *¿Cómo caracterizar eficazmente el comercio informal para entender su alcance e implicaciones en ciudades como Santiago?* Abordar esta cuestión es fundamental y la integración de herramientas tecnológicas puede ayudar a superar algunas de las limitaciones existentes en la recopilación y análisis de datos.

# Estado del arte

---

El presente capítulo se enfoca en revisar el estado del arte de estas tecnologías y metodologías, desde la perspectiva de la pregunta de investigación planteada. Se busca comprender cómo estas herramientas pueden aplicarse para superar las limitaciones actuales en la caracterización del comercio informal y qué oportunidades y desafíos presentan en este contexto.

### 3.1. Preámbulo

En primer lugar, se explorará el **procesamiento de datos geoespaciales** y cómo el análisis espacial puede contribuir a mapear y entender la distribución y concentración del comercio informal en el espacio urbano. Se examinarán las técnicas actuales para la recopilación y manejo de datos geográficos, la importancia de la resolución espacial y temporal, y cómo la integración de diferentes fuentes de información puede enriquecer el análisis. En segundo lugar, se analizarán las **técnicas de agrupamiento y análisis estadístico** que permiten identificar patrones y relaciones en conjuntos de datos complejos. Se discutirá cómo estos métodos pueden ayudar a descubrir factores subyacentes que influyen en la presencia y características del comercio informal, facilitando una comprensión más profunda del fenómeno. Además, se revisarán los avances en **visión por computadora y análisis de imágenes**, centrándose en cómo estas tecnologías pueden utilizarse para detectar y caracterizar visualmente el comercio informal a través del análisis de imágenes y videos. Se evaluará el potencial de estas técnicas para aportar datos adicionales y complementar otras fuentes de información, así como los desafíos éticos y técnicos asociados. Finalmente, se examinará el uso de **modelos de aprendizaje automático** para la predicción y clasificación de fenómenos urbanos. Se considerará cómo estos modelos pueden aplicarse para estimar la probabilidad de ocurrencia del comercio informal en diferentes áreas y condiciones, y cómo pueden

integrarse con otras metodologías para proporcionar una visión más integral. Es importante destacar que la revisión de estas áreas no solo busca identificar las tecnologías disponibles, sino también criticar y evaluar su aplicabilidad y eficacia en el contexto específico del comercio informal en Santiago de Chile. Se considerarán factores como la disponibilidad de datos, las limitaciones técnicas y operativas, y las implicaciones éticas y sociales de su implementación.

Se recurrirá a referencias científicas, estudios de casos y trabajos académicos que han aplicado estas metodologías en contextos similares o relacionados. Este enfoque permitirá situar la investigación en el marco más amplio de las prácticas y conocimientos actuales, identificando tanto las mejores prácticas como las brechas existentes en el conocimiento. La importancia de este análisis radica en que una caracterización más precisa del comercio informal no solo beneficiará a los investigadores y planificadores urbanos, sino que también tendrá implicaciones directas en la vida de quienes participan en estas actividades y en la comunidad en general. Al comprender mejor el fenómeno, será posible diseñar políticas más justas y efectivas que reconozcan el valor social y económico del comercio informal, al tiempo que se abordan los desafíos que representa para la gestión urbana.

En síntesis, se busca establecer una base sólida sobre la cual desarrollar estrategias y soluciones innovadoras para la caracterización del comercio informal. Al explorar el estado del arte desde la perspectiva de la pregunta de investigación, se pretende abrir nuevas vías de análisis y proporcionar herramientas que permitan abordar este fenómeno de manera más efectiva y comprensiva.

## 3.2. Representación de Datos geoespaciales

El análisis espacial es una herramienta fundamental en la comprensión de fenómenos urbanos complejos como el comercio informal. La capacidad para procesar y analizar grandes volúmenes de datos geoespaciales ha mejorado significativamente gracias al avance de las tecnologías de información geográfica y al incremento en la disponibilidad de datos espaciales de alta resolución [70].

La integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es esencial en el procesamiento de datos geoespaciales y la creación de grillas [70]. Los SIG permiten gestionar y analizar datos geográficos en múltiples formatos, como *Shapefiles* (SHP) y *GeoJSON*, facilitando la manipulación de información espacial compleja [71]. La capacidad de superponer capas de información y realizar operaciones espaciales, como la intersección y la unión, es crucial para enriquecer las celdas de la grilla con atributos provenientes de diferentes fuentes [72].

La automatización en la generación y procesamiento de grillas es un aspecto clave para manejar grandes volúmenes de datos y garantizar la reproducibilidad de los análisis [73]. Herramientas como *Python* con librerías especializadas (*GeoPandas*, *Shapely*, *Rasterio*) o plataformas SIG como *ArcGIS* y *QGIS* ofrecen funcionalidades avanzadas para la

manipulación de datos geospaciales y la creación de grillas personalizadas [74].

Una de las metodologías ampliamente utilizadas en el análisis espacial es la división del espacio en grillas o celdas regulares, lo que permite una discretización del espacio continuo en unidades manejables para el análisis. Esta aproximación, conocida como *modelo raster*, facilita la agregación y comparación de datos espaciales, ya que cada celda de la grilla puede asociar múltiples atributos que representan diversas variables de interés [75]. La utilización de grillas en el análisis urbano ha demostrado ser efectiva en la identificación de patrones espaciales y tendencias en la distribución de fenómenos socioeconómicos [76]. Por ejemplo, en [77] se empleó una red densa de sensores y técnicas de aprendizaje automático para inferir la calidad del aire en una cuadrícula de alta resolución, permitiendo una evaluación detallada de zonas con mayores niveles de polución. De manera similar, en [78] se utilizó grillas para analizar la distribución espacial de la actividad criminal en ciudades, identificando áreas con alta incidencia y facilitando la asignación de recursos de seguridad. En la Figura 3.1, se ilustra cómo una región urbana se divide en una grilla regular, permitiendo asignar y analizar datos en cada celda individualmente.

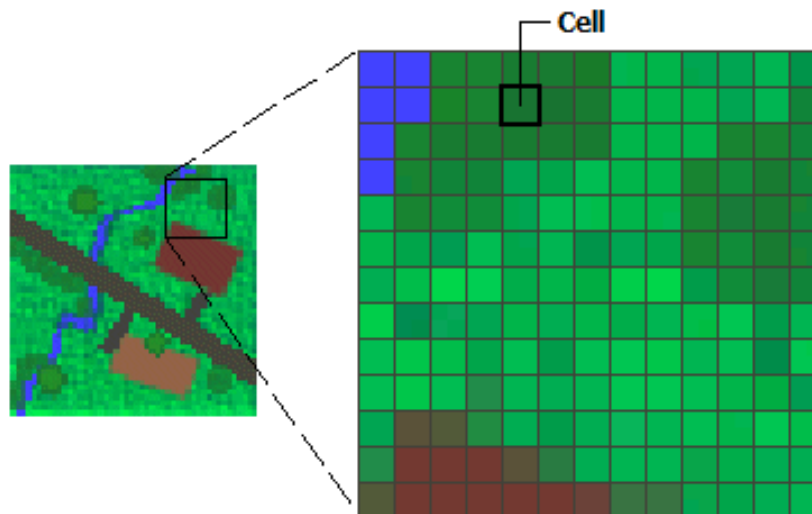


Figura 3.1: División de un área urbana en una grilla de 100x100 metros para el análisis espacial. Cada celda contiene atributos específicos que representan variables de interés. [79].

La elección del tamaño de la celda en la grilla es un factor crítico que afecta la resolución y la precisión del análisis [80]. Este tamaño determina la granularidad del análisis espacial, influyendo directamente en la capacidad para identificar patrones y tendencias relevantes en los datos geográficos. Un tamaño de celda demasiado grande puede ocultar patrones locales importantes, ya que no solo se promedia la información dentro de cada celda, sino que también se aplican distintas métricas y técnicas de agregación que pueden resultar en una pérdida de detalles críticos que podrían ser significativos para el análisis [81]. Por otro lado, un tamaño de celda demasiado pequeño puede generar un exceso de detalle que complica tanto el análisis como la interpretación de los resultados, además

de incrementar significativamente los requisitos computacionales debido a la mayor cantidad de datos a procesar.

Una vez determinado el tamaño óptimo de la celda, es posible alimentar la grilla con diferentes tipos de capas de datos geográficos, optimizando así el análisis espacial. En el caso de capas de puntos, la técnica común es realizar un conteo de puntos dentro de cada celda de la grilla, lo que proporciona una medida de densidad o frecuencia de eventos o características en esa área [82]. Esta metodología ha sido utilizada en estudios de distribución de servicios urbanos, como la localización de paradas de transporte público o la disponibilidad de instalaciones sanitarias [83, 84]. Además, cuando se trabaja con capas de líneas, como redes viales o de infraestructura, es habitual calcular la longitud total de líneas que atraviesan cada celda o la proporción del área de la celda cubierta por estas líneas [85]. Esto permite cuantificar la accesibilidad o conectividad de cada área, aspectos que pueden influir significativamente en la presencia y distribución del comercio informal [86].

La integración de datos temporales con datos espaciales, conocida como análisis espaciotemporal, permite estudiar la evolución de fenómenos a lo largo del tiempo y detectar tendencias o cambios en los patrones espaciales [75]. En el estudio del comercio informal, incorporar la dimensión temporal puede revelar períodos de mayor actividad o desplazamientos en la ubicación de los comerciantes, información valiosa para la planificación urbana y la gestión de recursos [87]. Sin embargo, es importante considerar las limitaciones y desafíos asociados al procesamiento de datos geoespaciales. La calidad y precisión de los datos pueden variar significativamente según la fuente, lo que puede afectar la reproducibilidad de los resultados [88]. Además, el manejo de grandes volúmenes de datos geoespaciales requiere recursos computacionales significativos y habilidades técnicas especializadas [89].

A continuación, en la Tabla 3.1, se presenta un resumen de las principales técnicas, aplicaciones y consideraciones relevantes para el análisis espacial y espaciotemporal en los distintos contextos, incluyendo tanto los métodos de discretización del espacio como la importancia de la automatización, la escala y la calidad de los datos.

| Aspecto clave            | Descripción y aplicación                                                                               |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Análisis espacial        | Herramienta fundamental para comprender fenómenos urbanos como el comercio informal [70].              |
| Modelo raster            | Dividir el espacio en grillas para discretización y análisis de datos [75].                            |
| Datos geoespaciales      | Fuentes diversas enriquecen el análisis y caracterización urbana [90].                                 |
| Capas de puntos          | Conteo en celdas para medir densidad y frecuencia de eventos [82].                                     |
| Capas de líneas          | Cálculo de longitud o proporción de área cubierta por líneas [85].                                     |
| Automatización           | Uso de herramientas como Python y SIG para reproducibilidad [73].                                      |
| Escala y resolución      | Tamaño de celdas afecta la precisión; resolución de 100x100 m es adecuada para comercio informal [80]. |
| Análisis espaciotemporal | Estudio de la evolución y tendencias espaciales a lo largo del tiempo [87].                            |
| Limitaciones y desafíos  | Calidad de datos, recursos computacionales y habilidades técnicas [88].                                |

Tabla 3.1: Resumen de técnicas y aplicaciones del análisis espacial.

### 3.3. Técnicas de agrupamiento y análisis estadístico

El *clustering* o agrupamiento es una técnica esencial en el análisis de datos que permite identificar patrones y estructuras subyacentes en conjuntos de datos complejos [91]. En el contexto geoespacial, el clustering facilita la segmentación del espacio en regiones homogéneas basadas en características compartidas, lo que es particularmente útil para entender la distribución y dinámica de fenómenos urbanos como el comercio informal [92].

Uno de los algoritmos de clustering más utilizados es *K-means*, conocido por su simplicidad y eficiencia computacional [93]. Este algoritmo busca particionar un conjunto de  $n$  observaciones en  $k$  clusters, en los que cada observación pertenece al cluster con la media más cercana. El objetivo es minimizar la suma de las distancias al cuadrado entre cada punto y el centroide de su cluster asignado:

$$J = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n ||x_i^{(k)} - \mu_k||^2 \quad (3.1)$$

Donde:

- $x_i^{(k)}$  es el  $i$ -ésimo punto en el cluster  $k$ .

- $\mu_k$  es el centroide del cluster  $k$ .

Este método es especialmente adecuado para conjuntos de datos grandes y permite una rápida convergencia hacia una solución [91].

La elección del número óptimo de clusters ( $k$ ) es un aspecto crítico en el proceso de clustering. Diversos métodos han sido propuestos para determinar el valor adecuado de  $k$ :

- **Método del Codo (*Elbow Method*):** Consiste en calcular la suma de las distancias al cuadrado dentro de los clusters para diferentes valores de  $k$  y elegir el punto donde la tasa de disminución se reduce significativamente [94].
- **Índice de Silueta:** Evalúa la separación y compacidad de los clusters formados, proporcionando una medida de la calidad del agrupamiento [95].

Antes de aplicar *K-means*, es fundamental preparar adecuadamente los datos para asegurar que todas las variables contribuyan de manera equitativa al proceso de agrupamiento. Esto se logra mediante la normalización de los atributos, una etapa esencial para evitar que variables con escalas mayores dominen el análisis [96]. Sin una adecuada normalización, las diferencias en las unidades o magnitudes de las variables pueden sesgar los resultados del clustering.

Existen diversas técnicas de normalización, siendo las más comunes la estandarización (*z-score*) y la normalización min-max. A continuación, se detalla la normalización min-max:

$$x'_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3.2)$$

Donde:

- $x_i$  es el valor original de la variable.
- $x_{\min}$  es el valor mínimo de la variable.
- $x_{\max}$  es el valor máximo de la variable.

La normalización min-max transforma los datos de cada variable para que sus valores estén dentro del rango  $[0, 1]$ . Esta transformación es crucial debido a que aporta a los siguientes elementos:

- **Uniformidad de Escalas:** Al normalizar las variables, se garantiza que cada una contribuya de manera equitativa al cálculo de distancias en el espacio multi-dimensional utilizado por *K-means*.

- **Preservación de la Distribución Original:** La normalización min-max mantiene la forma de la distribución de los datos, lo que puede ser beneficioso si se desea conservar las proporciones originales.
- **Facilitación de la Convergencia:** Datos normalizados dentro de un rango específico pueden facilitar una convergencia más rápida y estable del algoritmo, ya que los valores están restringidos dentro de un intervalo definido.

Aplicar la fórmula de la normalización min-max, permite que *K-means* evalúe las distancias en un espacio homogéneo y, por lo tanto, mejore la precisión del agrupamiento. La normalización asegura que ninguna variable con una mayor magnitud influya desproporcionadamente en la formación de los clusters, resultando en un análisis más equilibrado y representativo de las verdaderas estructuras presentes en los datos. Además de *K-means*, existen otros algoritmos de clustering relevantes en el análisis geoespacial:

- **DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise):** Identifica clusters basados en la densidad de puntos en el espacio, permitiendo la detección de clusters de forma arbitraria y manejando eficientemente el ruido [97].
- **Clustering Jerárquico:** Construye una jerarquía de clusters mediante la fusión o división sucesiva de clusters existentes [98].

En el análisis del comercio informal, el clustering puede revelar áreas con características similares en términos de infraestructura, accesibilidad, densidad poblacional y otros factores que pueden influir en la presencia de actividades informales [92]. Por ejemplo, se han aplicado técnicas de clustering para identificar zonas con alta concentración de comercio informal, relacionando estos clusters con variables socioeconómicas y urbanísticas [99]. La Figura 3.2 ilustra cómo el algoritmo K-means segmenta el espacio urbano en clusters basados en los atributos seleccionados, con el fin de generar rutas de inspección para distorsiones del espacio público como el comercio informal.

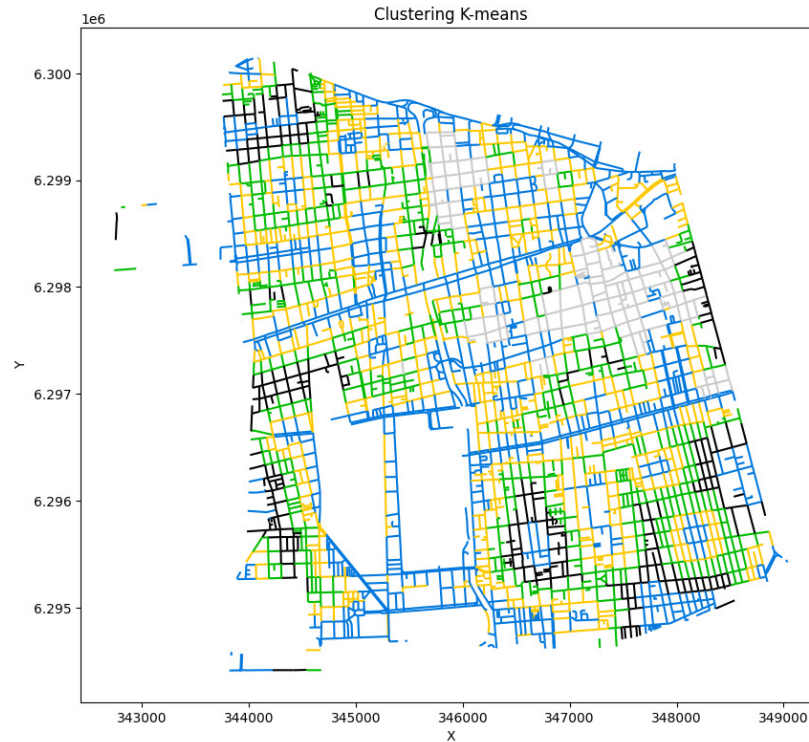


Figura 3.2: Resultados del clustering K-means aplicado a datos geoespaciales. [100]

Es necesario considerar las limitaciones y desafíos asociados al clustering geoespacial. La dependencia espacial, es decir, la influencia que la proximidad espacial tiene en las observaciones, puede violar las suposiciones de independencia de los datos en algunos algoritmos, afectando la validez de los resultados [101]. Técnicas como el Clustering Geográficamente Ponderado, GWC, del inglés, *Geographically Weighted Clustering*, han sido desarrolladas para abordar este problema, incorporando la distancia espacial en el proceso de agrupamiento [102].

### 3.4. Visión por Computadora en la Detección del Comercio Informal

La visión por computadora ha experimentado avances significativos en las últimas décadas, impulsada por el desarrollo de algoritmos de aprendizaje profundo y la disponibilidad de grandes conjuntos de datos etiquetados [103]. Esta disciplina busca desarrollar técnicas que permitan a las computadoras interpretar y comprender el contenido de imágenes y videos de manera similar a los humanos [104].

En el contexto de la detección de objetos, los modelos de aprendizaje profundo han demostrado un rendimiento excepcional. Algoritmos como *You Only Look Once* (YOLO) han revolucionado el campo al ofrecer detección de instancias de objetos en tiempo real

con alta precisión [105]. YOLO utiliza una sola red neuronal convolucional para predecir directamente las coordenadas de las cajas delimitadoras y las probabilidades de clase en una sola evaluación, lo que lo hace extremadamente eficiente [106]. La aplicación de visión por computadora en la detección del comercio informal implica el reconocimiento de características visuales típicas asociadas a estas actividades en imágenes urbanas [107]. Estas pueden incluir puestos callejeros, aglomeraciones de personas o exhibición de mercancías en espacios públicos. La capacidad para automatizar la detección de estas características permite recopilar datos precisos sobre la ubicación y frecuencia del comercio informal, facilitando su análisis y comprensión. Además de identificar elementos físicos como carpas, mesas improvisadas y mercancías expuestas en la vía pública, la visión por computadora también puede detectar patrones de comportamiento asociados al comercio informal. Por ejemplo, la interacción frecuente entre vendedores y transeúntes, la concentración de personas en áreas específicas y movimientos característicos pueden ser indicadores útiles [103]. La Figura 3.3 muestra un ejemplo de cómo un modelo de visión por computadora detecta y marca instancias de comercio informal en una imagen urbana.

El entrenamiento de modelos de detección de objetos requiere conjuntos de datos extensos y representativos. La calidad y diversidad de las imágenes de entrenamiento son cruciales para lograr un modelo robusto y generalizable. La técnica de aumento de datos (*data augmentation*) es comúnmente utilizada para incrementar la cantidad y diversidad de datos de entrenamiento, aplicando transformaciones como rotaciones, escalados y cambios de iluminación [108].

