

Diseño de un Sistema Inteligente Para la Gestión de Estacionamientos en Popayán

Autores:

Harold Alexander Hoyos Ortega

Edwyn Daniel Ramos Camayo

Corporación Universitaria ComfacaUCA – UnicomfacaUCA

Facultad de Ingeniería- Ingeniería Mecatrónica

Cauca, Popayán

2024

Diseño de un Sistema Inteligente Para la Gestión de Estacionamientos en Popayán

Autores:

Harold Alexander Hoyos Ortega

Edwyn Daniel Ramos Camayo

Director:

Saul Eduardo Ruiz Sarzosa

Corporación Universitaria ComfacaUCA – UnicomfacaUCA

Facultad de Ingeniería - ingeniería Mecatrónica

Cauca, Popayán

2024

Resumen

La ciudad de Popayán se ve afectada por la carencia de una planificación eficiente de los estacionamientos. La ausencia de un sistema avanzado para la distribución óptima de espacios disponibles, finaliza en la pérdida de tiempo para los conductores y en el aumento significativo de la congestión vehicular, lo que conlleva a la contaminación ambiental.

La metodología combina métodos cualitativos y cuantitativos, con fases de análisis de situación actual, recopilación de datos, encuestas a los usuarios, diseño del sistema, selección de componentes, implementación del prototipo, pruebas de campo y evaluación de efectividad. Un sistema inteligente avanzado, implementado dentro de las instalaciones de estacionamiento en diferentes entornos urbanos. Su adaptabilidad permite responder a las necesidades específicas de cada espacio, ya sea en centros comerciales, zonas residenciales o áreas de alta demanda comercial.

Mediante un análisis detallado de sus requisitos particulares y brindando una solución que integra sensores de IoT (Internet de las cosas) con algoritmos de IA (inteligencia artificial). La fusión de esta tecnología facilita la gestión eficiente de los recursos de estacionamiento, lo que reduce notablemente la duración de las búsquedas, mejora la experiencia general del usuario y, en consecuencia, conduce a un aumento significativo de la satisfacción de los clientes. Además, el sistema desempeña un papel fundamental a la hora de mitigar el impacto ambiental.

El éxito de esta iniciativa demostró que este sistema inteligente puede adaptarse para su implementación en diversos escenarios urbanos, contribuyendo así al desarrollo de ciudades más inteligentes y sostenibles. Esta solución tecnológica representa un paso significativo hacia la modernización de la gestión de estacionamientos y la mejora de la movilidad urbana en general.

Palabras clave: Estacionamiento inteligente, Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial, gestión de parqueo

Summary

The city of Popayán is affected by the lack of efficient parking planning. The absence of an advanced system for the optimal distribution of available spaces results in a loss of time for drivers and a significant increase in traffic congestion, which leads to environmental pollution.

The methodology combines qualitative and quantitative methods, with phases of current situation analysis, data collection, user surveys, system design, component selection, prototype implementation, field testing and effectiveness evaluation. An advanced intelligent system, implemented within parking facilities in different urban environments. Its adaptability allows it to respond to the specific needs of each space, whether in shopping malls, residential areas or areas of high commercial demand.

Through a detailed analysis of their particular requirements and providing a solution that integrates IoT (Internet of Things) sensors with AI (artificial intelligence) algorithms. The fusion of this technology facilitates the efficient management of parking resources, which significantly reduces search times, improves the overall user experience and consequently leads to a significant increase in customer satisfaction. In addition, the system plays a key role in mitigating environmental impact.

The success of this initiative demonstrated that this smart system can be adapted for implementation in various urban scenarios, thus contributing to the development of smarter and more sustainable cities. This technological solution represents a significant step towards modernizing parking management and improving urban mobility in general.

Keywords: *Smart parking, Internet of Things, Artificial Intelligence, parking management*

Contenido

1. Introducción	9
2. Planteamiento del Problema	11
Justificación	17
4. Objetivos	19
4.1 Objetivo General	19
4.2 Objetivos Específicos	19
5. Estado del Arte.....	20
5.1. Marco Teórico	20
5.1.1. Los Estacionamientos	20
5.1.2. Estacionamientos Inteligentes.....	20
5.1.3. Internet de las Cosas (IoT).....	20
5.1.4. Inteligencia Artificial (IA)	20
5.2. Marco Conceptual	21
5.2.1 Congestión Vehicular	21
5.2.2. Contaminación Ambiental Ocasionada por los Vehículos.....	21
5.2.3. Sensores.....	21
5.3. Marco Referencial.....	22
5.5. Marco Normativo	23
5.5.1 Marco Normativo Nacional y Local	23
6. Metodología.....	25
7. Materiales y Métodos	33
9. Conclusión	44

Lista de Figuras

Figura 1. Árbol de Problemas	16
Figura 2. Marco Teórico.....	21
Figura 3. Marco Conceptual	22
Figura 4. Normatividad Nacional y Local para el Diseño de Parqueaderos Inteligentes	24
Figura 5. Mapa de Empatía	26
Figura 6. Matriz FODA.....	26
Figura 7. Buyer persona	27
Figura 8. Lluvia de Ideas	28
Figura 9. Mapa de sitio	29
Figura 10. MoodBoard o Tablero de Ideas	29
Figura 11. Prototipo	30
Figura 12. Usuario.....	31
Figura 13. Mapa estacionamiento	32
Figura 14. ESP-32 ref.	33
Figura 15. Sensor Ultrasónico. ref.	34
Figura 16. LED verde y rojo ref.	35
Figura 17. Sensor de Obstáculos ref.	35
Figura 18. Resistencia ref.....	36
Figura 19. Arduino IDE REF.	37
Figura 20. JAVA ref.....	38
Figura 21. Python ref.	39
Figura 22. Proteus ref.	39
Figura 23. Esquema Eléctrico Proteus 1	40
Figura 24. Esquema Eléctrico Proteus 2	41

Figura 25. Interfaz 1	41
Figura 26. Interfaz 2	42
Figura 27. Interfaz 3	42

Lista de Tablas

Tabla 1. Referente Internacional para los Parqueaderos Inteligentes 22

Tabla 2. Matriz de Identificación de la Normativa Nacional para el Diseño de un
Parqueadero Inteligente 23

1. Introducción

En las últimas décadas, el aumento significativo del parque automotor mundial ha generado desafíos importantes para la gestión de estacionamientos, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas, se estiman alrededor de 1.4 mil millones de automóviles en circulación en todo el mundo [1], lo que conlleva a problemas de congestión vehicular y escasez de espacios de estacionamiento. En Colombia, con aproximadamente 17 millones de vehículos en funcionamiento [2], se hace cada vez más evidente esta problemática, particularmente en ciudades más densas y capitales como Popayán.

El municipio de Popayán encuentra dificultades considerables en la gestión eficaz de sus instalaciones de estacionamiento, la ausencia de un sistema dinámico para la asignación óptima de los espacios disponibles se traduce en un ahorro de tiempo para los usuarios, una congestión innecesaria del tráfico en áreas específicas durante los períodos pico y una experiencia deficiente para los visitantes. Además, la expansión de los sistemas urbanos también presenta desafíos ambientales debido al aumento significativo del número de vehículos y, en consecuencia, a los elevados niveles de emisiones atmosféricas [3]. En los estacionamientos expansivos caracterizados por altos volúmenes de tráfico, como el que se encuentra en el centro comercial Campanario, persiste este problema, lo que resulta en las consecuencias antes mencionadas. Esta circunstancia afecta negativamente tanto a la experiencia del cliente como a la imagen pública del centro comercial, al tiempo que agrava la contaminación ambiental y promueve el uso innecesario de combustible.