Existen desafíos técnicos y éticos en la aplicación de visión por computadora en entornos urbanos. Técnicamente, la oclusión de objetos, la variabilidad en las condiciones ambientales y la presencia de multitudes pueden complicar la detección precisa de las instancias de los objetos de interés [109]. Éticamente, la captura y análisis de imágenes de personas en espacios públicos plantea preocupaciones relacionadas con la privacidad y el consentimiento [110]. Es fundamental asegurar que la recolección de datos cumpla con las regulaciones de protección de datos y privacidad, implementando medidas como la anonimización de datos.



Figura 3.3: Detección automatizada de comercio informal en imágenes urbanas utilizando algoritmos de visión por computadora.

### 3.5. Modelos de Aprendizaje Automático para la Predicción Espacial

El aprendizaje automático ha emergido como una herramienta poderosa para el análisis y predicción de fenómenos complejos en diversas disciplinas, incluyendo las ciencias geoespaciales [111]. En el contexto urbano, los modelos de aprendizaje automático permiten analizar grandes volúmenes de datos espaciales y temporales para identificar patrones, hacer predicciones y apoyar la toma de decisiones [112].

Los modelos probabilísticos, como el clasificador *Naive Bayes*, son especialmente útiles para tareas de clasificación y predicción cuando se dispone de múltiples variables predictoras [113]. El *Naive Bayes* es un clasificador basado en la aplicación del teorema de Bayes, que asume independencia condicional entre las variables predictoras dada la clase.

La probabilidad posterior de que una instancia con características  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  pertenezca a la clase  $C_k$  se calcula como:

$$P(C_k|X) = \frac{P(C_k) \prod_{i=1}^n P(x_i|C_k)}{P(X)} \quad (3.3)$$

Como  $P(X)$  es constante para todas las clases, el clasificador se puede formular como:

$$P(C_k|X) \propto P(C_k) \prod_{i=1}^n P(x_i|C_k) \quad (3.4)$$

Donde:

- $P(C_k)$  es la probabilidad previa de la clase  $C_k$ .
- $P(x_i|C_k)$  es la probabilidad condicional de la característica  $x_i$  dado  $C_k$ .

La clase predicha es aquella que maximiza la probabilidad posterior:

$$C_{\text{pred}} = \arg \max_{C_k} P(C_k) \prod_{i=1}^n P(x_i|C_k) \quad (3.5)$$

Para predecir la presencia del comercio informal, el *Naive Bayes* puede ser entrenado utilizando un conjunto de datos que incluye variables como características socioeconómicas, variables ambientales, datos de infraestructura urbana y resultados de detecciones visuales. No obstante, la suposición de independencia condicional entre las variables puede limitar la precisión del modelo cuando existen fuertes correlaciones entre ellas [114]. En tales casos, es posible considerar modelos más complejos que capturen las

interacciones entre variables, como los árboles de decisión, bosques aleatorios (*Random Forests*) y modelos de aumento de gradiente (*Gradient Boosting*) [115]. Algunos modelos alternativos son:

- **Árboles de Decisión:** Dividen el espacio de variables en regiones homogéneas respecto a la variable objetivo [116].
- **Bosque Aleatorio (*Random Forest*):** Combinan múltiples árboles de decisión para mejorar la precisión y reducir el sobreajuste [115].
- **Redes Neuronales:** Capturan relaciones no lineales y complejas entre variables [117].

La evaluación y validación de los modelos es crucial. Se utilizan métricas como la precisión, el recall y el área bajo la curva ROC, del inglés, *Receiver Operating Characteristic* [118]. La validación cruzada y la división del conjunto de datos en entrenamiento y prueba son prácticas estándar.

## 3.6. Visualización de Resultados

La generación de mapas de calor (*heatmaps*) a partir de las probabilidades predichas permite visualizar espacialmente la probabilidad de presencia del comercio informal. La integración de modelos de aprendizaje automático con sistemas de información geográfica (SIG) potencia el análisis y facilita la interacción dinámica con los datos espaciales [119]. Plataformas como *ArcGIS* y *QGIS* ofrecen extensiones y funcionalidades para incorporar modelos predictivos y visualizar sus resultados en el contexto geográfico [120].

La Figura 3.4 ilustra cómo las áreas con mayor probabilidad de comercio informal se destacan mediante un mapa de calor. Este tipo de visualización facilita la identificación de zonas críticas donde la actividad informal es más probable, permitiendo a los analistas enfocar sus esfuerzos en áreas específicas.

Además de los mapas de calor, existen otras técnicas de visualización que permiten comprender mejor la distribución y dinámica de los fenómenos geográficos:

- **Mapas Coropléticos:** Los mapas coropléticos colorean áreas geográficas según el valor de una variable específica, como la densidad de comercio informal. Esta visualización permite comparar directamente diferentes regiones y detectar variaciones espaciales significativas. En la Figura 3.5, cada estado está coloreado en función de la densidad de una variable, lo que permite identificar fácilmente las áreas con mayor concentración de esa variable en comparación con otras regiones [121].

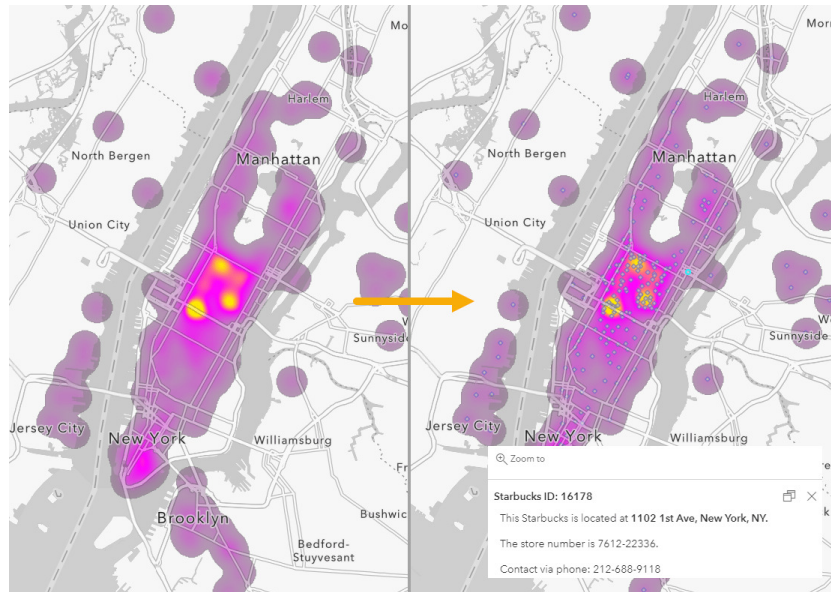


Figura 3.4: Mapa de calor mostrando la probabilidad de presencia de comercio informal predicha por el modelo de aprendizaje automático [122].

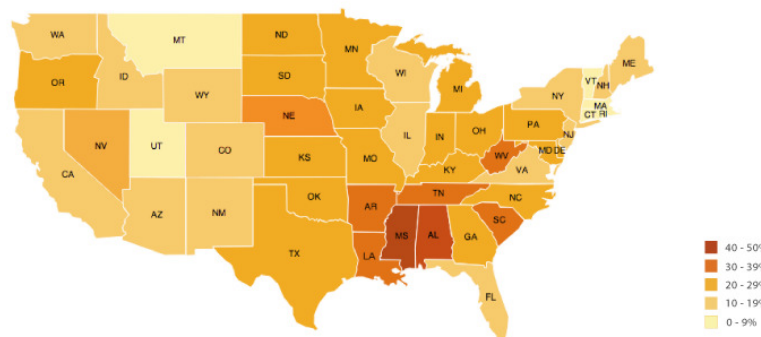


Figura 3.5: Mapa coroplético mostrando la densidad de una variable X por estado [123].

- **Mapas de Símbolos Proporcionales:** Este tipo de mapas utiliza símbolos, generalmente círculos, cuyo tamaño es proporcional a la magnitud de la variable representada, como la cantidad de negocios informales en cada sector. Permiten resaltar diferencias absolutas entre ubicaciones específicas [124].

La Figura 3.6 muestra cómo diferentes sectores están representados por círculos de tamaños variables, indicando por ejemplo la cantidad de negocios informales en cada uno. Esto facilita la comparación directa entre sectores específicos y resalta aquellos con mayor actividad.

- **Mapas de Densidad de Puntos:** Los mapas de densidad de puntos representan la distribución espacial de comercios informales mediante puntos individuales. Esta técnica es útil para visualizar, entre otras cosas, la concentración y dispersión

de negocios informales en áreas urbanas. En la Figura 3.7, cada punto representa un a variable, permitiendo observar claramente las áreas con alta concentración de la misma y aquellas con menor presencia, lo que ayuda a identificar patrones de dispersión [125].

- **Mapas de Red:** Los mapas de red visualizan infraestructuras como rutas de transporte público y conexiones entre comercios informales. Facilitan el análisis de la accesibilidad y conectividad de las áreas estudiadas [126].
- **Dashboards Geoespaciales Interactivos:** Los dashboards geoespaciales combinan múltiples visualizaciones en una interfaz interactiva, permitiendo a los usuarios explorar diferentes aspectos del comercio informal de manera dinámica. Estas herramientas facilitan la identificación de patrones complejos y la toma de decisiones informadas [127].
- **Mapas de Clustering Espacial:** Utilizando algoritmos como *K-means* o DBSCAN, los mapas de clustering espacial muestran agrupaciones naturales de comercios informales. Estos mapas ayudan a identificar concentraciones y entender las dinámicas espaciales subyacentes [128].

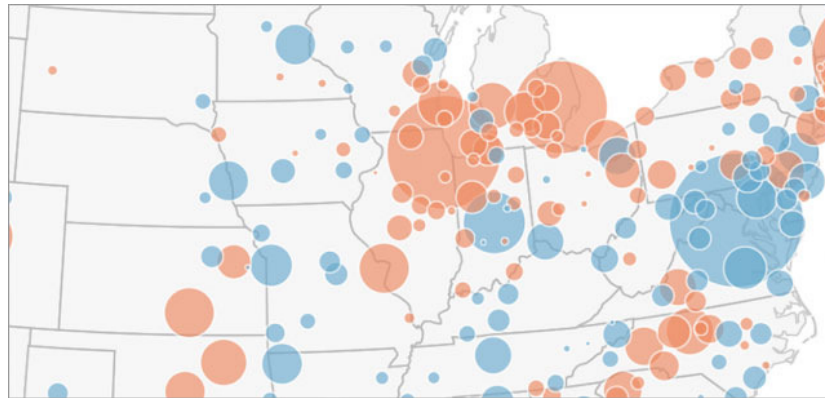


Figura 3.6: Mapa de símbolos proporcionales mostrando la cantidad de una variable por sector [129].

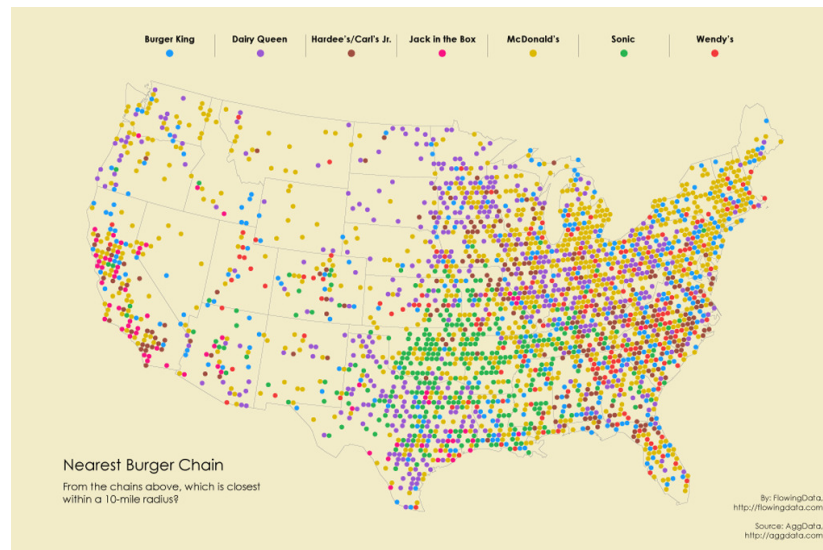


Figura 3.7: Mapa de densidad de puntos mostrando la distribución de una variable en el espacio [130].

Para facilitar la comparación y selección de la técnica de visualización más adecuada según el contexto y los objetivos del análisis, se presenta a continuación una Tabla 3.2 que resume las ventajas y desventajas de cada técnica de visualización geográfica señalada en este trabajo.

| <b>Técnica de Visualización</b>              | <b>Ventajas</b>                                                                                                          | <b>Desventajas</b>                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mapas de Calor</b><br>( <i>Heatmaps</i> ) | Fácil identificación de áreas con alta probabilidad de comercio informal. Representación intuitiva de densidades.        | Puede ocultar detalles específicos. Sensible a la elección de parámetros de suavizado.                                                                  |
| <b>Mapas Coropléticos</b>                    | Permiten comparar directamente diferentes regiones. Fácil de interpretar para variaciones relativas.                     | Pueden ser engañosos si las unidades geográficas son muy grandes o muy pequeñas. No muestran distribución interna dentro de las áreas.                  |
| <b>Mapas de Símbolos Proporcionales</b>      | Resaltan magnitudes absolutas de manera efectiva. Facilitan la comparación entre ubicaciones específicas.                | Pueden sobrecargar el mapa si hay muchos símbolos. Difíciles de interpretar en áreas con alta densidad de símbolos.                                     |
| <b>Mapas de Densidad de Puntos</b>           | Muestran detalladamente la distribución y concentración de eventos. Permiten identificar patrones de dispersión.         | Pueden ser difíciles de interpretar en áreas con alta densidad de puntos. Requieren una buena elección de escala de densidad.                           |
| <b>Mapas de Red</b>                          | Visualizan relaciones y conectividades entre elementos. Útiles para analizar accesibilidad y rutas de comercio informal. | Pueden volverse complejos y difíciles de leer con demasiadas conexiones. Requieren datos detallados de infraestructuras.                                |
| <b>Dashboards Geoespaciales Interactivos</b> | Integran múltiples visualizaciones en una sola interfaz. Permiten una exploración dinámica y filtrada de los datos.      | Requieren conocimientos técnicos para su creación. Pueden ser costosos en términos de desarrollo y mantenimiento.                                       |
| <b>Mapas de Clustering Espacial</b>          | Identifican agrupaciones naturales de comercio informal. Facilitan el análisis de dinámicas espaciales subyacentes.      | La precisión depende de la elección del algoritmo y los parámetros de clustering. Puede requerir interpretación adicional para comprender los clusters. |

Tabla 3.2: Ventajas y Desventajas de Técnicas de Visualización Geográfica en el Análisis de Comercio Informal.

### 3.6.1. Herramientas y Tecnologías para la Visualización Geoespacial

La efectividad de las visualizaciones geográficas depende en gran medida de las herramientas utilizadas. Algunas de las más destacadas incluyen:

- **Sistemas de Información Geográfica (SIG):** Los SIG son herramientas tecnológicas que permiten capturar, gestionar, analizar y visualizar datos georreferenciados. Estas plataformas son esenciales para comprender patrones espaciales y tomar decisiones basadas en datos geográficos. Los SIG se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, como urbanismo, medio ambiente, transporte y comercio.
- **Herramientas de Visualización Geoespacial:** Existen diversas bibliotecas y frameworks diseñados para visualizar datos geográficos de manera interactiva.

La combinación de estas técnicas y herramientas permite una representación comprensiva y detallada de la distribución y comportamiento del comercio informal, facilitando la identificación de patrones y apoyando la toma de decisiones estratégicas.

A lo largo de este capítulo, se han explorado diversas metodologías y tecnologías que pueden contribuir a una caracterización más efectiva del comercio informal en entornos urbanos. El procesamiento de datos geoespaciales, las técnicas de clustering, la visión por computadora y los modelos de aprendizaje automático ofrecen herramientas poderosas para analizar y comprender este fenómeno complejo. La integración de estas técnicas permite superar algunas de las limitaciones actuales en la obtención y análisis de datos sobre el comercio informal. Sin embargo, es fundamental abordar los desafíos técnicos, éticos y operativos asociados con su implementación.

# Propuesta de solución

---

En este capítulo se presenta la propuesta de solución, diseñada como una plataforma integral que aborda: *¿Pueden las herramientas tecnológicas geoespaciales y de machine learning permitir caracterizar el fenómeno del comercio informal en Santiago, para distinguir zonas de predisposición al desarrollo de la actividad?* La plataforma combina tecnologías avanzadas de análisis geoespacial, procesamiento de imágenes mediante inteligencia artificial y recorridos de campo, integrando la experiencia humana con la automatización y el uso de datos georreferenciados para ofrecer una solución robusta y escalable. Se detallan los requisitos tanto funcionales como no funcionales que garantizan su correcto funcionamiento, así como las condiciones tecnológicas y los principios de diseño que orientan el desarrollo de la plataforma, estableciendo las bases técnicas y conceptuales que sustentan su implementación. Además, se establecen las bases fundamentales para la construcción y el funcionamiento eficiente de la plataforma, asegurando que todos los componentes estén alineados con los objetivos del proyecto.

### 4.1. Requerimientos

Los requerimientos del sistema constituyen un conjunto de especificaciones que guían su diseño, implementación y evaluación, asegurando que cumpla con los objetivos planteados. Estos incluyen tanto aspectos funcionales, que describen las capacidades esenciales del sistema, como aspectos no funcionales, que determinan las condiciones y características necesarias para garantizar su calidad, rendimiento y sostenibilidad. Una clara definición de los requerimientos permite establecer las expectativas, priorizar tareas y facilitar la validación del sistema a lo largo de su ciclo de vida. Estos requerimientos se levantaron a través de un proceso iterativo basado en reuniones periódicas con un experto en planificación urbana, quien actuó como contraparte técnica. Durante estas reuniones, el experto proporcionó referencias e ideas clave sobre qué funcionalidades

serían valiosas para la plataforma, teniendo en cuenta las necesidades prácticas en la gestión de fenómenos urbanos como el comercio informal. Este enfoque permitió garantizar que los requerimientos reflejaran no solo los objetivos técnicos del proyecto, sino también las necesidades reales de los usuarios finales y del contexto urbano en el que la plataforma será implementada.

4.1.1. Requisitos Funcionales

Los requisitos funcionales establecen las capacidades específicas que el sistema debe cumplir para garantizar su correcto funcionamiento. Estos requisitos están diseñados para definir los comportamientos esperados en términos de operaciones, manejo de datos y flujo de trabajo, permitiendo que el sistema cumpla con sus objetivos principales. Uno de los aspectos clave es la capacidad de importar y almacenar datos geoespaciales en formatos estándar, lo cual asegura que la plataforma pueda manejar grandes volúmenes de información proveniente de diferentes fuentes. Esto incluye tanto datos vectoriales como ráster, esenciales para análisis espaciales detallados. Otro requisito importante es la capacidad de ofrecer información procesada que facilite el análisis espacial, permitiendo identificar patrones, detectar áreas críticas de comercio informal y realizar comparaciones entre zonas específicas. Esto implica la implementación de algoritmos que procesen los datos y generen indicadores clave para la toma de decisiones. Además, el sistema debe proporcionar herramientas de visualización, como mapas interactivos y gráficos, que permitan a los usuarios comprender fácilmente los resultados del análisis. Estas visualizaciones no solo ayudan en la interpretación de los datos, sino que también son fundamentales para comunicar hallazgos a diferentes audiencias. Finalmente, el sistema debe ser capaz de integrar datos de diversas fuentes de imágenes, como fotografías aéreas, imágenes satelitales o fotografías tomadas en campo. Esta funcionalidad requiere que el sistema pueda manejar diferentes formatos de imágenes y combinar esta información con los datos geoespaciales existentes para enriquecer el análisis. En la Tabla 4.1 se presenta un resumen de los requisitos funcionales que deberá cumplir el sistema.

| Requisitos Funcionales |                                                                                                                                                            |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RF1                    | El sistema debe permitir la importación y almacenamiento de datos geoespaciales.                                                                           |
| RF2                    | El sistema debe ofrecer información para el análisis espacial, como la detección de patrones y la identificación de áreas críticas del comercio callejero. |
| RF3                    | El sistema debe proporcionar visualizaciones de los datos mediante mapas y gráficos.                                                                       |
| RF4                    | El sistema debe integrar datos de diferentes fuentes de imágenes.                                                                                          |

Tabla 4.1: Resumen de los Requisitos Funcionales del Sistema.

### 4.1.2. Requisitos No Funcionales

Los requisitos no funcionales establecen las condiciones y propiedades que el sistema debe cumplir para garantizar su calidad global, su sostenibilidad y su capacidad para operar eficientemente bajo diferentes circunstancias. Aunque no describen las funcionalidades específicas del sistema, estos requisitos tienen un impacto directo en la experiencia del usuario, el rendimiento del sistema y su viabilidad a largo plazo. Un aspecto fundamental es la escalabilidad del sistema, es decir, la capacidad de manejar grandes volúmenes de datos sin degradar su desempeño. Esto es crucial para asegurar que el sistema pueda adaptarse a un aumento en la cantidad de datos geoespaciales, imágenes y usuarios sin comprometer la velocidad de procesamiento o la disponibilidad de los servicios. Otro requisito clave es la usabilidad, que implica que el sistema debe ser accesible y fácil de usar, incluso para usuarios con conocimientos técnicos limitados. Una interfaz intuitiva y bien diseñada facilita la interacción del usuario y asegura que las herramientas de análisis y visualización sean efectivas y accesibles. La seguridad también es prioritaria, considerando que el sistema manejará datos sensibles. Esto incluye la implementación de mecanismos para proteger la privacidad de los datos almacenados y la integridad del sistema frente a posibles ataques o accesos no autorizados. Además, el sistema debe ser compatible con estándares de interoperabilidad geoespacial. Esto permite que pueda integrarse fácilmente con otras herramientas y plataformas existentes, facilitando el intercambio de datos y el uso de tecnologías complementarias en análisis geoespaciales. Finalmente, la mantenibilidad es un aspecto crítico. El sistema debe estar diseñado para facilitar actualizaciones, correcciones de errores y la incorporación de nuevas funcionalidades sin interrumpir el servicio o requerir esfuerzos desproporcionados. En la Tabla 4.2 se detalla un resumen de los principales requisitos no funcionales que deberá cumplir el sistema.

| Requisitos No Funcionales |                                                                                 |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>RNF1</b>               | El sistema debe ser escalable para manejar grandes volúmenes de datos.          |
| <b>RNF2</b>               | El sistema debe ser accesible a través de una interfaz intuitiva.               |
| <b>RNF3</b>               | El sistema debe garantizar la seguridad y privacidad de los datos almacenados.  |
| <b>RNF4</b>               | El sistema debe ser compatible con estándares de interoperabilidad geoespacial. |

Tabla 4.2: Resumen de los Requisitos No Funcionales del Sistema.

### 4.1.3. Requisitos de Ambiente

La implementación efectiva de la plataforma propuesta requiere de un entorno adecuado que soporte las operaciones de procesamiento y análisis de datos geoespaciales, así como la visualización de la información generada. Para ello, es fundamental definir los

requisitos de ambiente que abarcan tanto el hardware como el software necesarios para el desarrollo y funcionamiento del sistema. La Tabla 4.3 presenta un resumen de los recursos de hardware y software necesarios para el desarrollo del sistema, destacando las herramientas empleadas para la gestión, análisis y visualización de datos geoespaciales, así como el etiquetado y entrenamiento de modelos de aprendizaje automático.

| Categoría              | Especificaciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hardware de Desarrollo | Google Colab Pro con 16 GB de RAM, 24 GB de VRAM, y GPU Nvidia L4.                                                                                                                                                                                                                                                |
| Software de Desarrollo | <b>Entorno de desarrollo:</b> QGIS, Python (con bibliotecas Pandas, GeoPandas y Matplotlib).<br><b>Gestor de bases de datos:</b> PostGIS para almacenamiento y consultas geoespaciales.<br><b>Herramienta de etiquetado:</b> Roboflow para la creación y gestión de conjuntos de datos de aprendizaje automático. |

Tabla 4.3: Resumen de los recursos de hardware y software para el desarrollo del sistema.

## 4.2. Perfiles de Usuario

Identificar y comprender los perfiles de usuario es fundamental para diseñar una interfaz intuitiva y funcional que satisfaga las necesidades específicas de cada grupo de usuarios. En este trabajo, se han definido tres perfiles principales: el Profesional Urbano, el Técnico de Campo y el Ciudadano Informado. Cada uno de estos perfiles posee características socioeconómicas, ocupacionales y personales que influyen en la forma en que interactúan con la plataforma. A continuación, se describen detalladamente estos perfiles, sus roles y sus necesidades particulares.

- **Profesional Urbano:** Este perfil corresponde a usuarios con educación superior interesados en la gestión urbana, como urbanistas, planificadores urbanos e investigadores. Presentan un buen estado de salud física y mental, además de una alta capacidad para realizar análisis críticos y tomar decisiones informadas. También poseen una notable adaptabilidad al uso de nuevas tecnologías y herramientas digitales.
- **Técnico de Campo:** Este perfil incluye usuarios con formación técnica, especializados en trabajos de campo y recolección de datos, como técnicos en mantenimiento urbano e inspectores de infraestructura. Cuentan con una buena condición física para realizar inspecciones en diversas condiciones climáticas y una atención al detalle que les permite identificar problemas en infraestructuras urbanas. Asimismo, tienen conocimientos prácticos en el uso de herramientas de medición y dispositivos de recolección de datos, experiencia previa en proyectos similares, y certificaciones en seguridad laboral y manejo de equipos técnicos.

- **Ciudadano Informado:** Este perfil abarca a usuarios con interés en la mejora de su comunidad, con un nivel educativo suficiente para comprender la información presentada. Puede incluir desde estudiantes hasta profesionales de diversas áreas. Estos usuarios muestran interés en el bienestar comunitario y en la resolución de problemas urbanos, además de ser capaces de interactuar con plataformas digitales y comprender visualizaciones de datos.

### 4.3. Diagrama de contexto

El diagrama de contexto define los límites entre el sistema y el ambiente, identificando las interacciones que se realizan entre estos. En la Figura 4.1, se observa cómo los datos y recursos fluyen hacia y desde el sistema central, permitiendo entender la dinámica de entradas y salidas. Este diagrama actúa como una representación macroscópica, donde se destacan las entidades externas que intervienen en el proceso, los tipos de datos que proporcionan y los resultados que esperan obtener del sistema. Es destacable que la data es toda tratada en el módulo de procesamiento, la cual es posteriormente entregada hacia la visualización de datos escogida.

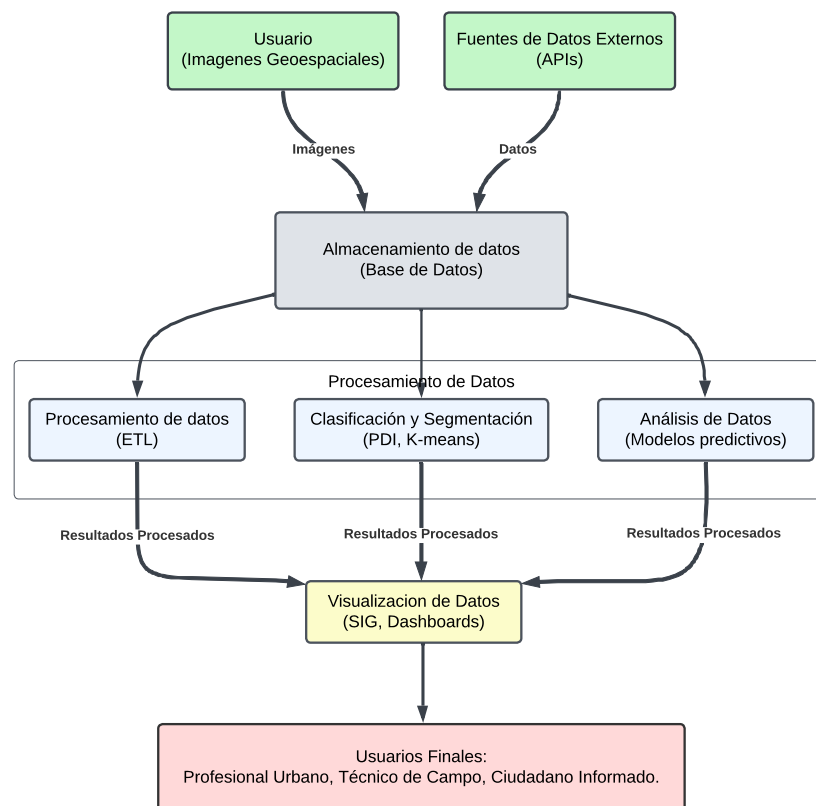


Figura 4.1: Diagrama de contexto del sistema.

## 4.4. Diagrama de Arquitectura

El Diagrama de Arquitectura representa la estructura interna del sistema, detallando los diferentes módulos que lo componen y las interacciones entre ellos. A diferencia del diagrama de contexto, que establece los límites externos del sistema, este diagrama ofrece una visión detallada de la organización de los componentes internos, permitiendo comprender cómo se integran y colaboran para cumplir con los requisitos funcionales. Además estructura en módulos que facilitan la implementación, mantenimiento y escalabilidad del proyecto, donde cada módulo desempeña una función específica dentro del sistema, asegurando un flujo de trabajo eficiente y una clara separación de responsabilidades.

El almacenamiento de datos actúa como núcleo central, donde se integran y organizan los datos provenientes de diversas fuentes, como imágenes georreferenciadas y capas cartográficas. Estos datos son preparados por el módulo de procesamiento, encargado de realizar tareas como limpieza, transformación y preparación de los datos para análisis. Posteriormente, el módulo de clasificación y segmentación aplica algoritmos de aprendizaje automático, como los utilizados en visión por computadora o K-means, para identificar patrones espaciales y clasificar la información recolectada. Los resultados generados son enviados al módulo de análisis de datos, donde se desarrollan modelos predictivos que permite generar información relevante para la visualización. Finalmente, el módulo de visualización de datos transforma los resultados procesados en representaciones visuales (mapas), utilizando herramientas como frameworks y bibliotecas de visualización de mapas. Estas visualizaciones son consumidas por diferentes perfiles de usuario, facilitando la comprensión y análisis de la información presentada.

Cabe destacar que el diseño modular de la arquitectura garantiza su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y adaptarse a futuras mejoras, e incorpora un flujo de retroalimentación que permite a los usuarios finales interactuar con la plataforma y ajustar parámetros de procesamiento y análisis, fortaleciendo así el proceso iterativo de mejora continua. En la Figura 4.2 se presenta el diagrama de arquitectura del sistema, que ilustra los componentes principales y las interacciones entre ellos. Se destacan el flujo de datos desde la entrada de información hasta la visualización de resultados y el rol de cada módulo en el proceso global.

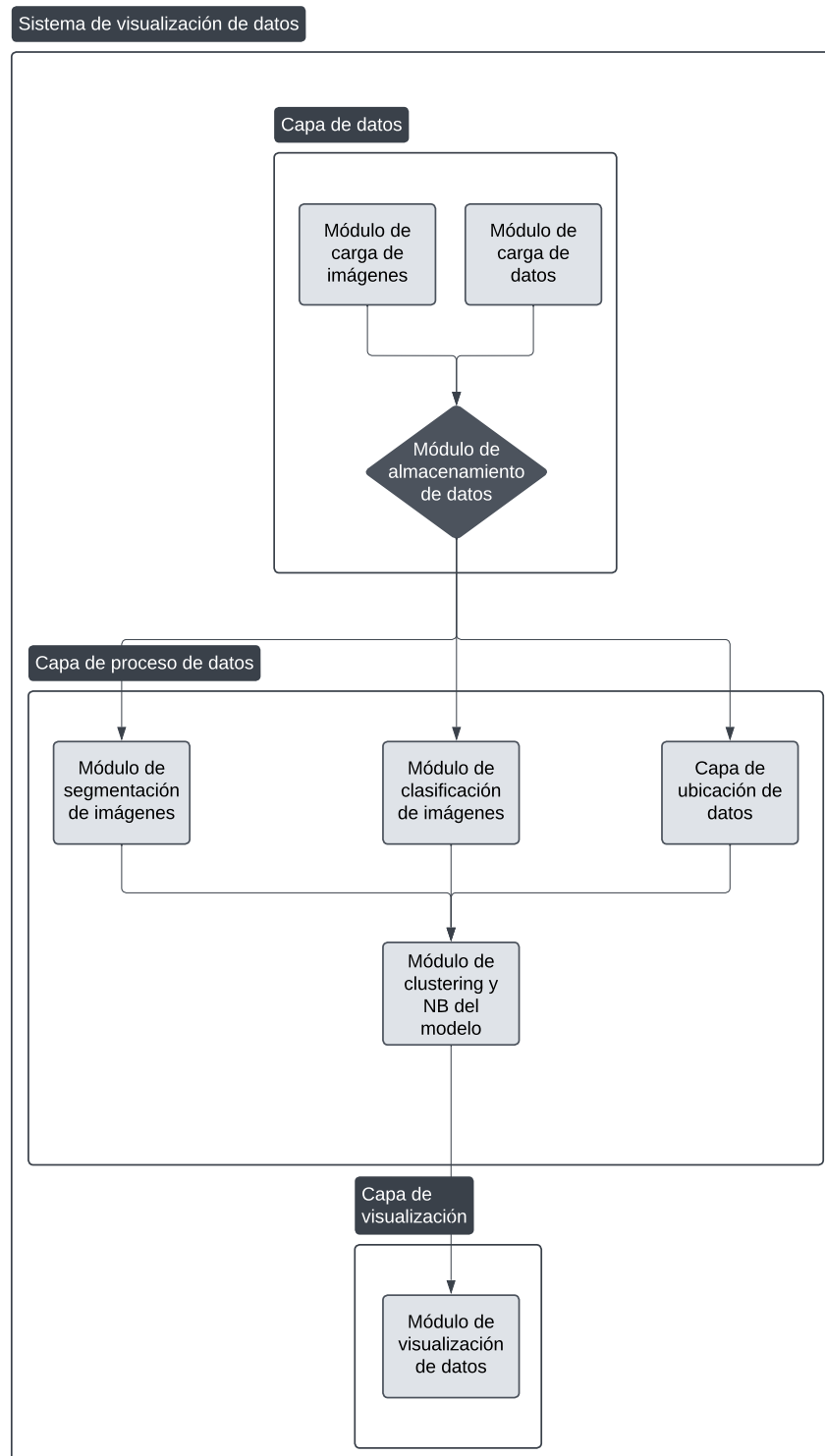


Figura 4.2: Diagrama de arquitectura del sistema.

## 4.5. Diagrama de interfaces

En la Figura 4.3, se presenta una representación visual del flujo de trabajo y las interacciones entre los distintos componentes del sistema, destacando las acciones y funcionalidades disponibles para el usuario. Este diagrama organiza y clarifica cómo los datos son procesados, filtrados y visualizados, ofreciendo una visión entre la arquitectura y la experiencia del sistema.

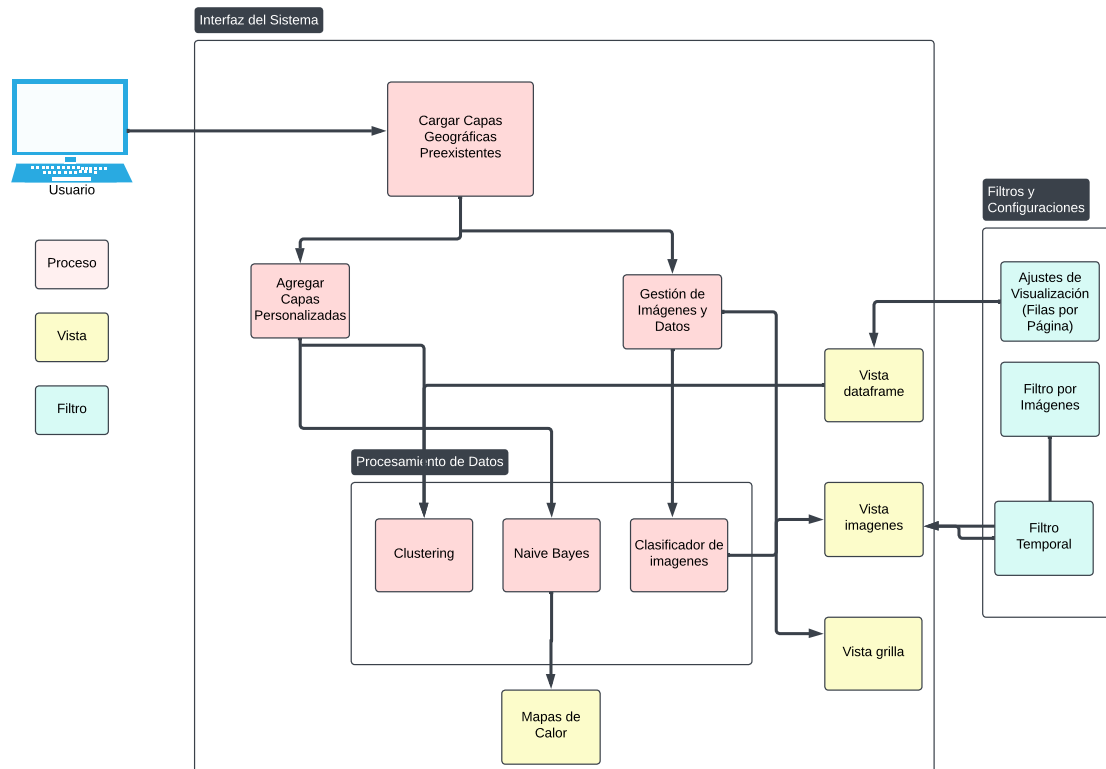


Figura 4.3: Diagrama de interfaces de la solución propuesta.

La comprensión del funcionamiento se facilita al mostrar de forma secuencial cómo las diferentes etapas se interconectan. Inicia con procesos específicos que permiten transformar y procesar los datos, continúa con filtros que personalizan la información según las necesidades del usuario y finaliza con vistas que entregan los resultados procesados de manera visual e interactiva. Esta representación ayuda a los usuarios y desarrolladores a identificar claramente qué acciones ocurren en cada etapa y cómo estas contribuyen al resultado final. Para mejorar la interpretación, el diagrama utiliza una codificación por colores que distingue las categorías de componentes:

- **Rojo:** Identifica los procesos que ejecutan operaciones internas del sistema, como el análisis de datos y las transformaciones necesarias.

- **Azul:** Representa los filtros, que permiten al usuario refinar y limitar los datos mostrados según criterios específicos.
- **Amarillo:** Corresponde a las vistas, las cuales muestran la información final de manera visual, permitiendo la interacción y el análisis directo de los resultados.

## 4.6. Módulos

Los módulos están organizados de forma secuencial y funcional, permitiendo el procesamiento ordenado de la información, desde la captura inicial de imágenes y datos hasta su visualización final. El diseño modular facilita la escalabilidad y el mantenimiento del sistema, asegurando que cada componente pueda ser optimizado o ampliado de manera independiente. Además, se destaca la interdependencia entre los módulos, donde la salida de un componente actúa como entrada para el siguiente, conformando un flujo de datos coherente que garantiza el análisis eficiente de las imágenes y los datos recopilados.

### 4.6.1. Módulo de Carga de Imágenes

- **Propósito:** Capturar imágenes de diversas fuentes, incluyendo cámaras urbanas y drones.
- **Alcance:** Asegura la recolección eficiente de imágenes para análisis posterior.
- **Dependencias:** Depende de dispositivos de captura operativos y conectividad de red.
- **Supuestos:** Disponibilidad continua de dispositivos de captura y transmisión de datos.
- **Restricciones:** Alto volumen de datos y necesidad de almacenamiento temporal eficiente.
- **Estructura General:**
  - **Entradas:** Imágenes desde cámaras y drones.
  - **Ejecución:** Recepción y primer filtro de calidad de imágenes.
  - **Salidas:** Imágenes almacenadas para su procesamiento.

### 4.6.2. Módulo de Carga de Datos

- **Propósito:** Integrar datos de diversas fuentes, incluyendo capas de SIG y bases de datos públicas.

- **Alcance:** Centralizar la recolección de datos estructurados necesarios para el análisis.
- **Dependencias:** Sistemas externos de datos y APIs.
- **Supuestos:** Acceso sin restricciones a fuentes de datos externas.
- **Restricciones:** Requiere mecanismos robustos de seguridad para la transmisión de datos.
- **Estructura General:**
  - **Entradas:** Capas SIG en shp y geojson, provenientes de bases de datos públicas, y otros sistemas.
  - **Ejecución:** Validación, normalización y estructuración de los datos.
  - **Salidas:** Datos estructurados listos para almacenamiento y análisis.

#### 4.6.3. Módulo de Almacenamiento de Datos

- **Propósito:** Almacenar de forma segura y eficiente los datos recopilados.
- **Alcance:** Proporcionar un repositorio central para todos los datos del sistema.
- **Dependencias:** Infraestructura de almacenamiento y gestión de bases de datos.
- **Supuestos:** Suficiente capacidad de almacenamiento y respaldos regulares.
- **Restricciones:** Cumplimiento de normativas de protección de datos.
- **Estructura General:**
  - **Entradas:** Datos desde los módulos de ingesta.
  - **Ejecución:** Almacenamiento, indexación y respaldo de datos.
  - **Salidas:** Datos disponibles para consulta y análisis.