Para abordar estos problemas, se propone el diseño de un sistema de estacionamiento inteligente que integre tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) e Inteligencia Artificial (IA). Este sistema tiene como objetivo proporcionar información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios y asignar de forma inteligente los lugares de estacionamiento a los vehículos que ingresan al centro comercial, teniendo en cuenta que

este se utiliza como caso de estudio, pero que puede ser implementado en cualquier otro tipo de estacionamientos.

El presente documento detalla el proceso de diseño de este sistema, incluyendo el análisis de las necesidades específicas tomando como referencia el Centro Comercial Campanario. Ya que, los vehículos pasan en promedio, entre el 80% y el 95% del tiempo detenidos [4] [5]. La propuesta de una solución integral que combina tecnologías IoT e IA, y un plan para la implementación y validación del sistema, espera que esta solución no solo mejore la experiencia de los usuarios y la eficiencia operativa, sino que también sirva como modelo para otros centros comerciales y zonas urbanas en Colombia, fomentando la adopción de prácticas más sostenibles y eficientes en la gestión de estacionamientos.

En este sentido, para el desarrollo del sistema de estacionamiento inteligente se ha implementado una metodología estructurada en cuatro fases principales, asegurando un enfoque integral desde su conceptualización hasta la implementación del prototipo final. La primera fase se centra en el análisis y diagnóstico, donde se evalúan las necesidades y requerimientos específicos de los centros comerciales en cuanto a la gestión de estacionamientos, identificando desafíos clave y oportunidades de mejora, en la segunda fase; se procede al diseño de una solución integral que incorpora tecnologías IoT e Inteligencia Artificial, permitiendo el monitoreo en tiempo real, la asignación inteligente de espacios y la predicción de niveles de ocupación en estacionamientos tanto de centros comerciales como de espacios públicos, la tercera fase; comprende la implementación del sistema integral, siguiendo rigurosamente las especificaciones técnicas establecidas. Finalmente, la cuarta fase; se enfoca en la validación y optimización, donde se realizan pruebas detalladas y ajustes necesarios para garantizar un rendimiento óptimo, facilidad de uso y adaptabilidad futura, asegurando así una implementación exitosa del sistema.

2. Planteamiento del Problema

De acuerdo con los datos más recientes a nivel mundial, se estima que hay alrededor de 1.4 mil millones de automóviles en circulación en todo el mundo, lo que equivale aproximadamente a un vehículo por cada seis personas en el planeta [5]. En el contexto específico de Colombia, esta cifra se traduce en una cantidad de 17 millones de vehículos en funcionamiento, con predominio de motocicletas, que representan el 60% del total, cerca del 39% restante comprende una variedad de vehículos que incluyen camionetas, automóviles, camiones y autobuses y el 1% restante corresponde a maquinaria, remolques y semirremolques [6]. Estas cifras revelan la diversidad del parque automotor en Colombia, reflejando en cierta parte la movilidad y las actividades económicas del país.

Debido al gran número de vehículos existentes en las ciudades modernas, la congestión vehicular y la escasez de espacios de estacionamiento público se han convertido en problemas cada vez más apremiantes. Dificultades como pérdida de tiempo debido a la búsqueda manual de un lugar para estacionar, que puede llegar a tomar varios minutos, generando congestión vehicular y frustración por parte de los usuarios, así como, emisiones contaminantes debido al movimiento innecesario de vehículos en busca de estacionamiento, lo que aumenta la congestión y las emisiones de gases de efecto invernadero [7]. Además, la dificultad para encontrar estacionamiento a causa de la falta de información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacios, dificulta a los conductores encontrar un lugar para estacionar, especialmente en zonas concurridas. Todo esto conlleva a estrés y descontento, generando así problemas en el flujo vehicular y en el libre tránsito en la ciudad. Por lo tanto, existe cada vez más la necesidad de espacios dentro de la zona urbana que contribuyan a mejorar esta problemática [8].

En la ciudad de Popayán la creciente congestión vehicular y la escasez de espacios de estacionamiento son un problema significativo que afecta la movilidad urbana y la calidad de vida en la zona. Las calles de Popayán están diseñadas para un flujo vehicular menor al actual, haciendo que la ciudad sea susceptible ante la congestión, obstaculizando la movilidad y generando contaminación visual, auditiva y atmosférica. En el centro histórico, eje institucional de gran relevancia para la ciudad, alberga un patrimonio arquitectónico y cultural que define su identidad mono céntrica, característica que se ha mantenido desde su fundación. Sin embargo, esta concentración, sumada a la economía informal y la ubicación desordenada de diversos usos, ha generado un problema de gran magnitud: las vías no soportan el volumen vehicular actual. Se estima que de los 27.000 vehículos que circulan por Popayán, 16.200 se concentran en el sector histórico, invadiendo las calles locales [8].

Para enfrentar esta situación, existen 48 estacionamientos con una capacidad aproximada de 1.200 vehículos, de los cuales sólo 39 son públicos, mientras que los 9 restantes pertenecen a entidades privadas, esta oferta resulta insuficiente para satisfacer la demanda de más de 16.000 vehículos [8].

Existen ciudades donde ya se han implementado soluciones para las problemáticas de flujo vehicular ante la falta de opciones de estacionamientos, un ejemplo de ello es el sistema de estacionamiento inteligente de San Francisco, implementado por la SFMTA (San Francisco Municipal Transportation Agency), que ha demostrado ser una solución efectiva para reducir la congestión vehicular y mejorar la experiencia de estacionamiento en la ciudad. Utilizando Sensores IoT Instalados en cada espacio de estacionamiento para detectar en tiempo real si está ocupado o disponible y una aplicación móvil que permite a los usuarios visualizar la disponibilidad de espacios en tiempo real, obtener indicaciones de navegación y realizar reservas con anticipación, logrando así la reducción del 20% en el tiempo promedio de búsqueda de estacionamiento, una disminución del 15% en la congestión vehicular generada por la

búsqueda de estacionamiento y una mejora destacada en la satisfacción de los usuarios con la experiencia de estacionamiento [9].

Otro ejemplo, es el sistema de estacionamiento inteligente de Barcelona, desarrollado por Saba, una empresa líder en gestión de aparcamientos, la cual, se destaca por su uso de inteligencia artificial (IA) para optimizar la gestión de la demanda. El sistema implementa sensores IoT para detectar la ocupación de espacios en tiempo real, así como algoritmos de IA que analizan patrones de uso, prediciendo la demanda de estacionamiento y un sistema de guiado dinámico que dirige a los usuarios a los espacios disponibles de manera eficiente, logrando así una reducción del 30% en el tiempo promedio de búsqueda de estacionamiento, un aumento del 20% en la ocupación de los espacios disponibles y una disminución de la congestión vehicular en las zonas con mayor demanda de estacionamiento [10]. Asimismo, en la ciudad de Barcelona el sistema de parqueaderos inteligentes se implementó desde el año 2005, adecuando las zonas de parqueo que ya se venían manejando, implementando sensores para identificar los espacios libres y asignándoles tarifas según la ubicación geográfica de la plaza de parqueo y así tener un mayor control sobre las mismas para lograr mejorar la movilidad en los sectores de la ciudad donde se encuentren ubicadas las plazas, adicional se implementó una aplicación móvil para que el usuario consulte la bahía de parqueo disponible más cercana a su ubicación y, de esta forma, indicar cuando se está acabando el tiempo de reserva de la bahía y de ser necesario, cobrar otro cargo en caso de que el usuario aun no vaya a retirar su vehículo de la bahía [10].