#### 4.6.4. Módulo de Clasificación de Imágenes

- **Propósito:** Procesar y clasificar imágenes para la extracción de elementos relevantes, específicamente toldos azules.
- **Alcance:** Identificar elementos clave dentro de las imágenes para análisis detallado.
- **Dependencias:** Algoritmos avanzados de procesamiento de imágenes y hardware de computación.

- **Supuestos:** Imágenes de alta calidad y algoritmos eficientes de segmentación.
- **Restricciones:** Requiere alta capacidad de procesamiento.
- **Estructura General:**
  - **Entradas:** Imágenes desde el módulo de almacenamiento de datos.
  - **Ejecución:** Aplicación de técnicas de visión por computadora para segmentar imágenes.
  - **Salidas:** Imágenes segmentadas listas para clasificación y análisis.

#### 4.6.5. Capa de Ubicación de Datos

- **Propósito:** Integrar datos geospaciales para proporcionar contexto espacial al análisis.
- **Alcance:** Enriquecer la información con ubicación precisa para mejor entendimiento y visualización.
- **Dependencias:** Sistemas de información geográfica e imágenes georreferenciadas para el modelo.
- **Supuestos:** Precisión y actualización constante de los datos geospaciales.
- **Restricciones:** Dependencia de fuentes de datos geospaciales precisas y actualizadas.
- **Estructura General:**
  - **Entradas:** Datos georreferenciados desde diversos módulos.
  - **Ejecución:** Sincronización y correlación de datos espaciales.
  - **Salidas:** Datos enriquecidos con información de ubicación.

#### 4.6.6. Módulo de Clustering y Naive bayes.

- **Propósito:** Aplicar técnicas estadísticas y de machine learning para modelar y predecir patrones urbanos.
- **Alcance:** Utilizar análisis predictivo y descriptivo para entender y prever dinámicas urbanas.
- **Dependencias:** Datos procesados y algoritmos de análisis.
- **Supuestos:** Datos limpios y adecuadamente preparados para análisis.

- **Restricciones:** Complejidad en la interpretación de modelos y necesidad de expertos en datos.
- **Estructura General:**
  - **Entradas:** Datos clasificados y ubicados geoespacialmente.
  - **Ejecución:** Aplicación de máquina Naive Bayes.
  - **Salidas:** Modelos y resultados de análisis para toma de decisiones.

#### 4.6.7. Módulo de Visualización de Datos

- **Propósito:** Presentar los datos procesados de manera intuitiva y accesible para los usuarios finales.
- **Alcance:** Generar visualizaciones dinámicas que faciliten la comprensión y el análisis de los datos.
- **Dependencias:** Resultados de los módulos de análisis y herramientas de visualización.
- **Supuestos:** Disponibilidad de herramientas avanzadas de visualización y capacidad de interacción del usuario.
- **Restricciones:** Alto rendimiento y escalabilidad de las soluciones de visualización.
- **Estructura General:**
  - **Entradas:** Datos analizados y modelos predictivos.
  - **Ejecución:** Creación de información en mapa, por capas.
  - **Salidas:** Visualizaciones comprensibles y accesibles para la toma de decisiones.

Estos módulos están interrelacionados para asegurar que cada componente del sistema cumpla de manera eficiente con los requisitos funcionales definidos. Con el fin de proporcionar una visión clara y concisa de esta dependencia y relación, se presenta en la matriz de requisitos funcionales y módulos (Véase Tabla 4.4).

La matriz muestra de manera detallada cómo cada requisito funcional se asigna a uno o varios módulos específicos del sistema. Por ejemplo, el requisito **RF2**, que se centra en el análisis espacial y la detección de patrones, está directamente relacionado con el módulo de Análisis Geoespacial y el módulo de Inteligencia Artificial. De esta manera, se garantiza que las funcionalidades críticas del sistema están respaldadas por los módulos adecuados, promoviendo una integración fluida y una operación eficiente. Además, esta matriz facilita la identificación de posibles solapamientos o lagunas en la cobertura de

los requisitos, permitiendo realizar ajustes y optimizaciones en la estructura modular antes de la fase de desarrollo. De este modo, se minimizan los riesgos de incumplimiento de requisitos y se optimiza el uso de recursos durante la implementación del sistema.

|     | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| RF1 | x  | x  |    |    |    |    | x  |    |
| RF2 | x  |    | x  |    |    | x  |    | x  |
| RF3 |    |    |    | x  | x  |    |    | x  |
| RF4 | x  |    |    |    |    |    |    | x  |
| RF5 | x  | x  |    |    |    |    |    |    |

Tabla 4.4: Matriz de requisitos funcionales y módulos.

Esta matriz actúa como una herramienta fundamental para identificar qué módulos están encargados de satisfacer cada requisito funcional, facilitando así la comprensión de la arquitectura del sistema y asegurando una implementación coherente y alineada con los objetivos del proyecto.

## 4.7. Mockups de la plataforma

Los mockups de la plataforma ofrecen una representación visual preliminar del diseño y la funcionalidad que se espera implementar. Estos modelos gráficos permiten anticipar la interacción entre los usuarios y la interfaz, asegurando que el diseño sea intuitivo, accesible y adecuado a las necesidades de los diferentes perfiles de usuario definidos. Además, los mockups ayudan a visualizar cómo se presentarán los datos procesados y las herramientas de análisis en la plataforma, sirviendo como una guía clave para el desarrollo y facilitando la retroalimentación temprana por parte de los interesados.

### 4.7.1. Vista principal

La Figura 4.4a, representa la vista principal de la plataforma, diseñada para facilitar la carga y selección de datos necesarios para el análisis. Desde esta interfaz, los usuarios pueden cargar capas geoespaciales e imágenes georreferenciadas, seleccionar atributos específicos para procesar y visualizar el estado actual de los datos cargados. Además, incluye opciones para procesar imágenes y datos geográficos, mostrando una vista preliminar en formato de mapa que facilita la interacción y el análisis inicial.

### 4.7.2. Vista del módulo de clustering

La Figura 4.4b muestra la vista del módulo de clustering de la plataforma, diseñada para realizar agrupamientos en función de atributos seleccionados por el usuario. Desde

esta interfaz, el usuario puede elegir las características relevantes para el análisis, como ISMT (Índice Socio Material y Territorial), uso del suelo o presencia de comercio, e indicar el número de clústeres que desea generar. Una vez configurados los parámetros, el sistema procesa los datos y presenta los resultados en un mapa interactivo que ilustra las áreas agrupadas según los criterios establecidos. Esta funcionalidad es esencial para identificar patrones espaciales y dinámicas clave dentro de la información procesada, permitiendo una visualización clara y efectiva de los resultados.

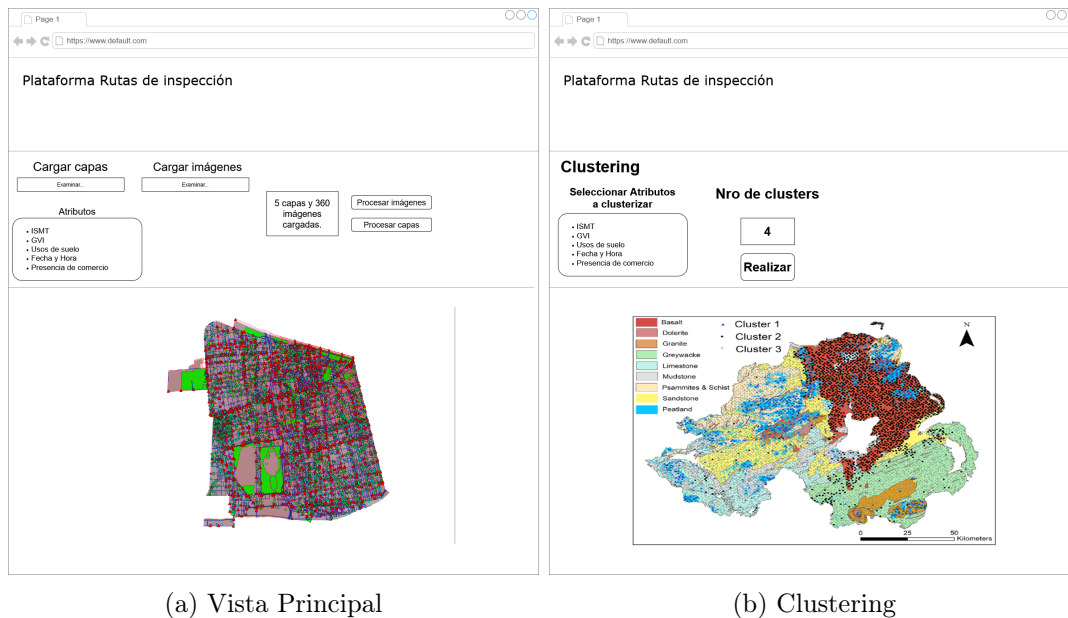


Figura 4.4: Mockups de las vistas principales de la plataforma: Vista Principal y Clustering.

### 4.7.3. Vista de resultados

Finalmente, la Figura 4.5 presenta la vista del módulo de visualización del mapa de calor, donde se muestra una representación preliminar de los datos procesados. Este módulo permite observar la probabilidad de presencia de comercio en el área de estudio. El mapa de calor utiliza una escala de colores para facilitar la identificación visual de zonas con mayores o menores valores, ofreciendo a los usuarios una herramienta intuitiva para el análisis espacial.

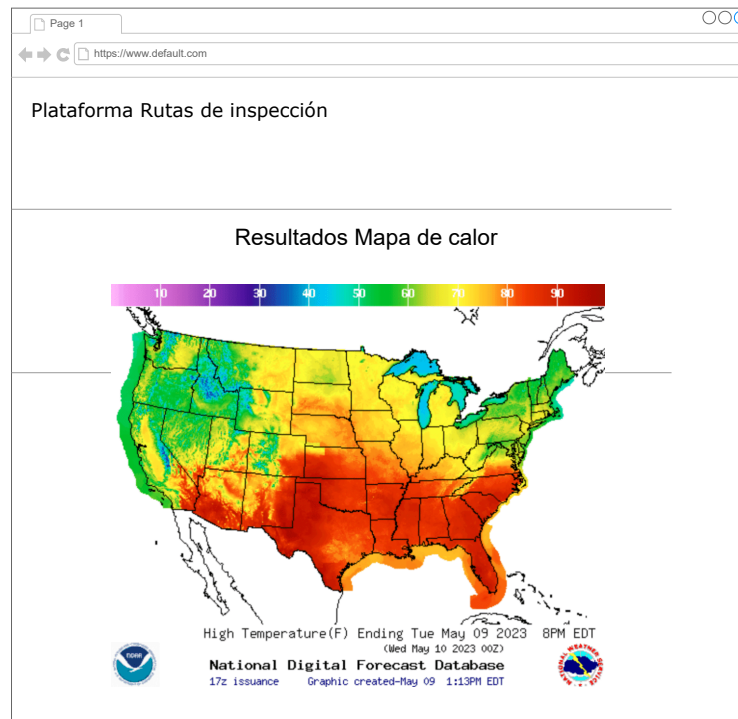


Figura 4.5: Mockup de la vista del mapa de calor.

## Implementación y resultados

---

En este capítulo se detalla el desarrollo de los módulos del producto, proporcionando una referencia clara de las herramientas y la metodología empleada, las técnicas de procesamiento y los mecanismos de validación. Asimismo, se describe el flujo de trabajo, la integración de las diferentes fuentes de información y las iteraciones que han dado forma al prototipo de la plataforma. Todo esto con el objetivo de ofrecer una visión integral del sistema, desde la captura de datos en terreno hasta la generación de resultados visualmente interpretables y listos para la toma de decisiones.

### 5.1. Caso de Uso

El **Centro de Santiago** se ha convertido en un foco crítico del comercio informal debido a su alta densidad poblacional, la afluencia constante de peatones y su relevancia como centro comercial y turístico. Según informes recientes del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la informalidad laboral ha alcanzado un **27,5 %** [10], lo que equivale a más de 85 mil personas en la Región Metropolitana. Este crecimiento ha generado múltiples desafíos urbanos, los que abordamos anteriormente, alimentando la necesidad de monitorear y analizar el comercio informal para generar información sistemática que permita una gestión eficiente del espacio público y el diseño de políticas urbanas basadas en evidencia.

Así, el objetivo general del desafío podemos definirlo en establecer **recorridos peatonales de inspección** mediante el uso de una plataforma integrada que utiliza **tecnologías de inteligencia artificial, georreferenciación y procesamiento automatizado de imágenes**, con el fin de:

- Detectar y mapear la ubicación de puestos de comercio informal.

- Identificar patrones y tendencias en la ocupación del espacio público.
- Facilitar la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales.

## 5.2. Configuración de Desarrollo e Implementación

La metodología seguida no se concibe como un proceso rígidamente lineal. Por el contrario, se adoptó un enfoque iterativo y modular, capaz de incorporar retroalimentación a lo largo de todo el ciclo de desarrollo. Esto se debe a que, en problemas urbanos complejos, las condiciones cambian rápidamente y la disponibilidad de datos varía en el tiempo. Por ende, es fundamental contar con una arquitectura flexible y escalable que permita ajustar parámetros, refinar modelos y actualizar el sistema conforme surjan nuevos requerimientos o información adicional.

La propuesta plantea la implementación de una plataforma que soporta caminatas inspectivas tecnológicas, donde el personal realiza recorridos programados por rutas estratégicamente seleccionadas en el centro de Santiago. En cada etapa se han tomado decisiones tecnológicas específicas con la intención de equilibrar precisión, costo computacional, interpretabilidad y facilidad de implementación. Estas etapas son las siguientes:

1. Captura y preparación de datos.
2. Representación espacial y estructura de la información.
3. Procesamiento de imágenes mediante visión por computadora.
4. Análisis espacial y modelamiento probabilístico.
5. Visualización y exploración de resultados.

### 5.2.1. Captura y preparación de datos

La calidad y relevancia de los datos son aspectos centrales en cualquier proyecto de análisis urbano. Dado que el comercio informal es un fenómeno territorial, se requieren datos que reflejen su distribución en el espacio público. A continuación, se presentan las configuraciones escogidas para la implementación de esta etapa:

- **Imágenes georreferenciadas y con información temporal:** Se optó por el uso de cámaras portátiles Insta360 X3, capaces de capturar imágenes de alta resolución y en ángulos amplios mientras se realizan caminatas de inspección por rutas estratégicamente seleccionadas en el centro de Santiago. Estas imágenes se asocian a coordenadas GPS y al momento en el que fueron tomadas mediante sus etiquetas *EXIF*, del inglés, *Exchangeable Image File Format*, estas etiquetas

almacenan metadatos relacionados al contexto de una imagen, por ejemplo, la cámara con la que fue tomada, la fecha y hora e incluso la ubicación como mencionamos anteriormente. La razón detrás de esta decisión es doble: por un lado, se obtiene evidencia visual directa del estado del espacio público y la presencia de comercio informal; por otro, la georreferenciación facilita integrar estas imágenes con otros datos geoespaciales. Es importante mencionar que si las imágenes no poseen información de su ubicación o son de un lugar geográfico diferente al del caso de uso, no son consideradas. Por otro lado si no poseen información temporal, se considera que la foto fue tomada al momento de su carga a la plataforma (véase 2).

- **Capas vectoriales y datos SIG (Sistemas de Información Geográfica):** Además de las imágenes, se incorporan datos geográficos en formatos estándar (como *Shapefile* o *GeoJSON*) para representar elementos urbanos relevantes, tales como calles, usos de suelo, densidad poblacional entre otras variables que pudieran influir en la ubicación del comercio informal. La elección de estos formatos responde a su amplia adopción en el ámbito de los SIG, la compatibilidad con múltiples herramientas y el soporte de bibliotecas de Python (como GeoPandas).
- **Verificación de consistencia de datos:** Se requieren los archivos auxiliares de un Shapefile (*.shp*, *.shx*, *.dbf*, *.prj*) para garantizar la correcta interpretación espacial y atributiva de los datos. Esto elimina la incertidumbre sobre proyecciones, codificaciones y geometrías, asegurando la reproducibilidad del análisis.
- **Tratamiento específico para capas:** Se optó por dar un procesamiento diferenciado según la geometría de las capas cartográficas cargadas por el usuario. Esto responde a las diferencias cualitativas y cuantitativas de la información que pueden poseer estas capas que espacialmente representan objetos diferentes (Geometrías de líneas y puntos). Para profundizar en esto véase el Anexo 1.

Esta fase busca establecer una base de datos georreferenciada, coherente y flexible. Al disponer de datos visuales y espaciales bien organizados, se sientan las bases para un análisis integral del fenómeno. En la Tabla 5.1 se entrega un resumen de las tecnologías escogidas para la etapa de preparación y captura de datos.

| Tecnología                        | Uso                                                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Insta360 X3                       | Captura de imágenes georreferenciadas con etiquetas <i>EXIF</i> .    |
| GeoPandas                         | Manejo de datos SIG y procesamiento de formatos GeoJSON y Shapefile. |
| Shapely                           | Procesamiento y análisis de geometrías (líneas, puntos, polígonos).  |
| PostGIS                           | Almacenamiento y consultas espaciales en bases de datos.             |
| Formatos SIG (Shapefile, GeoJSON) | Estandarización de datos geográficos para análisis y compatibilidad. |

Tabla 5.1: Resumen de tecnologías seleccionadas para captura y preparación de datos.

### 5.2.2. Representación espacial y estructura de la información

Dado el carácter complejo y heterogéneo del comercio informal, se necesita una forma de comparar distintas áreas del centro de Santiago. Para lograr esto, se decidió discretizar el espacio en una grilla regular de 100x100 metros. Las motivaciones para esta elección incluyen:

- **Granularidad adecuada:** Celdas muy grandes diluirían la información, ocultando patrones locales y dificultando la detección de áreas críticas. Celdas muy pequeñas, en cambio, incrementarían el costo computacional y harían el análisis excesivamente detallado, dificultando la interpretación, además fuera de los aspectos computacionales, un tamaño menor, como 25x25 m en etapas preliminares del diseño, homogenizaba las áreas a estudiar, no pudiendo establecer áreas con diferencias considerables entre sí. El tamaño 100x100 m se considera un punto medio razonable, ofreciendo un nivel de detalle suficiente para identificar dinámicas locales sin comprometer la eficiencia del sistema.
- **Uniformidad en el análisis:** La grilla actúa como una unidad espacial estándar. Cada celda puede albergar múltiples atributos (conteo de objetos detectados en imágenes, indicadores socioeconómicos, proximidad a vías principales, etc.). Esto facilita comparar cuadrados enteros y detectar tendencias o correlaciones espaciales.

Las estructuras mediante las que se maneja la información geográfica corresponden a *GeoDataFrames* ideales para manejar información georreferenciada. Cada celda de la grilla se representa como un área (un cuadrado), a la cual se asocian atributos numéricos o categóricos. Esta elección tecnológica se justifica por la facilidad de integrar GeoPandas con Pandas (análisis tabular), Shapely (operaciones geométricas), Fiona (lectura de archivos GIS) y otros componentes del ecosistema científico de Python. La información almacenada y procesada para cada entidad (imágenes, detecciones, capas vectoriales) se integra al dataframe base de la grilla espacial. Este *GeoDataFrame* constituye la

«columna vertebral» del análisis, en el que cada celda de 100x100 metros funciona como unidad espacial de referencia. Tanto los atributos resultantes del procesamiento de imágenes (por ejemplo, recuentos de objetos detectados) como las variables adicionales (capas socioeconómicas, densidad de población, cercanía a vialidades, entre otras) se agregan a estas celdas. Esto permite visualizar y analizar fácilmente patrones y dinámicas espaciales. Por ejemplo, para el caso de Santiago, la grilla resultó en 5239 celdas. Cada una de estas celdas puede contener información proveniente de las imágenes y otras capas, o simplemente mantenerse vacía si no se tienen datos relevantes. Esta flexibilidad es esencial, pues algunas áreas podrían no presentar imágenes ni otras capas, pero aún así es valioso mantener una cobertura espacial total.

La representación espacial y la estructura de la información en este proyecto se basan en decisiones clave para garantizar un análisis eficiente y detallado del comercio informal. En la Tabla 5.2 se resumen los elementos principales de esta etapa y las decisiones tomadas para su implementación.

| Elemento            | Decisión                                                                                                              |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tamaño de la grilla | 100x100 metros.                                                                                                       |
| Estructura de datos | Uso de <i>GeoDataFrames</i> para manejar geometrías y atributos espaciales.                                           |
| Formato de datos    | Integración con herramientas Python: GeoPandas, Pandas, Shapely y Fiona.                                              |
| Cobertura espacial  | 5239 celdas para el centro de Santiago.                                                                               |
| Atributos asociados | Almacenar detecciones de imágenes, capas socioeconómicas, densidad poblacional, proximidad a vialidades, entre otros. |
| Celdas vacías       | Mantenerlas en la grilla aunque no contengan datos relevantes.                                                        |

Tabla 5.2: Decisiones tomadas para la representación espacial y estructura de la información.

### 5.2.3. Procesamiento de imágenes mediante visión por computadora

La detección automática de elementos de comercio informal en imágenes es un paso crítico, ya que permite generar información cuantitativa sobre su presencia. Para ello, se utilizaron algoritmos de visión por computadora, en particular un modelo YOLO (You Only Look Once). La elección de YOLO responde a su eficiencia y velocidad, lo que resulta valioso cuando se procesan grandes cantidades de imágenes. Además, ofrece una detección de objetos en tiempo real o cuasi-tiempo real, lo que es útil en contextos urbanos dinámicos. Aunque existen otros detectores (Faster R-CNN, SSD, etc.), YOLO equilibra precisión y rendimiento, haciendo viable el análisis a escala urbana, junto a una simpleza de implementación valiosa.

Para el entrenamiento del modelo se reunieron imágenes provenientes de recorridos de inspección y se anotaron manualmente los objetos de interés (toldos, quitasoles, carritos, etc.) usando la plataforma Roboflow. Dado que no se contaba con un amplio dataset, se aplicó *data augmentation* para aumentar la variabilidad de las imágenes. Rotaciones, cambios de iluminación y escalados ayudan al modelo a generalizar mejor y a no sobreajustarse a un conjunto limitado de ejemplos. La evaluación de este modelo viene dada por una serie de métricas que se explican a continuación:

- **mAP (mean Average Precision):** Mide la calidad de detección del modelo a distintos umbrales de coincidencia espacial (IoU), del inglés Intersection of Union, entre las cajas predichas y las verdaderas. mAP50 significa que el IoU mínimo es 0.5, es decir, que al menos la mitad de la caja predicha se solapa correctamente con la caja real. Cuanto mayor la mAP, mejor el desempeño del detector.
- **Box Loss:** Evalúa qué tan bien la caja predicha se ajusta al objeto real.
- **Class Loss:** Mide la capacidad de clasificar correctamente el tipo de objeto detectado (por ejemplo, diferenciar entre un toldo y un quitasol).
- **Object Loss:** Refleja la confianza del modelo en la existencia de un objeto en cierto lugar.

Estas métricas permiten entender qué aspectos del detector necesitan mejora, por ejemplo, si el problema es localizar el objeto, clasificarlo correctamente o simplemente detectarlo con confianza. De esta forma podemos confiar en que al cargar una imagen y aplicar este modelo, se puede contar con datos confiables respecto a la presencia de indicadores de comercio informal, aumentando la data para el análisis espacial.

#### 5.2.4. Análisis espacial y modelamiento probabilístico

Luego de integrar las detecciones provenientes de las imágenes a la grilla, cada celda cuenta con información sobre la presencia y frecuencia de objetos asociados al comercio informal. Sin embargo, para ir más allá de la mera detección y ofrecer información valiosa a tomadores de decisiones, se ofrecen dos herramientas probabilísticas complementarias que robustecen el análisis:

- **Clustering con K-Means:** Este enfoque tiene un valor significativo en el análisis espacial, ya que permite identificar patrones y tendencias en la distribución de comercio informal de manera no supervisada. Se utilizó el algoritmo `KMeans` de la biblioteca `scikit-learn` por su simplicidad y eficiencia, especialmente en problemas donde es necesario agrupar datos según similitudes. En este caso, las características empleadas para el agrupamiento y el número de clusters serán definidos por el usuario en función de la información obtenida en las etapas anteriores. Este módulo permite identificar zonas homogéneas, revelar tendencias no evidentes y clasificar según la intensidad, convirtiéndolo en una herramienta poderosa

para el análisis espacial. Además, se normalizaron los datos con `MinMaxScaler` para asegurar que los atributos tengan el mismo peso en el análisis.

- **Clasificación con Naive Bayes:** En un contexto urbano, este modelo se utiliza para clasificar cada celda según la probabilidad de presencia de comercio informal, utilizando atributos derivados (conteos de objetos detectados, características espaciales, datos socioeconómicos, etc.). Se implementó el modelo `GaussianNB` de `scikit-learn`, que proporciona una aproximación eficiente y robusta en problemas de clasificación probabilística. Se asignan valores iniciales (binarios) de presencia de comercio para validar el correcto funcionamiento del flujo. De este modo, se puede evaluar el desempeño del modelo incluso antes de contar con datos reales. La separación de datos en 60 % entrenamiento y 40 % validación, junto con el uso de validación cruzada (5-fold), permite mitigar el sobreajuste y garantizar una evaluación más estable del desempeño del clasificador.

Ambos enfoques —clasificación y clustering— se complementan en el análisis espacial. Mientras que Naive Bayes estima la probabilidad de comercio informal en cada celda, K-Means permite descubrir agrupaciones y tendencias más amplias en los datos. Juntos, ofrecen una perspectiva integral para comprender la dinámica del comercio informal y diseñar intervenciones basadas en evidencia. Por ejemplo, las celdas con alta probabilidad de comercio informal (según Naive Bayes) pueden agruparse en clústeres homogéneos que permitan priorizar zonas críticas. Asimismo, los clústeres pueden sugerir variables adicionales a incorporar en el modelo probabilístico, mejorando su precisión y relevancia. La Tabla 5.3 presenta un resumen de las herramientas seleccionadas.

| Herramienta                                          | Uso                                                                        |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>KMeans</b><br>( <code>scikit-learn</code> )       | Clustering no supervisado para agrupar datos espaciales.                   |
| <b>GaussianNB</b><br>( <code>scikit-learn</code> )   | Clasificación probabilística para detectar presencia de comercio informal. |
| <b>MinMaxScaler</b><br>( <code>scikit-learn</code> ) | Normalización de datos numéricos de manera binaria.                        |

Tabla 5.3: Herramientas seleccionadas para clustering y clasificación.

### 5.2.5. Visualización y exploración de resultados

Una vez obtenida la información espacial (densidades, patrones, probabilidades), es esencial presentarla de manera comprensible. Para ello, se recurre a un mapa coroplético, donde se representan las zonas coloreadas en concordancia con los resultados del clasificador Naive-Bayes en el caso de la probabilidad de comercio y otro mapa donde se representará la pertenencia a los distintos clusters resultantes del módulo K-means. Estos mapas fueron desarrollados usando *leaflet*, un framework de *Javascript* que entrega las herramientas necesarias para la construcción de mapas interactivos en plataformas

web. Además, se escogió el framework *React* para la construcción de las vistas, debido a la flexibilidad en el desarrollo y simplicidad de integración con las herramientas de las etapas anteriores. Estas herramientas abiertas, documentadas y activas favorecen la sostenibilidad y escala del sistema.

La Figura 5.1 muestra de forma esquemática el flujo de trabajo, las tecnologías empleadas y su interacción. Desde la captura de datos (cámaras, fuentes externas) hasta el análisis (clasificación de imágenes, modelamiento probabilístico, clustering), la estructura metodológica se sustenta en herramientas cuyos resultados y desempeño pueden ser probados en este contexto.

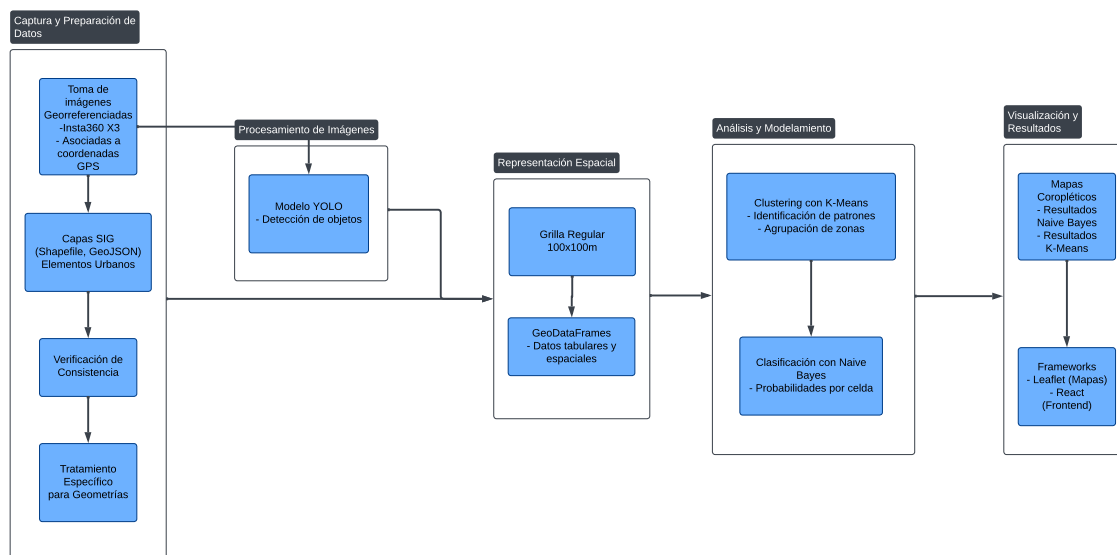


Figura 5.1: Diagrama de Estructura metodológica.

## 5.3. Resultados de la Implementación y Validación

Tras el despliegue de la herramienta descrita, se obtuvieron diversos resultados parciales y finales. Estas salidas permiten evaluar la eficacia de las decisiones tecnológicas adoptadas y orientar mejoras futuras. A continuación, se presentan las métricas, tablas, figuras y análisis resultantes del proceso implementado:

### 5.3.1. Resultados del Módulo de Procesamiento de Datos Geoespaciales

La implementación también aborda el desempeño del sistema al cargar capas geográficas adicionales. Se observaron tiempos de respuesta variables según el peso y complejidad de la capa. Por ejemplo, capas grandes (cercasas a 300 MB) como la red vial requerían

tiempos de carga de aproximadamente 3 minutos, lo que puede considerarse excesivo para entornos dinámicos o plataformas operativas en tiempo real. Por el contrario, capas más pequeñas y livianas mostraban tiempos de carga de unos 30 segundos, mucho más aceptables. Estos resultados señalan que el tiempo de carga no es únicamente proporcional al tamaño del archivo: también intervienen factores como la complejidad geométrica (número de polígonos, líneas o puntos), la proyección, la estructura del archivo, el hardware empleado y la eficiencia del software de lectura. La Tabla 5.4 resume este comportamiento. Estos hallazgos son útiles para la planificación del preprocesamiento de capas, la optimización en su almacenamiento (por ejemplo, empleando formatos más livianos como GeoPackage o la indexación espacial) y la toma de decisiones sobre qué información cargar y cuándo hacerlo.

| Tamaño de la Capa         | Tiempo de Carga | Observaciones                                                           |
|---------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Capas grandes (~300 MB)   | ~3 minutos      | Tiempo excesivo en entornos dinámicos (ejemplo: red vial).              |
| Capas pequeñas            | ~30 segundos    | Tiempo de respuesta aceptable; depende del número de áreas.             |
| Relación Tamaño/Respuesta | No lineal       | Factores como cantidad de áreas influyen; no es proporcional al tamaño. |

Tabla 5.4: Resumen del Desempeño de la Arquitectura.

Estos resultados confirman la necesidad de optimizaciones futuras en el manejo de capas grandes, ya sea mediante índices espaciales, técnicas de reducción de resolución u otras estrategias.

### 5.3.2. Resultados del Módulo de Clasificación de Imágenes (YOLO)

Se obtuvieron 928 imágenes originales, que fueron ampliadas a 2278 mediante técnicas de aumento de datos. Estas imágenes se distribuyeron en tres subconjuntos: 89% para entrenamiento, 8% para validación y 3% para pruebas. En la Figura 5.2 se observa que la clase “Toldos” destaca por su alta cantidad de anotaciones, lo que permitió un mejor desempeño del modelo para esta categoría. La Figura 5.3 ilustra los resultados obtenidos en términos de precisión promedio, destacando el alto desempeño del modelo para la clase “Toldos”, el que es consistente con su predominancia en la distribución de anotaciones.

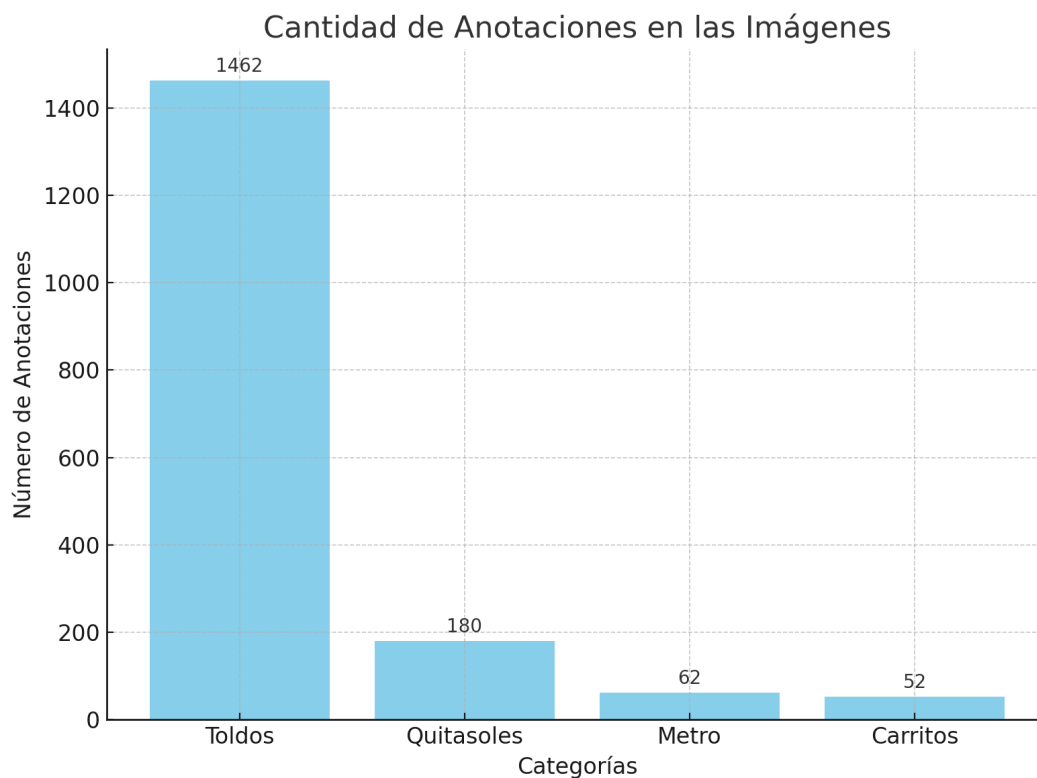


Figura 5.2: Anotaciones por clase en el conjunto de entrenamiento.

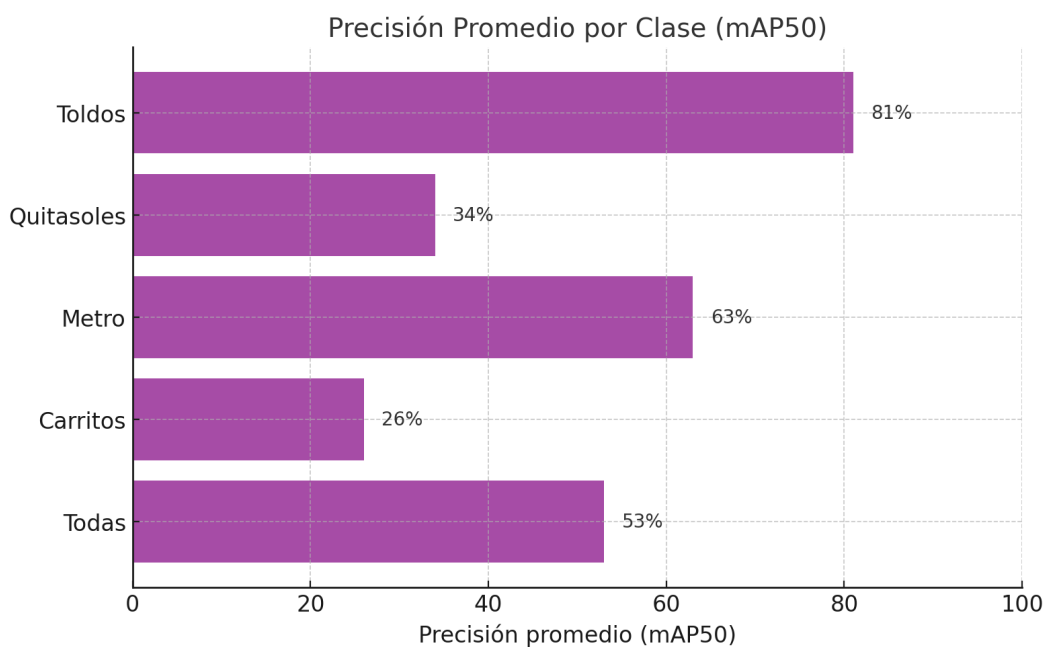


Figura 5.3: Precisión promedio mAP50 por clase, destacando “Toldos”.

La evolución de las pérdidas durante 200 épocas de entrenamiento (Figura 5.4) muestra

la convergencia progresiva del modelo, identificando posibles áreas de mejora, ya sea en la localización (Box Loss), clasificación (Class Loss) o confianza (Object Loss).

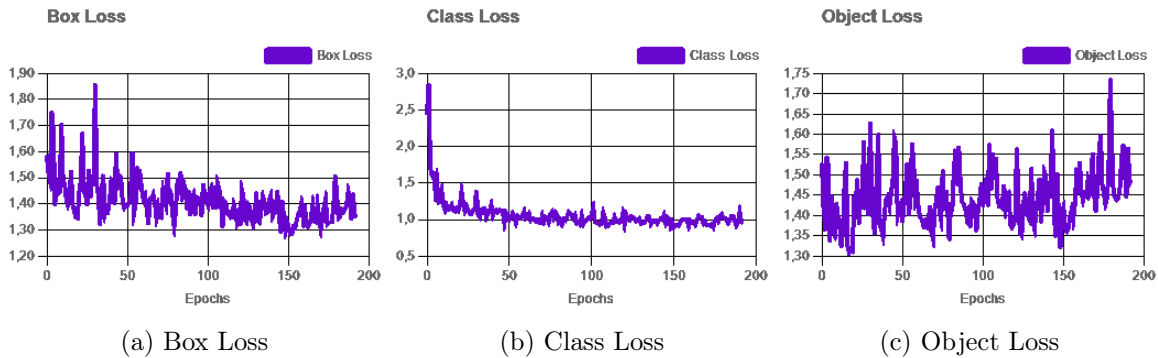


Figura 5.4: Evolución de las pérdidas durante el entrenamiento del modelo YOLO.

### 5.3.3. Resultados del Módulo Naive Bayes (etiquetas simuladas)

Para validar el flujo del clasificador Naive Bayes, se usaron etiquetas simuladas. La validación cruzada (5-fold) arrojó los resultados de la Tabla 5.5. Aunque estos no representan desempeño real (por falta de datos verificados), demuestran la correcta implementación del pipeline.

| Fold            | Accuracy (%) | Precision (%) | Recall (%)  |
|-----------------|--------------|---------------|-------------|
| Fold 1          | 82.4         | 78.2          | 75.3        |
| Fold 2          | 83.1         | 79.5          | 76.1        |
| Fold 3          | 81.8         | 77.9          | 74.5        |
| Fold 4          | 82.7         | 78.6          | 76.9        |
| Fold 5          | 83.0         | 79.1          | 76.0        |
| <b>Promedio</b> | <b>82.6</b>  | <b>78.7</b>   | <b>75.8</b> |

Tabla 5.5: Resultados Simulados de Validación Cruzada (5-Fold) del Clasificador Naive Bayes.

## 5.4. Vistas e interfaces del prototipo

Tras la implementación y evaluación preliminar del sistema, se han identificado una serie de mejoras orientadas a optimizar la experiencia del usuario, la calidad de la visualización y la precisión en el análisis geoespacial. Estas sugerencias surgen del examen de las funcionalidades actuales, las pruebas iniciales realizadas y la retroalimentación obtenida. Su adopción permitirá perfeccionar la interfaz, el estilo de presentación de

datos y la integración de los distintos módulos, fortaleciendo así el valor práctico de la plataforma para la gestión del espacio público y el apoyo a la toma de decisiones informadas.