En la ciudad de Guayaquil según cifras de la Comisión de Tránsito del Ecuador, el parque automotor de la ciudad en el 2011 alcanzó las 370.000 unidades y para el año 2012 se proyecta que se supere los 400.000 (Neumane, 2012). Eso implica un crecimiento anual que oscila entre el 10% y 15%. Según un informe realizado en el 2006 por el Departamento de Planificación Urbana de la Universidad de los Ángeles, EEUU, un 30% de conductores se encuentran en búsqueda activa de un lugar para parquear,

tardan un promedio de 8 minutos en encontrar dicha plaza, como consecuencia se genera pérdidas de tiempo y combustible, y son responsables de una fracción considerable de las emisiones de gases por parte de los vehículos. En otro lado, se ha reportado que, en un distrito pequeño del centro de los Ángeles, los conductores que deambulan buscando estacionamiento, durante un año realizaron el equivalente a 38 viajes alrededor del mundo, consumiendo casi 200.000 litros de combustible y emitiendo 730 toneladas de dióxido de carbono (Formoso, Mazzilli & Sotelo, 2014) [11].

Actualmente, los avances tecnológicos permiten automatizar cualquier sistema, lo que brinda comodidad y seguridad al evitar trabajos pesados y repetitivos. Estas automatizaciones se aplican desde la industria hasta los hogares y oficinas. Un área que ha tenido deficiencias es la de los estacionamientos, ya sean públicos, en centros educativos, comerciales u hoteles. Por eso, se han desarrollado sistemas para automatizar estas zonas y que los usuarios encuentren espacios libres más rápido.

Existen empresas en el mundo como Schick Electronic S.A. Park Help, Highlight parking y circontrol han creado sistemas que guían a los conductores para parquear, indicándose cuántos espacios hay disponibles y hacia dónde ir. En Colombia, Signal Park trabaja con Schick Electronic, estos sistemas ya se han instalado en algunos lugares de Cali, como los centros comerciales Chipichape, Unicentro y Cosmocentro. [12].

Como se ha visto en otras ciudades alrededor del mundo, existe una serie de posibles soluciones para la falta de gestión en las áreas de estacionamiento, se trata de implementar un sistema de estacionamiento inteligente que pueda facilitar la experiencia de usuario al momento de estacionar su vehículo, así como reducir el tiempo y estrés que genera esta problemática, utilizando un sistema de cámaras de visión artificial y sensores de última generación, como los de ultrasonido o magnéticos, para detectar con precisión las plazas que se encuentran ocupadas o disponibles. Los sensores magnéticos, por ejemplo, pueden medir variaciones en el campo magnético terrestre

para determinar si un vehículo está estacionado en un espacio específico. La información recopilada por estas tecnologías puede ser procesada mediante técnicas de minería de datos asistidas por software especializado como MATLAB, o a través de algoritmos propios basados en inteligencia artificial. Estos análisis permitirán asignar de forma inteligente las plazas libres a los vehículos que ingresan al parqueadero, guiándose por la ruta más cercana y rápida hasta su lugar de estacionamiento designado.

Esta tecnología podría ser usada en estacionamientos de la ciudad de Popayán para hacer más eficiente la experiencia de parqueo y reducir problemas generados debido a la falta de gestión en el área de estacionamiento. En última instancia, un sistema de estacionamiento inteligente en Popayán, proporcionará una experiencia más fluida y satisfactoria para mejorar la experiencia de quienes visiten ciertos lugares de la ciudad.

Con el propósito de materializar esta solución, es necesario diseñar e implementar un sistema que integre tecnologías de vanguardia, como Internet de las Cosas (IoT) e Inteligencia Artificial (IA), con el fin de optimizar la gestión de los parqueaderos. Esto conlleva a la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo optimizar la experiencia del usuario, reducir la congestión vehicular y mejorar la eficiencia en la gestión de parqueo en la ciudad de Popayán integrando tecnologías de la industria 4,0?

Figura 1. Árbol de Problemas



Nota: Elaboración Propia (2024)

Justificación

Los estacionamientos de la ciudad de Popayán, enfrenta importantes desafíos en la gestión eficiente de sus espacios de estacionamiento, actualmente carece de sistemas dinámicos que permitan una óptima distribución de los espacios disponibles, lo que provoca una importante pérdida de tiempo a los usuarios que buscan un espacio de estacionamiento, una congestión innecesaria del tráfico en las zonas aledañas y una experiencia insatisfactoria para los visitantes.

La situación afecta desfavorablemente a la experiencia de los habitantes de la ciudad de Popayán, como también a los que visitan los centros comerciales, así como a la reputación y competitividad del mismo. Además, aumenta la contaminación ambiental y el consumo de combustible debido a que los vehículos buscan espacios disponibles.

Con el objetivo de remediar esta cuestión de forma satisfactoria y adecuada, es necesario implementar un sistema de estacionamiento inteligente que optimice la gestión de los espacios de parqueo. Estacionamientos basados en nuevas tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA), este sistema proporcionará información en tiempo real sobre la disponibilidad de espacio y asignaría espacios de forma inteligente a los vehículos, el cual genera ventajas como lo son; reducir significativamente el tiempo dedicado a la búsqueda de espacios disponibles, lo que mejoraría la experiencia del usuario. También, reduciría la congestión del tráfico tanto en el estacionamiento como en las vías públicas, lo que contribuiría a reducir la emisión de gases contaminantes y el consumo de combustible. Además, el sistema podría aumentar el flujo de visitantes en los centros comerciales al brindar una experiencia de estacionamiento más fluida y conveniente.

El desarrollo de un sistema de parqueo inteligente en la ciudad de Popayán, Cauca brindará una experiencia única y la oportunidad de llevar a cabo soluciones innovadoras basadas en las nuevas tecnologías. Esto no solo beneficiaría a los

usuarios, sino que serviría de ejemplo para que otras ciudades y centros comerciales de Colombia, se incentiven en la adopción de prácticas más sostenibles y eficientes en la gestión de estacionamientos.

Por otro lado, este proyecto brindaría una oportunidad de colaborar con empresas locales y nacionales especializadas en TIC, fomentando el desarrollo de habilidades tecnológicas y la creación de empleos calificados en la región.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

4.1.1 Desarrollar un sistema de estacionamiento inteligente, en la ciudad de Popayán, con base en tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) e Inteligencia Artificial (IA).

4.2 Objetivos Específicos

4.2.1. Analizar las necesidades y requerimientos de los estacionamientos en Popayán en relación a la gestión del mismo, identificando los principales desafíos y soluciones.

4.2.2. Diseñar una solución integral que combine tecnologías IoT e IA para seguimiento en tiempo real, asignación inteligente de espacio y previsión de ocupación en los estacionamientos de la ciudad de Popayán Cauca.

4.2.3. Implementar un prototipo digital de sistema integral de estacionamiento inteligente.

4.2.4. Validar el sistema de estacionamiento inteligente implementado desde la experiencia de usuario, con el fin de identificar mejoras y optimizar el sistema.

5. Estado del Arte

5.1. Marco Teórico

5.1.1. Los Estacionamientos

Los estacionamientos son el aforo de uso de una zona específica y abarca la particularidad de entrada y salida de un vehículo automotor [13].

5.1.1.1 Oferta y Demanda

La oferta se entiende por la disponibilidad de espacio y la demanda, es la información de en qué sitio se puede estacionar las personas [13].

5.1.2. Estacionamientos Inteligentes

Según Cubillos. N, Rodríguez. J.S. (2018) [14]. son un sistema de control y gestión de estacionamientos que monitorea la disponibilidad de un lugar para estacionarse, a través de sensores, los cuales, informan si el lugar de parqueo o bahía de estacionamiento se encuentra disponible u ocupado. Dicha información será proporcionada a través de cualquier dispositivo con acceso a internet.

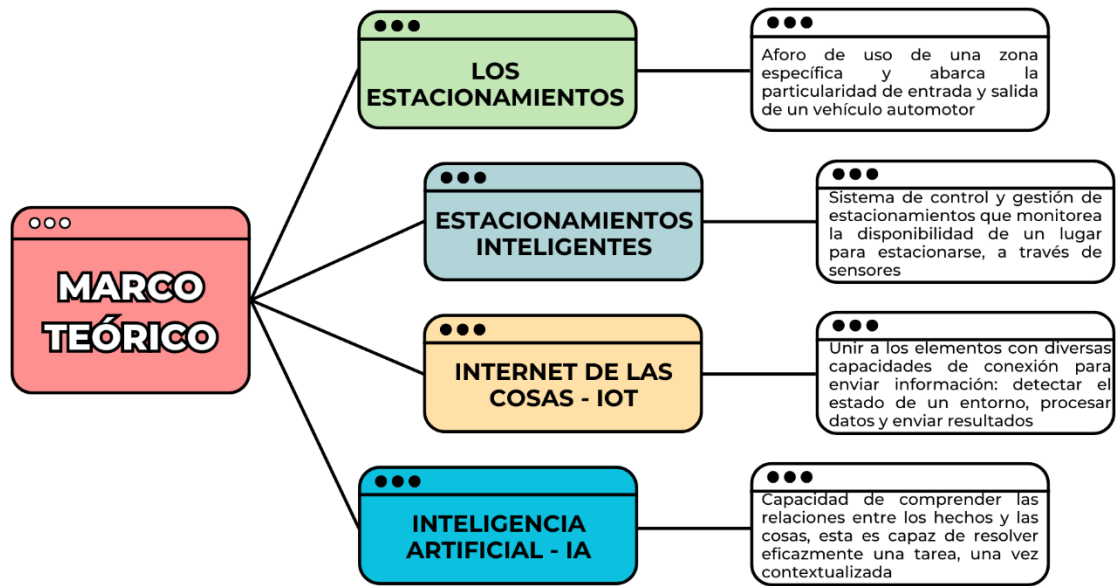
5.1.3. Internet de las Cosas (IoT)

En el 2005 se da el primer informe acerca de la IoT por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la cual, la describe como dispositivos interconectados que proveen contenido relevante a los usuarios. Este tiene como finalidad unir a los elementos con diversas capacidades de conexión para enviar información sobre la internet, detectar el estado de un entorno, procesar datos y enviar resultados [15].

5.1.4. Inteligencia Artificial (IA)

Proviene del latín “*Inteligere*”, y se entiende como la capacidad de comprender las relaciones entre los hechos y las cosas, esta es capaz de resolver eficazmente una tarea, una vez contextualizada [16].

Figura 2. Marco Teórico



Nota: Elaboración Propia (2024)

5.2. Marco Conceptual

5.2.1 Congestión Vehicular

La congestión vehicular tiene un costo y es el aumento del tiempo de viaje de los usuarios, el cual, empieza a aumentar, a medida que se va sumando un carro adicional [17].

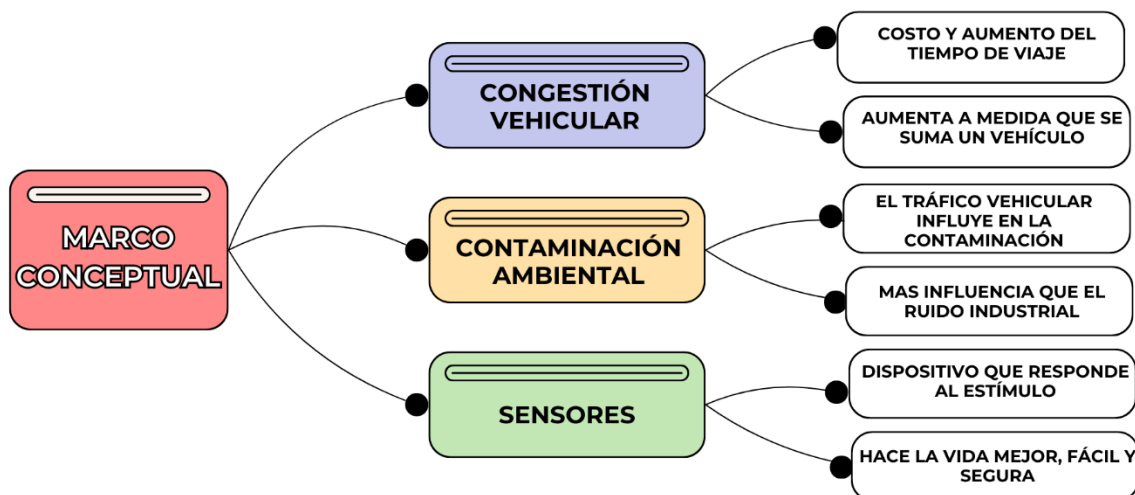
5.2.2. Contaminación Ambiental Ocasionada por los Vehículos

El tráfico vehicular contribuye en gran medida a la contaminación y calidad del aire, dentro de los cuales, se ha podido detectar diferentes tipos de gases que contaminan en diferente forma, como lo son; en polvo, malos olores, neblina, humo o vapor [18]. Esto trae consigo a la contaminación auditiva, que tiene más influencia que el ruido industrial.

5.2.3. Sensores

La palabra sensor viene de la palabra latina “*sentiré*”, que significa percibir, es considerado como un dispositivo que responde a un estímulo o crea una respuesta procesable [19]. Esto con el fin de hacer una vida más fácil, mejor y segura.

Figura 3. Marco Conceptual



Nota: Elaboración Propia (2024)

5.3. Marco Referencial

La recopilación de los siguientes datos, son un punto clave para la realización del diseño de un sistema inteligente para la gestión de estacionamientos en Popayán, ya que, sirven para guiar de una forma más adecuada a la investigación.

Tabla 1. Referente Internacional para los Parquaderos Inteligentes

PARQUEADEROS INTELIGENTES EN ZONA AZUL PARA LA CIUDAD DE QUITO		
	Contexto	Solución de Problemas
 QUITO ECUADOR	En la ciudad de Quito ha habido una falta de control con respecto al mal servicio en los parqueaderos públicos, esto generando la necesidad de buscar soluciones en colaboración con la tecnología utilizando la IoT. La cual, mejora la calidad de vida de los ciudadanos, a su vez, mejorando la calidad de los servicios de parqueo público.	Resuelve las deficiencias que presenta el sistema de parqueo actual. Resultados favorables en la economía Menos multas de tránsito Predicción de tráfico en tiempo real Menor tiempo en búsqueda de un parqueo disponible Menos incidencia de congestión vial

NOTA: Elaboración Propia (2024)

5.5. Marco Normativo

5.5.1 Marco Normativo Nacional y Local

La Secretaría Distrital de Planeación, define y establece el reglamento para regular el uso de los parqueaderos, con el fin de garantizar eficacia y eficiencia para las diferentes entidades [21].

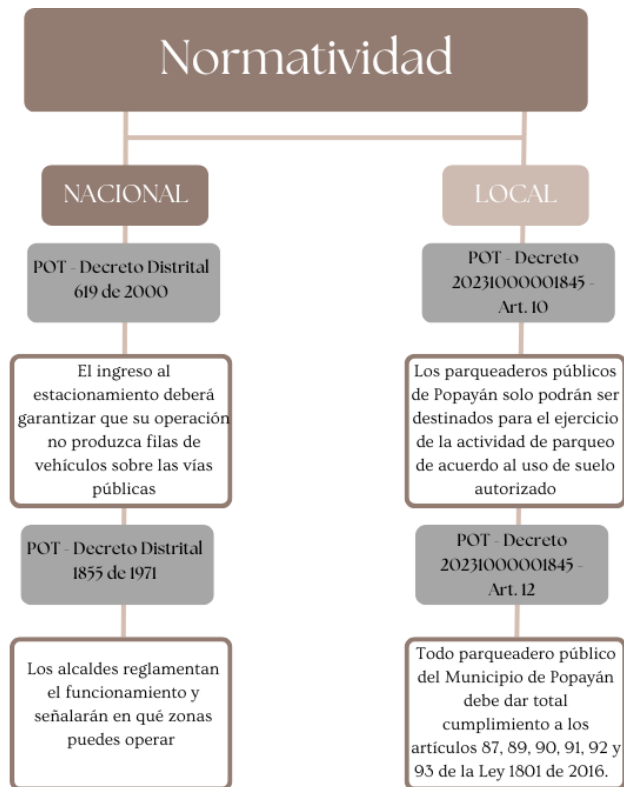
El POT de Popayán, dictan medidas de control y supervisión para los parqueaderos de uso público [22].