En la Figura 5.5, se muestra la vista principal actualizada con la opción de pantalla completa, lo que permite una visualización más amplia y detallada de la grilla de 100x100 metros en el prototipo.

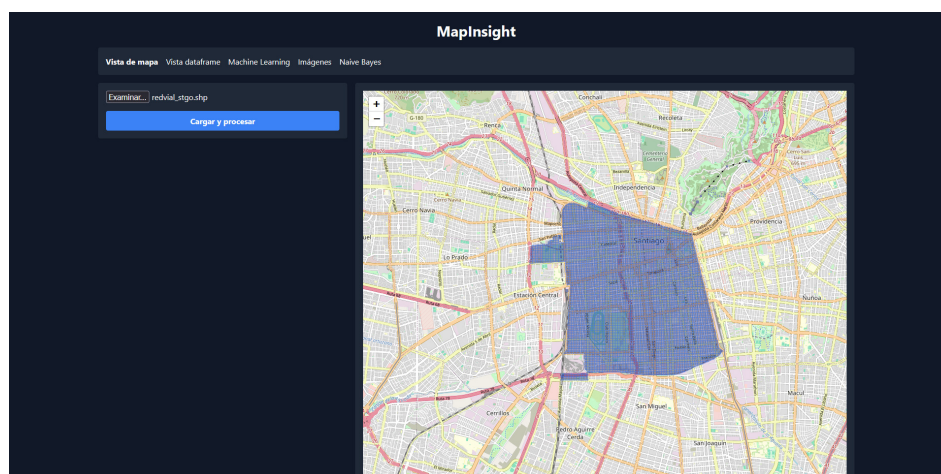


Figura 5.5: Vista principal de la grilla de 100x100 en el prototipo.

Posteriormente, en la Figura 5.6, se presenta la vista del dataframe, la cual ha sido modificada únicamente en su estilo para mejorar la legibilidad y la estética de la información presentada.

| Id | Left          | Top           | Right         | Bottom        | Row index | Col index | Timestamp       | Redvial stgo_coverage_ra |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------------|--------------------------|
| 17 | -7869380.5206 | -3953654.5058 | -7869280.5206 | -3953754.5058 | 16        | 0         | 1.0542898205969 | 0.1271247554811          |
| 18 | -7869380.5206 | -3953754.5058 | -7869280.5206 | -3953854.5058 | 17        | 0         | 0.1271247554811 | 0.1271247554811          |
| 19 | -7869380.5206 | -3953854.5058 | -7869280.5206 | -3953954.5058 | 18        | 0         | 0.1271247554811 | 0.1271247554811          |
| 20 | -7869380.5206 | -3953954.5058 | -7869280.5206 | -3954054.5058 | 19        | 0         | 0.1271247554811 | 0.1271247554811          |
| 21 | -7869380.5206 | -3954054.5058 | -7869280.5206 | -3954154.5058 | 20        | 0         | 0.1271247554811 | 0.1271247554811          |
| 22 | -7869380.5206 | -3954154.5058 | -7869280.5206 | -3954254.5058 | 21        | 0         | 0.1271247554811 | 0.1271247554811          |
| 23 | -7869380.5206 | -3954254.5058 | -7869280.5206 | -3954354.5058 | 22        | 0         | 0.1271247554811 | 0.1271247554811          |
| 24 | -7869380.5206 | -3954354.5058 | -7869280.5206 | -3954454.5058 | 23        | 0         | 0.1271247554811 | 0.1271247554811          |
| 87 | -7869280.5206 | -3953654.5058 | -7869180.5206 | -3953754.5058 | 16        | 1         | 0.1589776127388 | 0.1589776127388          |
| 88 | -7869280.5206 | -3953754.5058 | -7869180.5206 | -3953854.5058 | 17        | 1         | 0.1589776127388 | 0.1589776127388          |

Figura 5.6: Vista del dataframe en el prototipo.

En la Figura 5.7, se ilustra el módulo de clustering, donde se evidencia la selección de atributos y el número de clusters utilizados para realizar un análisis genérico y escalable. Esta visualización facilita la identificación de patrones y la segmentación de áreas críticas del comercio callejero.

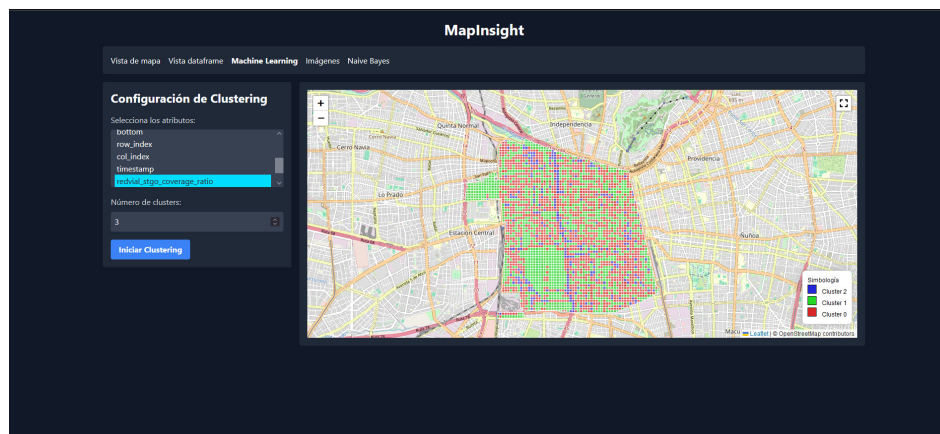


Figura 5.7: Vista del clustering en el prototipo.

Luego, en la Figura 5.8, se observa el módulo de imágenes que muestra una imagen georreferenciada con su filtro vacío. En contraste, la Figura 5.9 muestra la misma imagen filtrada por fecha, lo que resulta en su no visibilidad en el mapa, destacando la funcionalidad de filtrado temporal de la plataforma.

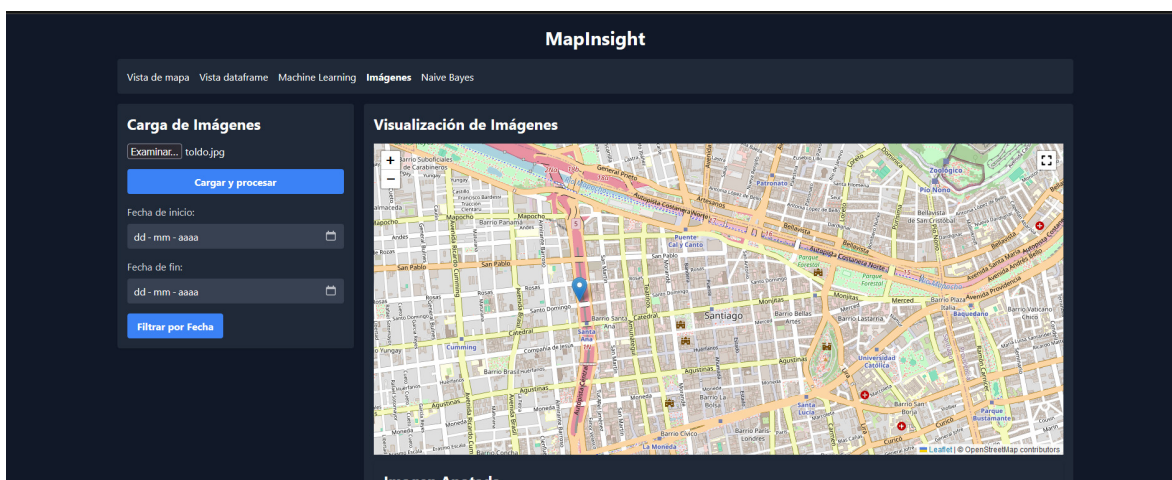


Figura 5.8: Vista del módulo de imágenes en el prototipo.

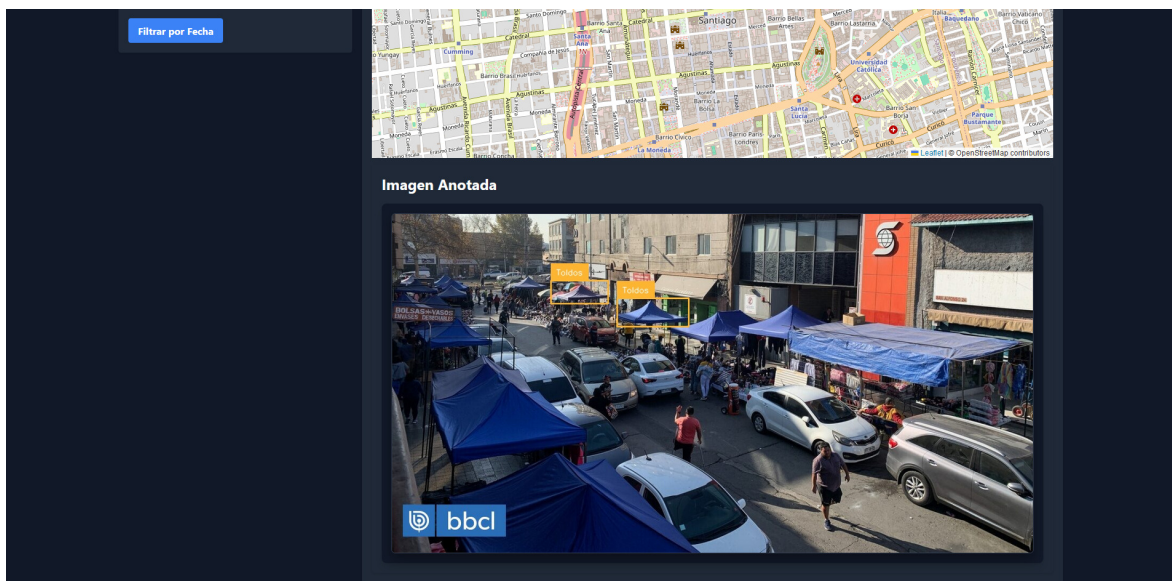


Figura 5.9: Vista de imágenes filtradas por fecha.

Finalmente, en la Figura 5.10, se presenta el resultado de la clasificación de instancias de objetos, donde se puede apreciar cómo las imágenes han sido categorizadas según los elementos detectados. Para concluir, la Figura 5.11 muestra el mapa de calor con la visualización final, proporcionando una representación gráfica de la densidad y distribución del comercio informal en Santiago Centro.

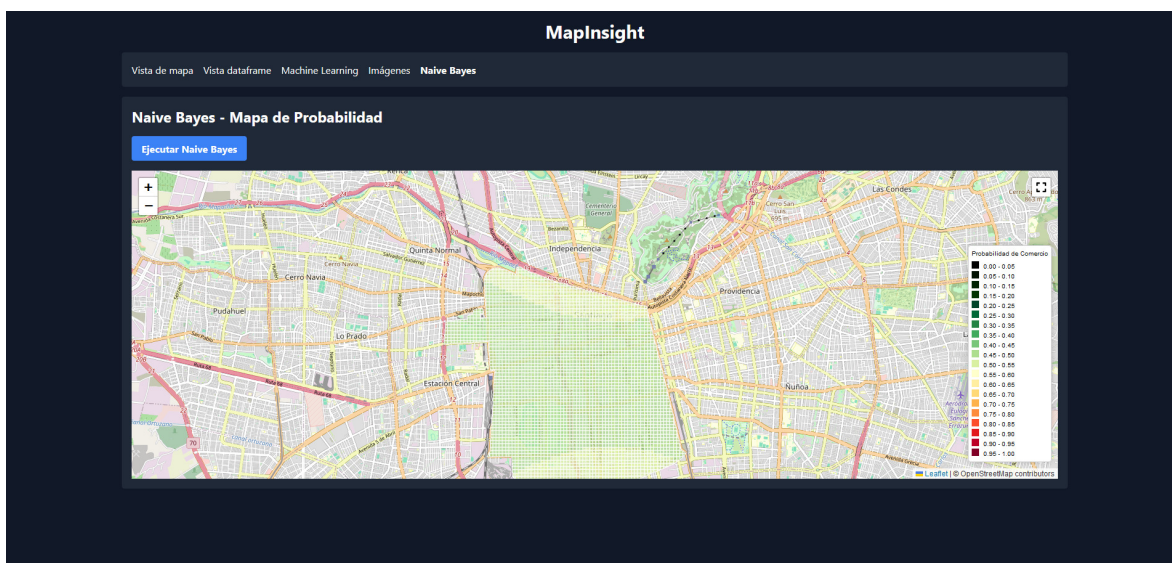


Figura 5.10: Vista del clasificador de instancias de objetos.

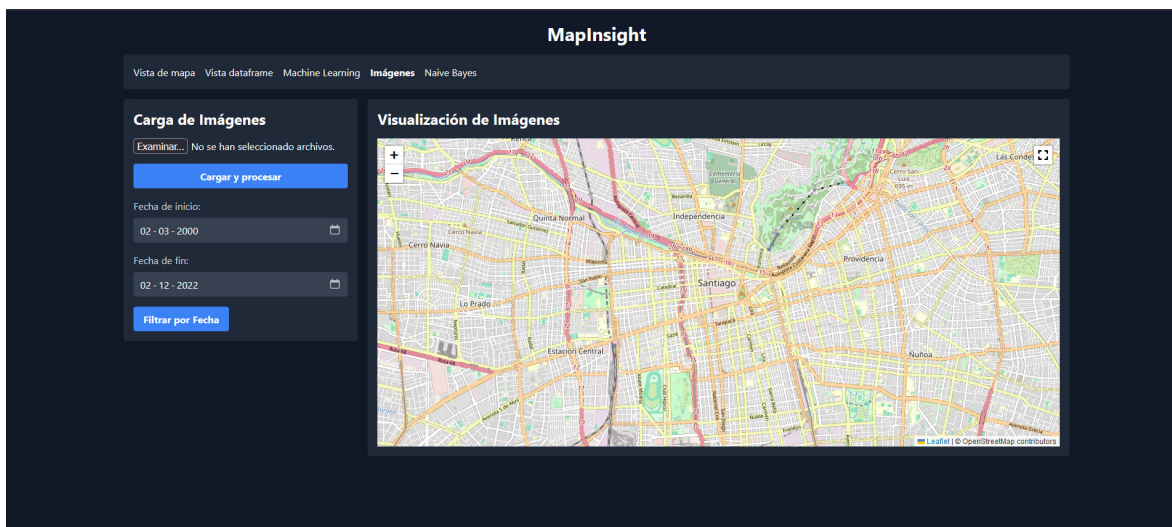


Figura 5.11: Vista del mapa de calor.

## 5.5. Validación

Durante el desarrollo se identificaron varios requerimientos adicionales que son esenciales para mejorar la funcionalidad y la usabilidad del prototipo. Estos requerimientos están orientados a optimizar la experiencia del usuario y a incrementar la precisión y eficiencia del sistema. A continuación, se detallan las principales mejoras propuestas:

- **Visualización de Mapas en Pantalla Completa:** Implementar una funcionalidad que permita a los usuarios visualizar los mapas en modo de pantalla completa, facilitando una mejor apreciación de los detalles geospaciales y proporcionando una experiencia de usuario más inmersiva.
- **Simbología Asociada a Cada Mapa:** Incorporar una simbología clara y coherente para cada mapa, lo que permitirá a los usuarios interpretar fácilmente los diferentes elementos representados. Esto incluye el uso de iconos, colores y leyendas que expliquen los distintos tipos de datos geospaciales presentados (véase Figura 5.12).

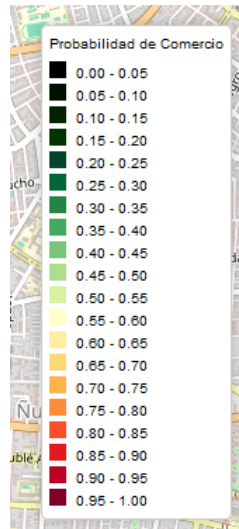


Figura 5.12: Simbología implementada como mejora.

- **Mejora del Gradiente de Color:** Refinar el gradiente de color utilizado en la visualización de mapas para asegurar una representación más precisa y estéticamente agradable de las variaciones de datos. Esto incluye ajustar los rangos de colores para resaltar mejor las áreas de interés y facilitar la identificación de patrones y tendencias.
- **Optimización del Estilo de Visualización:** Realizar ajustes en el estilo general de la visualización de los mapas, incluyendo la tipografía, el tamaño de los elementos gráficos y la disposición de las capas, con el objetivo de mejorar la legibilidad y la estética de la presentación de la información.
- **Integración del Módulo de Clasificación de Instancias de Objetos:** Incorporar de manera más efectiva el módulo de clasificación de instancias de objetos dentro de la plataforma, permitiendo una detección y análisis más precisos de los elementos presentes en las imágenes georreferenciadas. Esta integración facilita la actualización automática de los datos geospaciales basados en las nuevas clasificaciones realizadas por el modelo de inteligencia artificial (véase Figura 5.13).

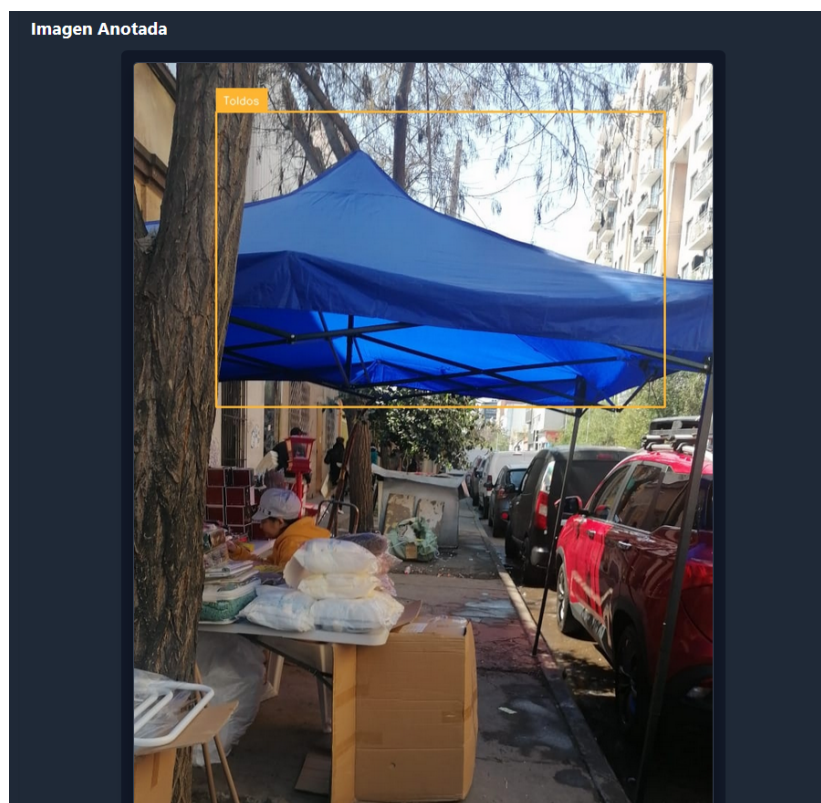


Figura 5.13: Clasificador implementado.

Estas mejoras no solo potencian la capacidad del prototipo para proporcionar información más detallada y visualmente atractiva, sino que también aseguran una mayor precisión en la identificación y análisis del comercio informal. Al implementar estas funcionalidades, se busca ofrecer una herramienta más robusta y eficiente para los usuarios finales, alineada con los objetivos de gestión urbana y análisis geoespacial establecidos en el proyecto.

## Conclusiones

---

El presente trabajo aborda la caracterización del comercio informal utilizando tecnologías geoespaciales y técnicas de aprendizaje automático, con el objetivo de visualizar y analizar su distribución en la ciudad de Santiago. A lo largo del desarrollo del proyecto, se implementaron múltiples módulos que permiten integrar datos, generar análisis espaciales, entrenar modelos predictivos y visualizar resultados en una plataforma centralizada. En este capítulo se sintetizan los hallazgos principales, las limitaciones identificadas, las proyecciones para trabajos futuros, así como el plan de validación y testing, y se presentan las conclusiones finales.

### 6.1. Síntesis de los Hallazgos

- **Módulo de Clasificación de Imágenes:** Se desarrolló un modelo de visión por computador para identificar clases asociadas al comercio informal (toldos, quitasoles, metro y carritos). A pesar de trabajar con un conjunto de datos limitado, el modelo mostró un desempeño robusto para la clase *toldos*, atribuible a la mayor cantidad de datos etiquetados disponibles. Este modelo favorece a gestionar la evidencia de una manera empírica y basada en evidencias fomentando la visualización y gestión de información en el entorno de la plataforma.
- **Generación de Grilla Espacial:** La creación de una grilla de 100x100 metros permitió dividir el espacio urbano en celdas manejables, enriqueciendo el análisis con atributos geoespaciales y datos integrados de diversas fuentes. En Santiago, se caracterizaron un total de 5239 celdas, facilitando un análisis granular y comparativo entre diferentes áreas. Esta definición de la granularidad de la información es fundamental porque establece un objeto de estudio que simplifica las técnicas del procesamiento de la información y permite integrar las técnicas de análisis espacial y de datos.