Tabla 2. Matriz de Identificación de la Normativa Nacional para el Diseño de un Parqueadero Inteligente

Entidad y/o organismo responsable	Norma	Año	Artículo Aplicable	Interpretación
POT	Decreto Distrital 619 de 2000	2000	Anexo 5 del Decreto POT	El ingreso al estacionamiento deberá garantizar que su operación no produzca filas de vehículos sobre las vías públicas
POT	Decreto 1855 de 1971	1971	Artículo 2	Los alcaldes reglamentan el funcionamiento y señalarán en qué zonas puedes operar
POT	Decreto 20231000001845	2023	Artículo 10	Los parqueaderos públicos de Popayán solo podrán ser destinados para el ejercicio de la actividad de parqueo de acuerdo al uso de suelo autorizado
POT	Decreto 20231000001845	2023	Artículo 12	Todo parqueadero público del Municipio de Popayán debe dar total cumplimiento a los artículos 87, 89, 90, 91, 92 y 93 de la Ley 1801 de 2016.

Nota: Elaboración Propia (2024)

Figura 4. Normatividad Nacional y Local para el Diseño de Parquaderos Inteligentes



Nota: Elaboración Propia (2024)

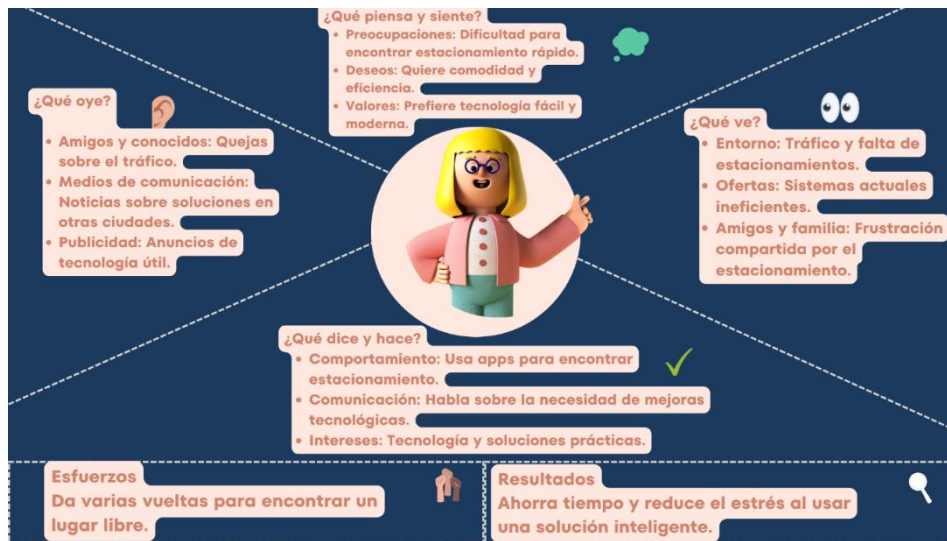
6. Metodología

Tipo de estudio: El proyecto emplea un enfoque de investigación descriptiva explorativa, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para recopilar y analizar datos sobre parqueaderos inteligentes.

Se adaptó la metodología **Design Thinking** como un enfoque centrado en el usuario para abordar el problema específico del proyecto, ya que es una metodología ampliamente usada en el diseño de productos y servicios, que permite entender y resolver problemas complejos a través de un enfoque interactivo y colaborativo. Para ello se llevó a cabo un desarrollo de cada una de las fases que propone la metodología que son empatizar, definir, idear, prototipar y testear.

Empatizar: En esta fase, se desarrolló un mapa de empatía y una matriz FODA para profundizar en la comprensión de los usuarios del sistema de estacionamiento en Popayán. El mapa de empatía ayudó a visualizar las necesidades, preocupaciones y deseos de los usuarios, mientras que la matriz FODA permitió analizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas relacionadas con el desarrollo de la solución propuesta. Estas herramientas combinadas ofrecieron una visión completa de la naturaleza del problema y establecieron una base sólida para las siguientes fases del proyecto.

Figura 5. Mapa de Empatía



Nota: Elaboración Propia (2024)

Figura 6. Matriz FODA



Nota: Elaboración Propia (2024)

Además, se creó un arquetipo de buyer persona enfocado en los usuarios, que permitió definir de manera más específica los perfiles de los principales usuarios del sistema. Este arquetipo ayudó a personalizar y enfocar aún más las soluciones en función de los comportamientos, motivaciones y expectativas de los usuarios clave.

Figura 7. Buyer persona



Nota: Elaboración Propia (2024)

Definir: Tras la fase de empatizar, se procedió a definir el problema central a resolver mediante un proceso de análisis y síntesis de la información obtenida. Para explorar nuevas ideas y enriquecer las soluciones existentes, se llevaron a cabo sesiones de brainstorming y brain dumping. Estas técnicas permitieron generar un amplio rango de ideas frescas, algunas de las cuales fueron adoptadas y refinadas para fortalecer el enfoque del proyecto. Este proceso aseguró que la definición del problema estuviera bien fundamentada y alineada con las necesidades reales de los usuarios.

En la siguiente imagen se puede observar un diagrama de lluvia de ideas que se logró identificar, el cual podrían adaptarse para el desarrollo en la implementación del proyecto.

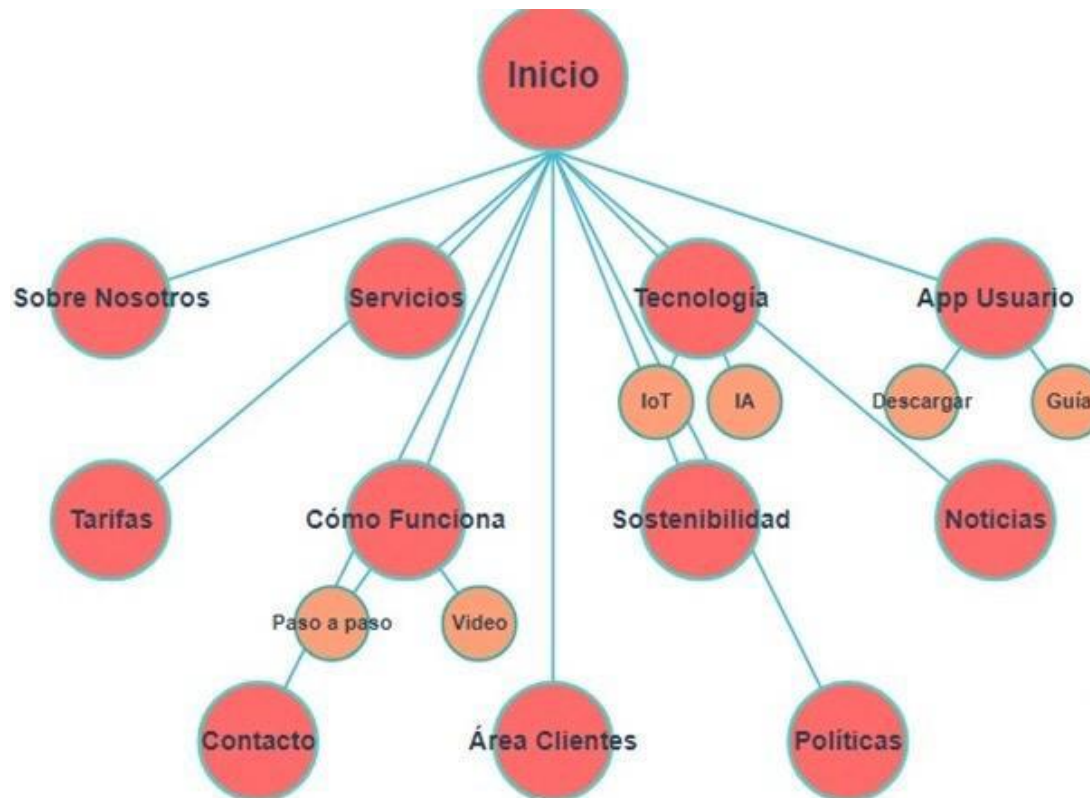
Figura 8. Lluvia de Ideas



Nota: Elaboración Propia (2024)

Idear: En esta fase, se trabajó en el desarrollo de soluciones creativas para el problema definido. Además de generar ideas a través de brainstorming, se creó un mapa de sitio para estructurar y organizar las funcionalidades del sistema de estacionamiento inteligente. Paralelamente, se desarrolló un moodboard que ayudó a capturar la estética, el tono y la inspiración visual del proyecto. Estas herramientas fueron fundamentales para guiar el diseño y asegurar que las soluciones propuestas fueran coherentes tanto en funcionalidad como en estilo.

Figura 9. Mapa de sitio



Nota: Elaboración Propia (2024)

Figura 10. MoodBoard o Tablero de Ideas

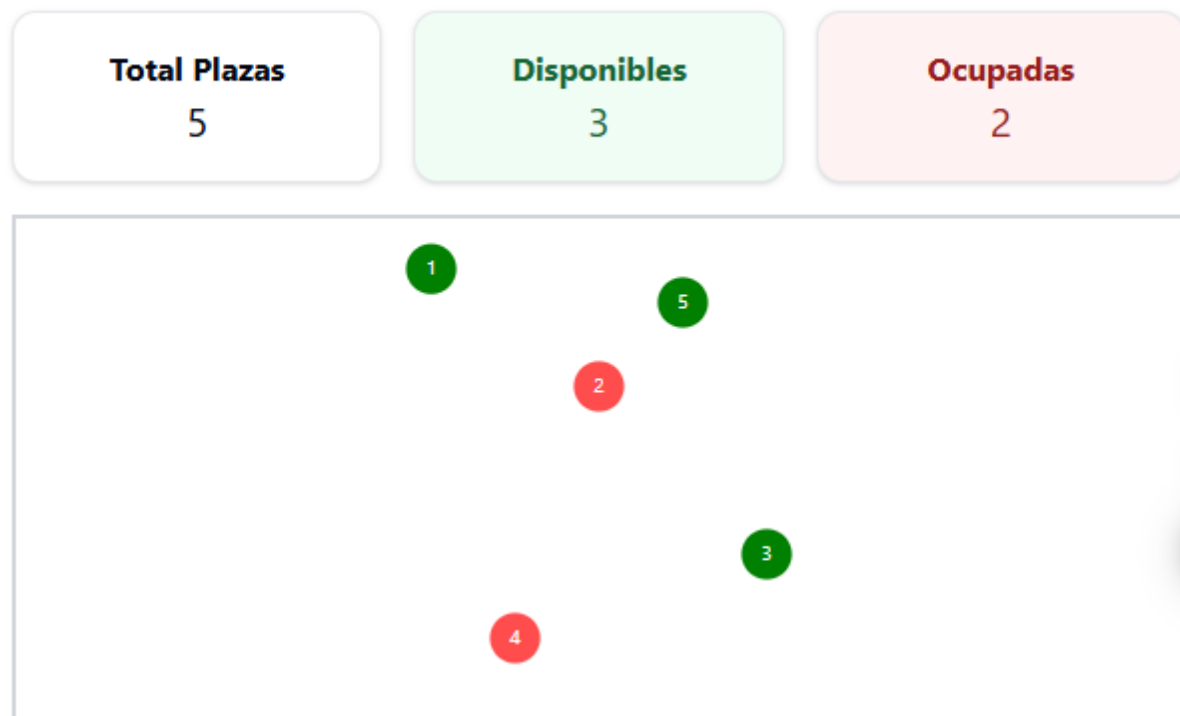


Nota: Elaboración Propia (2024)

Prototipar: Durante esta fase, se desarrollaron prototipos iniciales para explorar las soluciones propuestas. Se realizaron algunos sketches que sirvieron como bocetos preliminares de la interfaz y la estructura del sistema. Estos sketches permitieron visualizar y ajustar las ideas antes de pasar a versiones más detalladas, facilitando una versión rápida y efectiva en el diseño de la solución final.

Figura 11. *Prototipo*

Sistema de Estacionamiento



Nota: Elaboración Propia (2024)

Figura 12. *Usuario*

Iniciar Sesión

Iniciar Sesión

¿No tienes cuenta? Regístrate

Nota: Elaboración Propia (2024)

Evaluar: Una vez desarrollado el prototipo, se procedió a la fase de evaluación, en la que se probaron las soluciones con usuarios reales. A través de pruebas y recolección de feedback, se identificaron áreas de mejora y se realizaron los ajustes necesarios. Este proceso iterativo aseguró que la solución final fuera no solo funcional, sino también alineada con las expectativas y necesidades de los usuarios. La evaluación continua permitió refinar el producto, garantizando su eficacia y usabilidad en un contexto real.

Figura 13. Mapa estacionamiento

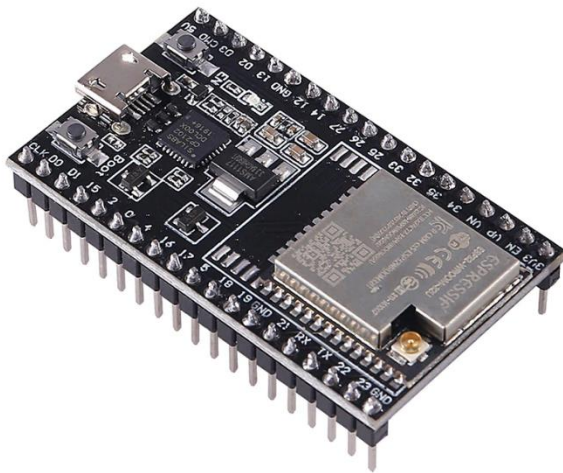


Nota: Elaboración Propia (2024)

7. Materiales y Métodos

ESP-32: Es un microcontrolador de alto rendimiento desarrollado por Espressif Systems, basado en un procesador de doble núcleo Xtensa LX6, con capacidades integradas de Wifi y Bluetooth. Destaca por su bajo consumo de energía, amplia gama de periféricos y versatilidad para proyectos de Internet de las Cosas (IoT), robótica, domótica y electrónica experimental, siendo una opción popular entre makers y desarrolladores por su potencia y facilidad de programación.

Figura 14. ESP-32 ref.



Nota: Tomado de Google

Sensor Ultrasónico: Un dispositivo electrónico que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para medir distancias, funcionando mediante la emisión de un pulso ultrasónico que rebota en un objeto y regresa al sensor, calculando la distancia mediante el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción de la señal. Es ampliamente usado en robótica, sistemas de seguridad, control de proximidad y aplicaciones que requieren medición de distancias sin contacto directo.

Figura 15. Sensor Ultrasónico. ref.



Nota: Tomado de Google

LED Verde y Rojo: Son diodos emisores de luz (Light Emitting Diode) que producen luz de color verde y rojo respectivamente, utilizados como indicadores visuales en electrónica para señalar estados, alertas o condiciones de un sistema. Los LEDs son componentes fundamentales en proyectos electrónicos por su bajo consumo energético, larga vida útil y capacidad de proporcionar señales visuales claras y directas.