- **Modelo Naive Bayes:** Se implementó un clasificador probabilístico Naive Bayes para generar un mapa de probabilidad de presencia de comercio informal. Aunque los datos iniciales de entrenamiento fueron simulados, el modelo demostró resultados consistentes al ser validado mediante *cross-validation*, evidenciando su potencial para predecir áreas con alta probabilidad de comercio ambulante. Este módulo entrega como resultado la información necesaria para la construcción de la visualización, que es uno de los componentes clave de la plataforma, debido a que sin esto, no es posible la identificación de los patrones y tendencias. En consecuencia, es posible establecer que mediante este módulo se alcanza la creación de una visualización que nos permite comprender las dinámicas del comercio informal.

Es la combinación de estos elementos la que forma una plataforma capaz de proporcionar un sistema de información. Esta plataforma integra técnicas de aprendizaje automático con la gestión de datos provenientes de múltiples fuentes. Estos elementos son validados para garantizar que los mecanismos sean confiables y consistentes, proporcionando información de calidad a través de visualizaciones a las que los usuarios finales pueden acceder y comprender fácilmente, lo cual simplifica la identificación de patrones. Estos descubrimientos proponen una metodología para transformar y gestionar datos en información, con el fin de apoyar la toma de decisiones y la formulación de políticas públicas.

## 6.2. Limitaciones y Dificultades

- **Generación de Etiquetas Aleatorias:** La asignación de etiquetas (0 y 1) para el modelo Naive Bayes fue realizada de manera aleatoria, lo que limita la interpretación real de los resultados obtenidos y puede afectar la precisión de las predicciones.
- **Dependencia de Datos en el Módulo de Clasificación de Imágenes:** El desempeño del módulo de clasificación de imágenes depende directamente de la cantidad de anotaciones disponibles. Las clases menos representadas, como *Metro* y *Carritos*, mostraron una menor precisión debido a la escasez de datos de entrenamiento.
- **Tiempo de Procesamiento para Grillas Grandes:** El tiempo de procesamiento para grillas grandes y capas complejas (aproximadamente 300 MB) resultó excesivo para entornos dinámicos, evidenciando la necesidad de optimizar la arquitectura para mejorar la eficiencia y reducir los tiempos de respuesta.

Las limitaciones y dificultades mencionadas subrayan la importancia de abordar tanto la calidad como la cantidad de datos en procesos de modelado y clasificación. La generación aleatoria de etiquetas puede comprometer la validez de los resultados, lo que sugiere

que se deben explorar métodos de etiquetado más refinados. Asimismo, la dependencia de datos en módulos de clasificación resalta la necesidad de equilibrar la representación de clases para mejorar la precisión en todas las categorías. Finalmente, la optimización del tiempo de procesamiento para grillas extensas es crucial para asegurar la viabilidad operativa y eficiencia en entornos dinámicos, planteando la posibilidad de rediseñar las arquitecturas existentes para adaptarse a las demandas de procesamiento actuales.

### 6.3. Validación y Perspectivas a Futuro

La consolidación de esta plataforma requiere verificar su fiabilidad en escenarios reales y fomentar una evolución progresiva de sus funcionalidades. A continuación, se describen los procedimientos de validación y testing, así como las proyecciones de mejora previstas, haciendo énfasis en cómo ambas dimensiones se retroalimentan para fortalecer el aporte del sistema.

#### Validación y Testing:

- **Pruebas con datos reales:** Se contempla la comparación de los resultados del sistema con observaciones de campo obtenidas a partir de imágenes georreferenciadas del centro de Santiago. Esta confrontación permite identificar aciertos y discrepancias en la detección del comercio informal, generando *feedback* valioso para refinar los algoritmos de visión y clasificación.
- **Pruebas de usabilidad:** Al involucrar usuarios finales en el proceso de validación, no solo se evalúa la accesibilidad y simplicidad de la interfaz, sino también la coherencia del flujo de trabajo. Este tipo de retroalimentación resulta esencial para ajustar la experiencia de interacción y garantizar que los resultados presentados sean interpretables y accionables por diferentes actores, incluyendo autoridades y equipos técnicos.
- **Evaluación del rendimiento:** Se examinan la escalabilidad y los tiempos de respuesta del sistema al procesar grandes volúmenes de datos urbanos. En escenarios complejos, caracterizados por picos de actividad o cambios abruptos en la distribución del comercio informal, la robustez del sistema es fundamental para ofrecer información confiable y oportuna.
- **Pruebas unitarias, de integración y de rendimiento:**
  - *Unitarias:* Aseguran el correcto funcionamiento de cada módulo (adquisición de datos, procesamiento de imágenes, algoritmos de clasificación), sentando una base estable para el resto de pruebas.
  - *Integración:* Verifican la coherencia y consistencia del flujo de datos entre módulos, identificando posibles incompatibilidades o cuellos de botella en la comunicación entre componentes.

- **Rendimiento:** Se llevan a cabo bajo diferentes niveles de carga y condiciones de estrés, midiendo la capacidad de respuesta del sistema. Los resultados de estas pruebas guían la optimización y permiten dimensionar la infraestructura requerida.

Estos procesos de validación y testing no solo consolidan la fiabilidad y exactitud de la plataforma, sino que también facilitan la identificación de posibles mejoras. El *feedback* obtenido —por ejemplo, tiempos de procesamiento excesivos o zonas de difícil detección— orienta el desarrollo de nuevas funcionalidades y la adaptación continua del sistema. En consecuencia, la plataforma evoluciona mediante iteraciones sucesivas, atendiendo a las exigencias de contextos urbanos dinámicos.

#### Proyecciones de Mejora:

- **Integración de datos con *ground truth* real:** Emplear conjuntos de datos con información verificada permite entrenar y evaluar los modelos con mayor precisión. Además, la validación con *ground truth* real refuerza la credibilidad del sistema y aumenta la fiabilidad de las predicciones en escenarios cada vez más heterogéneos.
- **Optimización del procesamiento de datos:** La incorporación de técnicas de paralelización o el ajuste de resolución en capas de gran tamaño pueden agilizar significativamente los tiempos de respuesta, haciéndolo apto para operar en contextos de alta demanda. Este paso también promueve la escalabilidad, permitiendo una expansión fluida a otras zonas.
- **Expansión a otros contextos urbanos:** Extender la aplicación a distintas ciudades y regiones posibilita la evaluación de la generalización y adaptabilidad de los modelos. Dicho ejercicio comparativo enriquece la comprensión de patrones comunes y diferencias particulares en el comercio informal a escala regional.
- **Incorporación de algoritmos de aprendizaje profundo:** Adoptar técnicas de *deep learning* o arquitecturas más avanzadas para la clasificación y segmentación de escenas mejorará la precisión en la detección de áreas y objetos. Con ello, la plataforma puede responder de forma más sensible a variaciones contextuales y escalares.
- **Integración de fuentes de datos alternativas:** Incluir datos provenientes de redes sociales o *crowdsourcing* brindará una visión en tiempo real de posibles eventos, incrementando la capacidad de respuesta y adaptación frente a escenarios cambiantes (por ejemplo, ferias eventuales o picos de demanda).
- **Módulo de simulación y predicción de impacto:** Desarrollar una herramienta que proyecte posibles escenarios ante cambios en infraestructura o políticas públicas permitirá evaluar el efecto de intervenciones urbanas antes de su implementación. Esta aproximación prospectiva fortalece la toma de decisiones y fomenta políticas más ajustadas a la realidad.

En síntesis, la validación continua y las pruebas rigurosas establecen la hoja de ruta para refinar la plataforma, al tiempo que las proyecciones definidas apuntalan su crecimiento hacia una solución más versátil, escalable y aplicable a distintos contextos. La retroalimentación generada por el proceso de testing no solo permite corregir deficiencias técnicas, sino que también proporciona la base para diseñar estrategias de mejora alineadas con las necesidades y dinámicas propias del comercio informal en entornos urbanos diversos.

## 6.4. Reflexión Personal

El desarrollo de esta investigación demostró cómo las tecnologías geoespaciales y el aprendizaje automático pueden ser aplicadas para abordar problemas urbanos complejos como el comercio informal. Aunque el trabajo presentó limitaciones relacionadas con la disponibilidad y calidad de los datos, los resultados obtenidos validan el potencial de estas herramientas para generar información relevante y apoyar la toma de decisiones en la planificación urbana.

Es importante destacar que el objetivo de esta herramienta no es erradicar el comercio informal, sino caracterizarlo para fomentar una coexistencia más armónica en el espacio público. Al entender mejor la distribución y las dinámicas de estas actividades, las autoridades pueden desarrollar estrategias que reconozcan la relevancia del comercio informal, promoviendo su integración y aprovechando sus contribuciones positivas al tejido urbano.

Con las mejoras propuestas, el plan de validación, el testing futuro y la ampliación a nuevos contextos, el sistema podrá escalar y convertirse en una solución robusta, ofreciendo un valor significativo para autoridades, planificadores urbanos y otros actores interesados. Así, se avanza hacia una gestión más eficiente del espacio público y una mejor calidad de vida para sus habitantes.

# Anexos

---

## 6.5. Algoritmos incluidos en la plataforma.

---

**Algorithm 1** Processing Geospatial Data Based on Layer Geometry

---

```
1: procedure PROCESSLAYERGEOMETRY(input_gdf, grid_gdf, layer_name)
2:   Transform input_gdf and grid_gdf to CRS EPSG:32719
3:   geom_type  $\leftarrow$  input_gdf.geometry.geom_type.iloc[0]
4:   if geom_type == "Point" then
5:     column_name  $\leftarrow$  layer_name + "_points_count"
6:     for each cell in grid_gdf do
7:       count  $\leftarrow$  count points within cell
8:       grid_gdf[column_name]  $\leftarrow$  count
9:   else if geom_type == "LineString" then
10:    buffer_size  $\leftarrow$  5
11:    buffered_lines  $\leftarrow$  input_gdf.buffer(buffer_size)
12:    column_name  $\leftarrow$  layer_name + "_coverage_ratio"
13:    for each cell in grid_gdf do
14:      intersected_area  $\leftarrow$  intersection(buffered_lines, cell).area.sum()
15:      coverage_ratio  $\leftarrow$  intersected_area / cell.area
16:      grid_gdf[column_name]  $\leftarrow$  coverage_ratio
17:   else
18:     raise Error 'Unsupported geometry type. Only Points and Lines are supported.'
19:   end if
20:   Save grid_gdf with updated columns
21: end procedure
```

---

**Algorithm 2** Upload and Process Images with GPS Data

---

```

1: procedure UPLOADIMAGES(request)
2:   files  $\leftarrow$  request.files.getlist('imagefile')
3:   if files is empty then
4:     Log 'No images uploaded.'
5:     return error message, status 400
6:   end if
7:   image_data  $\leftarrow$  empty list
8:   for each file in files do
9:     if file extension in ALLOWED_IMAGE_EXTENSIONS then
10:      filename  $\leftarrow$  secure_filename(file.filename)
11:      filepath  $\leftarrow$  save file to UPLOAD_FOLDER
12:      Log 'Image saved at filepath'
13:      image  $\leftarrow$  open image(filepath)
14:      exif_data  $\leftarrow$  image.getexif()
15:      if exif_data is empty then
16:        Log "No EXIF data found in filename."
17:        continue
18:      gps_info  $\leftarrow$  extract GPSInfo from exif_data
19:      if gps_info exists then
20:        lat  $\leftarrow$  gps_info["GPSLatitude"]
21:        lat_ref  $\leftarrow$  gps_info["GPSLatitudeRef"]
22:        lon  $\leftarrow$  gps_info["GPSLongitude"]
23:        lon_ref  $\leftarrow$  gps_info["GPSLongitudeRef"]
24:        if lat, lat_ref, lon, lon_ref are valid then
25:          lat  $\leftarrow$  convert_to_decimal(lat, lat_ref)
26:          lon  $\leftarrow$  convert_to_decimal(lon, lon_ref)
27:          Log Coordinates for filename: lat, lon"
28:          image_gdf  $\leftarrow$  load IMAGES_FILE
29:          new_data  $\leftarrow$  GeoDataFrame with id, geometry, and image name
30:          image_gdf  $\leftarrow$  append new_data
31:          save updated image_gdf to IMAGES_FILE
32:          image_data.append(lat, lon, filename)
33:        else
34:          Log 'Incomplete GPS data in filename.'
35:        else
36:          Log 'No GPS information found in filename.'
37:      end for
38:   return success message, image_data
39: end procedure

```

---

# Bibliografía

---

1. International Labour Organization. *Decent Work and the Informal Economy* International Labour Conference, 90th Session, Report VI (International Labour Office, Geneva, 2002).
2. Organización Internacional del Trabajo. *Mujeres y hombres en la economía informal: un panorama estadístico (tercera edición)* Disponible en formato impreso, PDF web y EPUB. ISBN: 978-92-2-030964-3 (OIT, Ginebra, 2018).
3. CEAPI. *Actualidad LATAM: Informalidad en América Latina* Informe sobre la informalidad en América Latina, destacando que representa aproximadamente el 50 % del empleo total en la región. Ene. de 2024. <https://ceapi.com/wp-content/uploads/2022/06/CEAPI-ACTUALIDAD-LATAM-19-enero-2024-2.pdf>.
4. Wang, C., Myint, S., Fan, P., Stuhlmacher, M. y Yang, J. The impact of urban expansion on the regional environment in Myanmar: a case study of two capital cities. *Landscape Ecology* **33** (mayo de 2018).
5. Da Silva Bichara, J., Robayo, C. C. y Delgado, J. L. La informalidad y la duración del desempleo de los jóvenes en Latinoamérica. Especial referencia a Ecuador. *REM*, 125-149. ISSN: 1576-0162, 1576-0162. <http://www.uhu.es/publicaciones/ojs/index.php/REM/article/view/5470> (2024) (abr. de 2022).
6. Instituto de Políticas Públicas de la Ciudad de México. *Impacto del comercio informal en el entorno urbano de Ciudad de México* Informe sobre el impacto del comercio informal en la Ciudad de México, enfatizando el uso del espacio público. 2022. <https://www.gob.mx/ciudaddemexico>.
7. Instituto para la Economía Social (IPES). *Radiografía de las economías populares e informales en Bogotá* Informe sobre el comercio informal en Bogotá, donde se destaca que representó el 35.2 % de la ocupación laboral en 2022. 2022. <https://www.canalcapital.gov.co>.

8. De Planeamiento Estratégico (CEPLAN), C. N. *Economía informal en Perú: situación actual y perspectivas* inf. téc. (CEPLAN, 2016). <https://www.gob.pe/institucion/ceplan/informes-publicaciones/867899-economia-informal-en-peru-situacion-actual-y-perspectivas>.
9. Prado-Díaz, A., Schroeder, S. y Cortes-Aros, C. Impactos del corredor migratorio en ciudades de Perú y Chile: transformaciones urbanas durante la pandemia. *Urbano* **25**, 08-19. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/5119> (mayo de 2022).
10. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). *Boletín Estadístico: Informalidad Laboral - Edición N° 25* Edición N° 25 - Trimestre octubre-diciembre 2023, tasa de ocupación informal en la Región Metropolitana. Feb. de 2024. <https://www.ine.cl/docs/default-source/ocupacion-y-desocupacion/cuadros-estadisticos/notas-estad%C3%ADsticas/2023/nota-estadistica-n21.pdf>.
11. Ojeda, L. y Pino, A. Spatiality of street vendors and sociospatial disputes over public space: The case of Valparaíso, Chile. *Cities* **95**, 102275 (2019).
12. La Tercera. *Carabineros y Municipalidad de Santiago realizan operativo contra el comercio ambulante en el casco histórico* Reportaje sobre operativos municipales para combatir el comercio ambulante en el centro de Santiago. 2023. <https://www.latercera.com/nacional/noticia/carabineros-y-municipalidad-de-santiago-realizan-operativo-contra-el-comercio-ambulante-en-el-casco-historico/CIUQFPAK3ZHOFNOSBN7PNL3KU/>.
13. El Mercurio. *Municipio debe erradicar comercio ambulante: fallo da 45 días para coordinar acciones en el Paseo Ahumada* Noticia sobre un fallo judicial que obliga al municipio de Santiago a coordinar acciones para erradicar el comercio ambulante en el Paseo Ahumada. 2023. <https://www.elmercurio.com/blogs/2023/03/07/105645/municipio-debe-erradicar-comercio-ambulante.aspx>.
14. Straulino, D., Saldarriaga, J. C., Gómez, J. A., Duque, J. C. y O'Clery, N. *Uncovering commercial activity in informal cities* 2021. arXiv: 2104.04545 [econ.GN]. <https://arxiv.org/abs/2104.04545>.
15. Hart, K. Informal Income Opportunities and Urban Employment in Ghana. en. *J. Mod. Afr. Stud.* **11**, 61-89. ISSN: 0022-278X, 1469-7777. [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0022278X00008089/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0022278X00008089/type/journal_article) (2024) (mar. de 1973).
16. Pinto, A. Naturaleza e implicaciones de la 'heterogeneidad estructural' de la América Latina. Spanish. *El Trimestre Económico* **37**, 83-100 (1970).
17. Bourg, C. J. The Informal Economy: Studies in Advanced and Less Developed Countries. en. *Social Forces* **68**, 969-971. ISSN: 0037-7732, 1534-7605. <https://academic.oup.com/sf/article-lookup/doi/10.1093/sf/68.3.969> (2024) (mar. de 1990).
18. Chen, M. A. The Informal Economy: Definitions, Theories and Policies. en.

19. Schneider, F. y Enste, D. H. *Shadow Economies: Size, Causes, and Consequences* (2000).
20. De Soto, H. *The Other Path: The Economic Answer to Terrorism* (1989).
21. Lefebvre, H. *The Production of Space* (1991).
22. Van Houtven, C. H. y Norton, E. C. Informal caregiving and the risk of nursing home admission among individuals with Alzheimer's disease. *Journal of Health Economics* **29**, 549-561 (2010).
23. Orozco, A. P. *Subversión feminista de la economía: Aportes para un debate sobre el conflicto capital-vida* (Traficantes de Sueños, Madrid, España, 2014).
24. Chen, M. A. Rethinking the Informal Economy: Linkages with the Formal Economy and the Formal Regulatory Environment. *Economic and Social Affairs Working Paper Series* (2007).
25. Recchi, S. Informal street vending: a comparative literature review. en. *IJSSP* **41**, 805-825. ISSN: 0144-333X. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJSSP-07-2020-0285/full/html> (2024) (jun. de 2021).
26. Haller, W. en, 403-425 (ene. de 2005).
27. Bromley, R. Street vending and public policy: a global review. en. *International Journal of Sociology and Social Policy* **20**, 1-28. ISSN: 0144-333X. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/01443330010789052/full/html> (2024) (feb. de 2000).
28. Donovan, M. G. Informal Cities and the Contestation of Public Space: The Case of Bogotá's Street Vendors, 1988—2003. en. *Urban Studies* **45**, 29-51. ISSN: 0042-0980, 1360-063X. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0042098007085100> (2024) (ene. de 2008).
29. Bayat, A. Un-Civil Society: The Politics of the 'Informal People'. *Third World Quarterly* **18**. Publisher: [Taylor & Francis, Ltd., Third World Quarterly], 53-72. ISSN: 0143-6597. <https://www.jstor.org/stable/3992901> (2024) (1997).
30. Turner, S. y Schoenberger, L. Street Vendor Livelihoods and Everyday Politics in Hanoi, Vietnam: The Seeds of a Diverse Economy? en. *Urban Studies* **49**. Publisher: SAGE Publications Ltd, 1027-1044. ISSN: 0042-0980. <https://doi.org/10.1177/0042098011408934> (2024) (abr. de 2012).
31. Swanson, K. Revanchist Urbanism Heads South: The Regulation of Indigenous Beggars and Street Vendors in Ecuador. en. *Antipode* **39**. \_eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8330.2007.00548.x>, 708-728. ISSN: 1467-8330. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-8330.2007.00548.x> (2024) (2007).
32. Crossa, V. Resisting the Entrepreneurial City: Street Vendors' Struggle in Mexico City's Historic Center. en. *International Journal of Urban and Regional Research* **33**. \_eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1468-2427.2008.00823.x>, 43-63. ISSN: 1468-2427. (2024) (2009).