Figura 16. LED verde y rojo ref.



Nota: Tomado de Google

Sensor de Obstáculos: Un sensor infrarrojo es un dispositivo electrónico diseñado para detectar radiación infrarroja emitida por objetos en su entorno, funcionando mediante la captación de energía térmica (calor) que los objetos emiten en forma de radiación infrarroja. Basado en tecnología de transmisión o reflexión, utiliza componentes como emisores y receptores IR para procesar señales luminosas imperceptibles al ojo humano, con capacidad de operar en rangos de frecuencia entre 1 THz a 430 THz y longitudes de onda desde 750 nm a 1 mm.

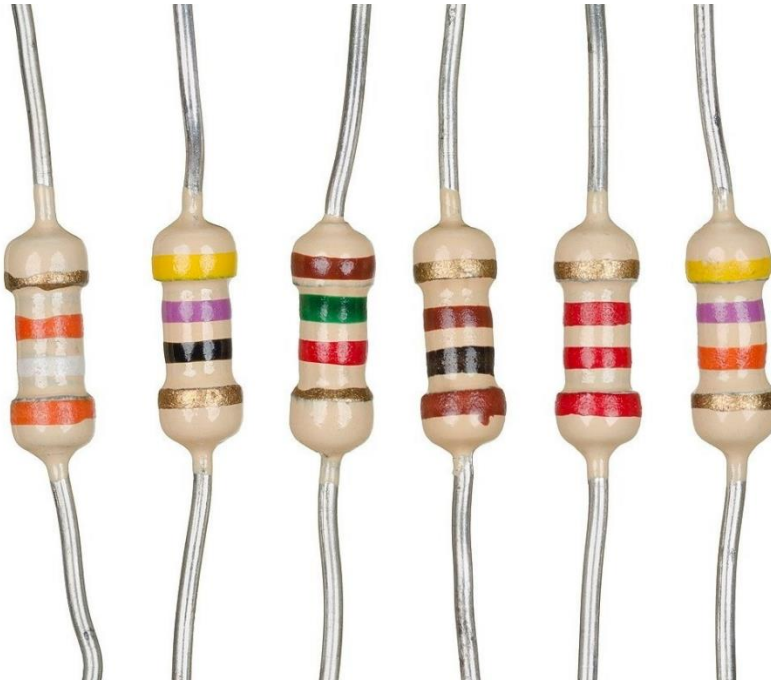
Figura 17. Sensor de Obstáculos ref.



Nota: Tomado de Google

Resistencia: Un componente electrónico pasivo que se opone al flujo de corriente eléctrica, limitando la cantidad de corriente que pasa por un circuito. Se mide en ohmios y se utiliza para proteger componentes, dividir voltaje, controlar el brillo de LEDs y establecer condiciones eléctricas específicas en circuitos electrónicos, siendo fundamental para el diseño y funcionamiento de sistemas electrónicos.

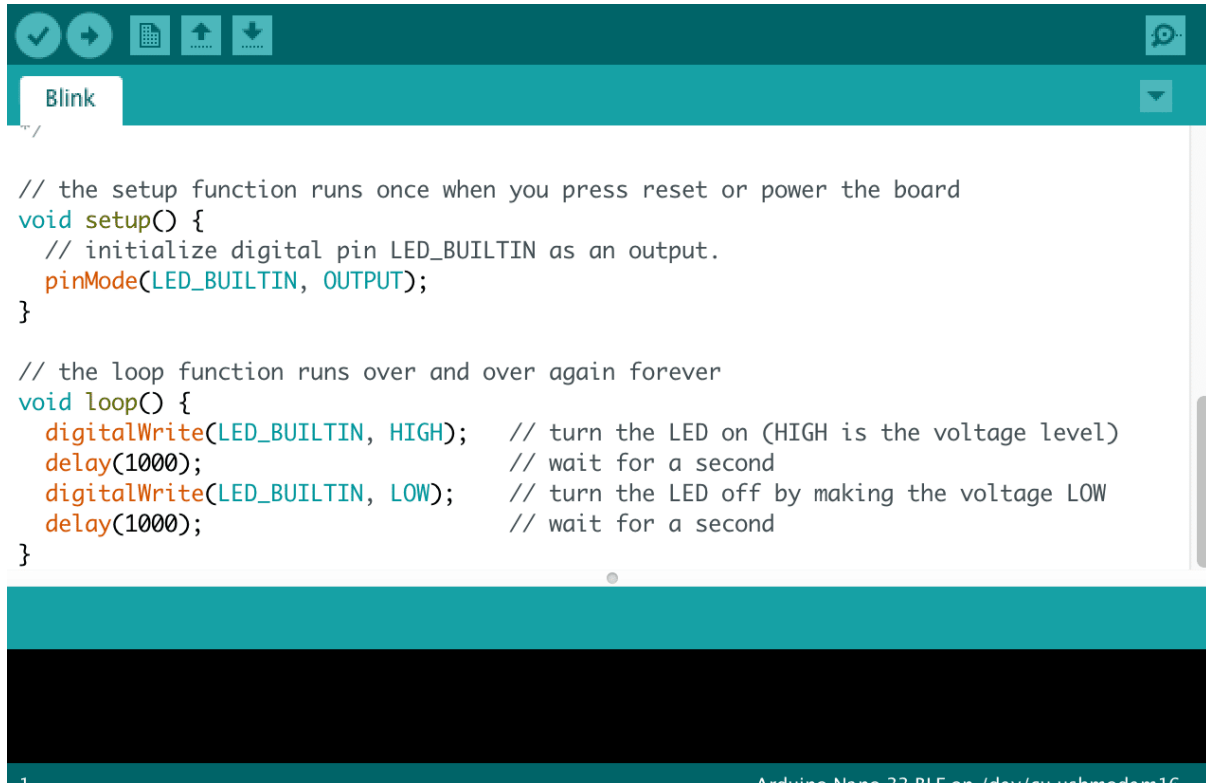
Figura 18. Resistencia ref.



Nota: Tomado de Google

Arduino IDE: Un entorno de desarrollo integrado (Integrated Development Environment) gratuito y de código abierto, específicamente diseñado para programar placas Arduino y otros microcontroladores compatibles. Ofrece un editor de código simplificado, herramientas de compilación, depuración y carga de programas, facilitando la programación para principiantes y profesionales en proyectos de electrónica y programación de sistemas embebidos.

Figura 19. Arduino IDE REF.



```
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);   // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);                       // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);    // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);                       // wait for a second
}
```

Nota: Tomado de Google

Java: Un lenguaje de programación orientado a objetos, multiplataforma y de propósito general, conocido por su lema "escríbelo una vez, ejecútalo en cualquier parte". Ampliamente utilizado en desarrollo de aplicaciones empresariales, aplicaciones móviles Android, sistemas web y aplicaciones de escritorio, destacando por su robustez, seguridad y capacidad de crear software complejo y escalable.

Figura 20. JAVA ref.



Nota: Tomado de Google

Python: Un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y de propósito múltiple, caracterizado por su sintaxis clara y legible. Muy popular en ciencia de datos, inteligencia artificial, desarrollo web, automatización, análisis de datos y programación de sistemas embebidos, destacando por su versatilidad, extenso ecosistema de librerías y facilidad de aprendizaje para principiantes.