33. *Planning and Housing in the Rapidly Urbanising World* en. <https://www.routledge.com/Planning-and-Housing-in-the-Rapidly-Urbanising-World/Jenkins-Smith-Wang/p/book/9780415357975> (2024).
34. Roy, A. Urban Informality: Toward an Epistemology of Planning. en.
35. Medina, M. *The World's Scavengers: Salvaging for Sustainable Consumption and Production* en. Google-Books-ID: daCm1Eck0pkC. ISBN: 978-0-7591-0941-4 (Rowman Altamira, 2007).
36. Chandrappa, R. y Das, D. B. *Solid Waste Management: Principles and Practice* en. ISBN: 978-3-642-28680-3 978-3-642-28681-0. <https://link.springer.com/10.1007/978-3-642-28681-0> (2024) (Springer, Berlin, Heidelberg, 2012).
37. Ezeh, A. *et al.* The history, geography, and sociology of slums and the health problems of people who live in slums. en. *The Lancet* **389**, 547-558. ISSN: 01406736. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673616316506> (2024) (feb. de 2017).
38. Boadi, K. y Kuitunen, M. Environmental and health impacts of household solid waste handling and disposal practices in Third World cities: The case of the Accra Metropolitan Area, Ghana. *Journal of environmental health* **68**, 32-6 (dic. de 2005).
39. *Reclaiming Livelihoods: The Role of Reclaimers in Municipal Waste Management Systems / WIEGO* <https://www.wiego.org/publications/reclaiming-livelihoods-role-reclaimers-municipal-waste-management-systems> (2024).
40. *El comercio informal y la influencia en el deterioro del espacio urbano* <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2666>.
41. Nishimura, Y. y Trivelli, P. *The Sustainability of Urban Heritage Preservation: The Case of Valparaíso* en. Inf. téc. (Inter-American Development Bank, ago. de 2010). <https://publications.iadb.org/en/node/11547> (2024).
42. Vargas, M. L. y Martínez, C. A. Conflictos por el espacio público urbano y el comercio en vía pública: percepciones acerca de la seguridad y el orden en Bogotá. *Revista de Estudios Sociales* **27**, 116-128. <https://www.redalyc.org/pdf/325/32514307.pdf> (2007).
43. Bromley, R. D. F. y Mackie, P. K. Displacement and the New Spaces for Informal Trade in the Latin American City Centre. *Urban Studies* **46**, 1485-1506. <https://doi.org/10.1177/0042098009104577> (2009).
44. Pistala, C. *Incidencias del Comercio Informal en Movilidad, Seguridad y Espacio Público del Municipio de Ipiales* 2020. <https://repositorio.ucm.edu.co/jspui/bitstream/10839/2926/1/Cristian%20Pistala%20Monograf%C3%ADa%20%281%29.pdf>.
45. Jacobs, J. *The Death and Life of Great American Cities* ISBN: 978-0-679-74195-4 (Random House, New York, 1961).
46. Steel, W. F., Ujoranyi, T. D. y Owusu, G. Why Evictions Do Not Deter Street Traders: Case Study in Accra, Ghana. en.

47. Valenzuela-Levi, N. Reclaiming Waste: Lessons from Informal Recyclers in Latin America. *Development and Change* **52**, 1278-1300 (2021).
48. Lyons, M. y Snoxell, S. Creating Urban Social Capital: Some Evidence from Informal Traders in Nairobi. *Urban Studies* **42**. Publisher: Temporary Publisher, 1077-1097. ISSN: 0042-0980. <https://www.jstor.org/stable/43197315> (2024) (2005).
49. Brown, A., Lyons, M. y Dankoco, I. Street Traders and the Emerging Spaces for Urban Voice and Citizenship in African Cities. en. *Urban Studies* **47**. Publisher: SAGE Publications Ltd, 666-683. ISSN: 0042-0980. <https://doi.org/10.1177/0042098009351187> (2024) (mar. de 2010).
50. Little, W. E. *Mayas in the Marketplace: Tourism, Globalization, and Cultural Identity* ISBN: 978-0-292-70278-3. <https://www.jstor.org/stable/10.7560/702783> (2024) (University of Texas Press, 2004).
51. Morales, A. Marketplaces: Prospects for Social, Economic, and Political Development. en. *Journal of Planning Literature* **26**. Publisher: SAGE Publications Inc, 3-17. ISSN: 0885-4122. <https://doi.org/10.1177/0885412210388040> (2024) (feb. de 2011).
52. Hansen, K. Changing Youth Dynamics in Lusaka's Informal Economy in the Context of Economic Liberalization. *African Studies Quarterly* **11** (mar. de 2010).
53. Thorp, R. Hernando De Soto, The Other Path: The Invisible Revolution in the Third World (London: I. B. Tauris, 1989), pp. xxvii + 271, £14.95. en. *Journal of Latin American Studies* **22**, 403-405. ISSN: 1469-767X, 0022-216X. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-latin-american-studies/article/abs/hernando-de-soto-the-other-path-the-invisible-revolution-in-the-third-world-london-i-b-tauris-1989-pp-xxvii-271-1495/362B4D038B493720D90D9FE26D28211A> (2024) (mar. de 1990).
54. Watson, V. 'The planned city sweeps the poor away...': Urban planning and 21st century urbanisation. *Progress in Planning. The planned city sweeps the poor away...': Urban planning and 21st century urbanisation.* **72**, 151-193. ISSN: 0305-9006. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030590060900052X> (2024) (oct. de 2009).
55. Anjaria, J. S. Street Hawkers and Public Space in Mumbai. *Economic and Political Weekly* **41**. Publisher: Economic and Political Weekly, 2140-2146. ISSN: 0012-9976. <https://www.jstor.org/stable/4418270> (2024) (2006).
56. Skinner, C. Street Trade in Africa: A Review. en.
57. *Working in Warwick: Including Street Traders in Urban Plans / WIEGO* <https://www.wiego.org/publications/working-warwick-including-street-traders-urban-plans> (2024).
58. *Women and men in the informal economy: a statistical picture* Third edition. en (ed. International Labour Office) ISBN: 978-92-2-131580-3 978-92-2-131581-0 (International Labour Office, Geneva, Switzerland, 2018).

59. Loayza, N. V. y Rigolini, J. Informal Employment: Safety Net or Growth Engine? *World Development* **39**, 1503-1515. ISSN: 0305-750X. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X11000222> (2024) (sep. de 2011).
60. OECD, International Labour Organization, International Monetary Fund e International Statistical Committee of the Commonwealth of Independent States. *Measuring the Non-Observed Economy: A Handbook* en. ISBN: 978-92-64-19745-9 978-92-64-17535-8. [https://www.oecd-ilibrary.org/economics/measuring-the-non-observed-economy-a-handbook\\_9789264175358-en](https://www.oecd-ilibrary.org/economics/measuring-the-non-observed-economy-a-handbook_9789264175358-en) (2024) (OECD, mayo de 2002).
61. Gërxxhani, K. The Informal Sector in Developed and Less Developed Countries: A Literature Survey. en. *Public Choice* **120**, 267-300. ISSN: 1573-7101. <https://doi.org/10.1023/B:PUCH.0000044287.88147.5e> (2024) (sep. de 2004).
62. Chen, M. A. en. en *Linking the Formal and Informal Economy* (eds. Guha-Khasnobis, B., Kanbur, R. y Ostrom, E.) 1.<sup>a</sup> ed., 75-92 (Oxford University Press Oxford, sep. de 2006). ISBN: 978-0-19-920476-2 978-0-19-160386-0. <https://academic.oup.com/book/34770/chapter/297148925> (2024).
63. Meagher, K. Unlocking the Informal Economy: A Literature Review on Linkages Between Formal and Informal Economies in Developing Countries. en.
64. Stevens, F. R., Gaughan, A. E., Linard, C. y Tatem, A. J. Disaggregating Census Data for Population Mapping Using Random Forests with Remotely-Sensed and Ancillary Data. en. *PLOS ONE* **10**. Publisher: Public Library of Science, e0107042. ISSN: 1932-6203. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0107042> (2024) (feb. de 2015).
65. Abebe, A. D. y Megento, T. L. Exploiting temporal-spatial patterns of informal settlements using GIS and remote sensing technique: a case study of Jimma city, Southwestern Ethiopia. *Environmental Systems Research* **8**, 1-16. <https://environmentalsystemsresearch.springeropen.com/articles/10.1186/s40068-019-0133-5> (2019).
66. Blumenstock, J. E. Fighting poverty with data. *Science* **353**. Publisher: American Association for the Advancement of Science, 753-754. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aah5217> (2024) (ago. de 2016).
67. Hilbert, M. The bad news is that the digital access divide is here to stay: Domestically installed bandwidths among 172 countries for 1986–2014. *Telecommunications Policy* **40**, 567-581. ISSN: 0308-5961. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308596116000276> (2024) (jun. de 2016).
68. Taylor, L. y Broeders, D. In the name of Development: Power, profit and the datafication of the global South. *Geoforum* **64**, 229-237. ISSN: 0016-7185. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016718515001761> (2024) (ago. de 2015).
69. Nguyen, C. P., Schinckus, C., Nguyen, Q. B. y Nguyen, T. T. Digitalization and informal economy: a global evidence of internet usage. *Journal of Industrial and Business Economics* **51**, 1-37 (2024).

70. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. y Rhind, D. W. *Geographic Information Systems and Science* 4th (Wiley, 2015).
71. Burrough, P. A., McDonnell, R. A. y Lloyd, C. D. *Principles of Geographical Information Systems* 3rd. ISBN: 978-0198742845 (Oxford University Press, Oxford, UK, 2015).
72. Chang, K.-T. *Introduction to Geographic Information Systems* 8th. ISBN: 978-0078095139 (McGraw-Hill Education, New York, NY, 2016).
73. Batty, M. Big Data, Smart Cities and City Planning. *Dialogues in Human Geography* **3**, 274-279. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2043820613513390> (2013).
74. Lawhead, J. *Learning Geospatial Analysis with Python* 2nd. ISBN: 978-1783555350. [https://books.google.com/books/about/Learning\\_Geospatial\\_Analysis\\_with\\_Python.html](https://books.google.com/books/about/Learning_Geospatial_Analysis_with_Python.html) (Packt Publishing, 2016).
75. Andrienko, G. y Andrienko, N. *Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data: A Systematic Approach* ISBN: 978-3-540-31189-8 (Springer, Berlin, Heidelberg, 2006).
76. Zhao, J., Zhang, H. y Zhang, Y. The Influence of Spatial Grid Division on the Layout Analysis of Urban Land Use. *ISPRS International Journal of Geo-Information* **10**, 189. <https://www.mdpi.com/2220-9964/10/3/189> (2021).
77. Zhang, Y., Li, P. y Wang, X. High-Resolution Urban Air Quality Mapping for Multiple Pollutants Based on Machine Learning and Dense Sensor Network. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **19**, 8005. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/13/8005> (2022).
78. Liu, Y., Zhang, L. y Yuan, X. Grid-Based Crime Prediction Using Geographical Features. *ISPRS International Journal of Geo-Information* **7**, 298. <https://www.mdpi.com/2220-9964/7/8/298> (2018).
79. Esri. *What is Raster Data?* <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>. Último acceso: 25 de noviembre de 2024. 2023.
80. Goodchild, M. F. Scale in GIS: An Overview. *Geographical Analysis* **43**, 107-123. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1538-4632.2010.00821.x> (2011).
81. Fotheringham, A. S., Brunson, C. y Charlton, M. The Modifiable Areal Unit Problem in Multivariate Statistical Analysis. *Environment and Planning A: Economy and Space* **32**, 943-964. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1068/a32168> (2000).
82. Liang, Y., Zhang, W. y Zheng, S. Clustering Methods Based on Stay Points and Grid Density for Spatial-Temporal Data Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information* **11**, 190. <https://www.mdpi.com/2220-9964/11/3/190> (2022).

83. Wang, X., Li, Y. y Zhang, H. A Grid-Based Spatial Analysis for Detecting Supply–Demand Gaps of Public Transports: A Case Study of the Bangkok Metropolitan Region. *Public Transport* **13**, 785-802. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12469-021-00266-0> (2021).
84. Yuan, Y., Zhang, L. y Smith, C. Mapping Health Facilities Using Grid-Based Approaches: Improving Access Through Spatial Optimization. *Networks and Spatial Economics* **11**, 345-362. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11067-011-9161-z> (2011).
85. Okabe, A. y Sugihara, K. *Spatial Analysis Along Networks: Statistical and Computational Methods* ISBN: 978-0470770818. <https://www.wiley.com/en-gb/Spatial%2BAnalysis%2BAlong%2BNetworks%3A%2BStatistical%2Band%2BComputational%2BMethods-p-9780470770818> (Wiley, 2012).
86. Porta, S., Crucitti, P. y Latora, V. The Network Analysis of Urban Streets: A Primal Approach. *Environment and Planning B: Planning and Design* **33**, 705-725. [https://webpace.maths.qmul.ac.uk/v.latora/porta\\_primal\\_705\\_epb06.pdf](https://webpace.maths.qmul.ac.uk/v.latora/porta_primal_705_epb06.pdf) (2006).
87. Yuan, M. y McIntosh, K. A Temporal GIS Framework for Spatio-Temporal Analysis. *Transactions in GIS* **12**, 451-469. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9671.2008.01112.x> (2008).
88. Goodchild, M. F. Spatial Accuracy and Uncertainty in Geographic Information Systems. *Geographical Analysis* **40**, 375-390. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1538-4632.2008.00727.x> (2008).
89. Wu, J., Li, X., Zhu, Q., Wu, H. y Zhang, L. Geospatial Big Data: Survey and Challenges. *arXiv preprint arXiv:2404.18428* (2024).
90. Ester, M. y Kriegel, H.-P. Spatial Data Analysis: Integrating Remote Sensing and Open Data for Urban Studies. *International Journal of Geographical Information Science* **31**, 827-845. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2016.1244672> (2017).
91. Jain, A. K. Data Clustering: 50 Years Beyond K-means. *Pattern Recognition Letters* **31**, 651-666 (2010).
92. Mejía-Dugand, P., Delgado, J. O. y González, J. A. Identification of Informal Settlements in Urban Areas of Developing Countries Using Unsupervised Classification Techniques. *Habitat International* **49**, 1-11 (2015).
93. Lloyd, S. P. Least Squares Quantization in PCM. *IEEE Transactions on Information Theory* **28**, 129-137 (1982).
94. Humaira, H. y Rasyidah, R. Determining The Appropriate Cluster Number Using Elbow Method for K-Means Algorithm. *Proceedings of the 2nd Workshop on Multidisciplinary and Applications (WMA) 2018*, 1-6. <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.24-1-2018.2292388> (2018).

95. Rousseeuw, P. J. Silhouettes: A Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics* **20**, 53-65 (1987).
96. Han, J., Kamber, M. y Pei, J. *Data Mining: Concepts and Techniques* 3rd. ISBN: 978-0123814791 (Elsevier, 2011).
97. Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J. y Xu, X. *A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise* en *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)* (1996), 226-231. <https://www.aaai.org/Papers/KDD/1996/KDD96-037.pdf>.
98. Murtagh, F. y Legendre, P. Ward's Hierarchical Agglomerative Clustering Method: Which Algorithms Implement Ward's Criterion? *Journal of Classification* **31**, 274-295 (2014).
99. Chen, J. y Goodchild, M. F. Integrating Spatial Data and Fieldwork for Urban Analysis: A Case Study of Informal Settlements in Tijuana, Mexico. *International Journal of Geographical Information Science* **31**, 764-784 (2017).
100. Valenzuela-Levi, N. *et al.* A Cyborg Walk for Urban Analysis? From Existing Walking Methodologies to the Integration of Machine Learning. *Land* **13**, Article 1211. <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/8/1211> (2024).
101. Anselin, L. *Spatial Econometrics: Methods and Models* ISBN: 978-9027726506 (Kluwer Academic Publishers, 1988).
102. Xie, F., Wu, K. y Wu, J. Geographically Weighted Clustering Algorithm for Spatial Data Analysis. *Computers, Environment and Urban Systems* **57**, 42-54 (2016).
103. Krizhevsky, A., Sutskever, I. e Hinton, G. E. Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Communications of the ACM* **60**, 84-90 (2017).
104. Szeliski, R. *Computer Vision: Algorithms and Applications* ISBN: 978-1-84882-935-0 (Springer, 2010).
105. Redmon, J. y Farhadi, A. *YOLO9000: Better, Faster, Stronger* en *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (2017), 7263-7271.
106. Redmon, J. y Farhadi, A. YOLOv3: An Incremental Improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*. <https://arxiv.org/abs/1804.02767> (2018).
107. Straulino, D., Saldarriaga, J. C., Gómez, J. A., Duque, J. C. y O'Clery, N. Uncovering Commercial Activity in Informal Cities. *arXiv preprint arXiv:2104.04545*. <https://arxiv.org/abs/2104.04545> (2021).
108. Shorten, I. y Khoshgoftaar, T. M. A Survey on Image Data Augmentation for Deep Learning. *Journal of Big Data* **6**, 60 (2019).

109. Zhao, Z., Zheng, P., Xu, S.-t. y Wu, X. Object Detection with Deep Learning: A Review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* **30**, 3212-3232 (2019).
110. Richards, N. M. The Dangers of Surveillance. *Harvard Law Review* **126**, 1934-1965 (2013).
111. Janowicz, K., Gao, S., He, N. y Zhu, R. Machine Learning in Geo-Spatial Data Analysis: Current Challenges and Opportunities. *International Journal of Geographical Information Science* **34**, 1201-1233 (2020).
112. Peng Wu, K. Z. y Liu, T. Data-Driven Urban Computing: Challenges and Opportunities. *IEEE Transactions on Big Data* **2**, 139-152 (2016).
113. Murphy, K. P. *Machine Learning: A Probabilistic Perspective* ISBN: 978-0262018029 (MIT Press, 2012).
114. Hand, D. J. y Yu, K. Idiot's Bayes—Not So Stupid After All? *International Statistical Review* **69**, 385-398 (2001).
115. Breiman, L. Random Forests. *Machine Learning* **45**, 5-32 (2001).
116. Hastie, T., Tibshirani, R. y Friedman, J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction* 2.<sup>a</sup> ed. ISBN: 978-0-387-84857-0 (Springer, 2009).
117. Goodfellow, I., Bengio, Y. y Courville, A. *Deep Learning* ISBN: 978-0-262-03561-3 (MIT Press, 2016).
118. Fawcett, T. An Introduction to ROC Analysis. *Pattern Recognition Letters* **27**, 861-874 (2006).
119. Wernke, S. A. y VanValkenburgh, P. Combining Machine Learning and GIS in Archaeological Analysis. *Journal of Archaeological Science* **104**, 56-68 (2019).
120. Wang, S. y Goodchild, M. F. Spatially Explicit Computing for Large Geographic Datasets. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **107**, 18866-18871 (2010).
121. Besançon, L., Cooper, M., Ynnerman, A. y Vernier, F. An Evaluation of Visualization Methods for Population Statistics Based on Choropleth Maps. *arXiv preprint arXiv:2005.00324* (2020).
122. Esri. *Heat mapping in two simple steps* Accessed: 2024-04-27. 2020. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis%20online/mapping/heat-mapping-in-two-simple-steps/>.
123. Data Visualization Catalogue. *Choropleth map* Accessed: 2024-04-27. 2020. <https://datavizcatalogue.com/methods/choropleth.html>.
124. Crawford, P. The Perception of Graduated Squares as Cartographic Symbols. *Cartographic Journal* **10**, 85-88 (1973).
125. Olson, J. M. Spectrally encoded two-variable maps. *Annals of the Association of American Geographers* **71**, 259-276 (1981).

126. Guo, D., Zhu, X. y Guo, D. Flow Mapping and Multivariate Visualization of Large Spatial Interaction Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* **15**, 1041-1048 (2009).
127. Andrienko, G., Andrienko, N., Bak, P., Keim, D. y Wrobel, S. Visual Analytics of Movement. *Information Visualization* **7**, 233-252 (2008).
128. Mennis, J. y Hultgren, T. Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation. *Cartography and Geographic Information Science* **33**, 179-194 (2006).
129. Axis Maps. *Proportional Symbol Maps Guide* Accessed: 2024-04-27. 2021. <https://www.axismaps.com/guide/proportional-symbols>.
130. Dataviz Project. *Dot Density Map* Accessed: 2024-04-27. 2021. <https://datavizproject.com/data-type/dot-density-map/>.