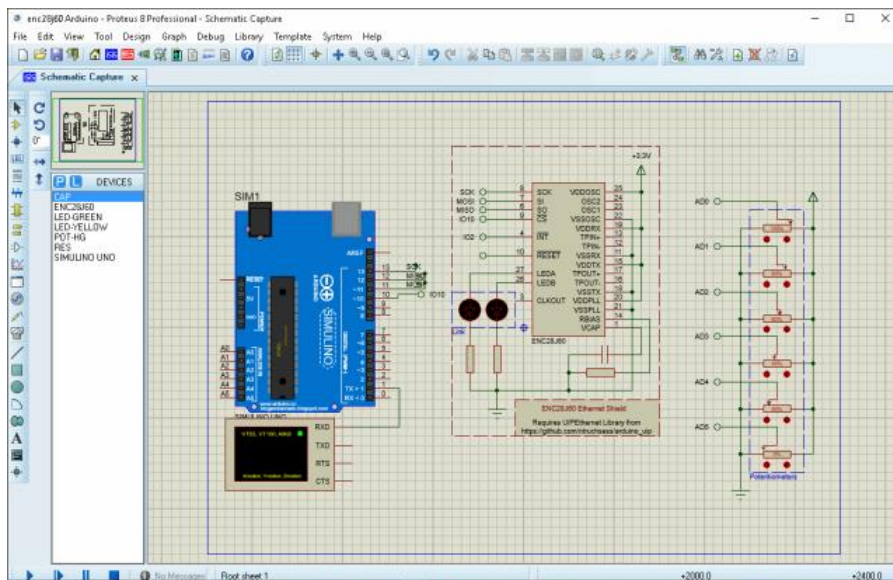
Figura 21. Python ref.



Nota: Tomado de Google

Proteus: Un software de diseño electrónico y simulación de circuitos que permite a ingenieros y estudiantes diseñar, simular y depurar circuitos electrónicos antes de su implementación física. Incluye herramientas para esquemáticos, simulación de microcontroladores, análisis de señales y renderizado de circuitos, siendo una herramienta esencial en el desarrollo y prototipado de proyectos electrónicos.

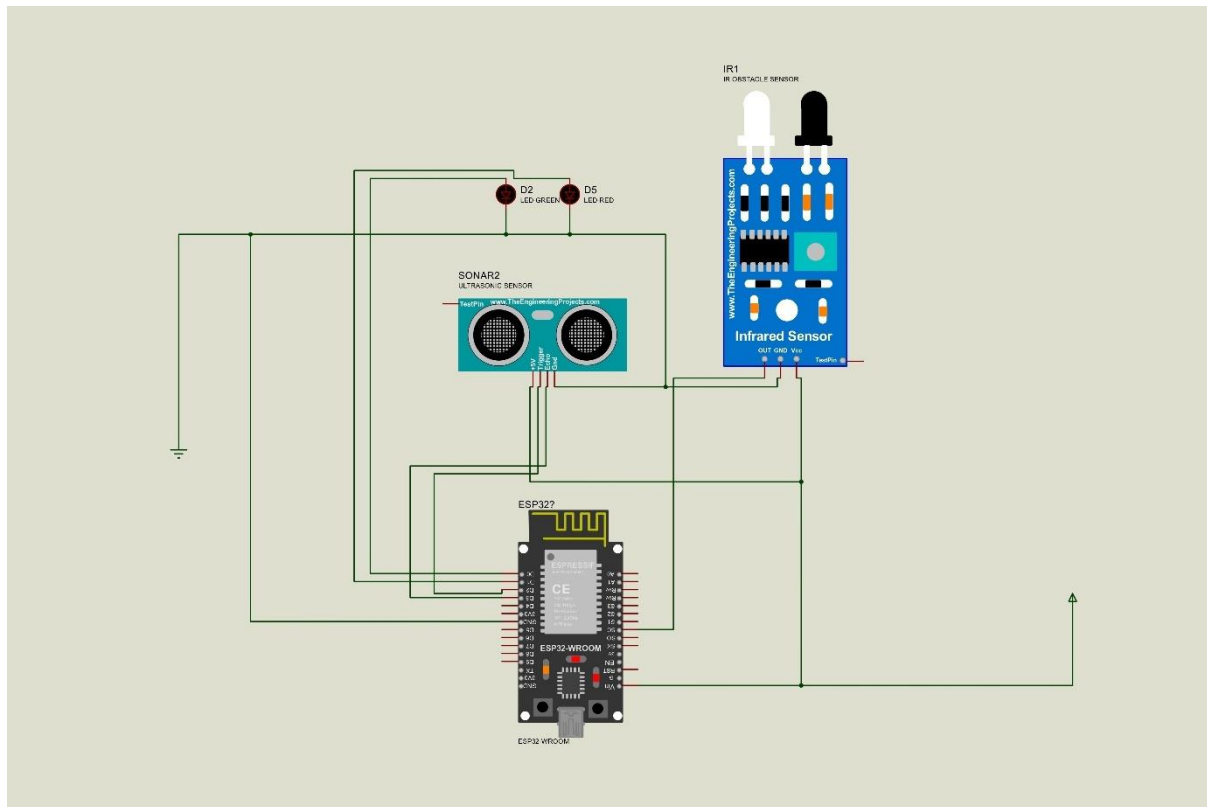
Figura 22. Proteus ref.



Nota: Tomado de Google

El primero representa un diseño a escala para un solo espacio de estacionamiento.
 En este caso, el sistema de detección y señalización se enfoca en monitorizar y mostrar la
 disponibilidad de un único lugar de parqueo.

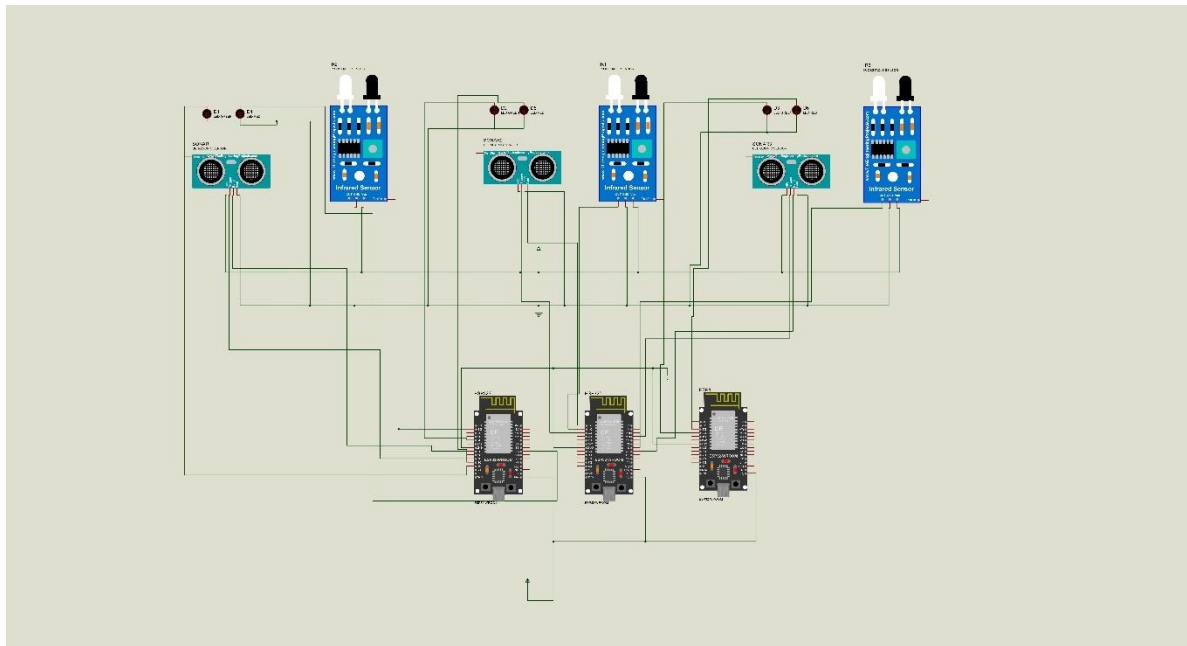
Figura 23. Esquema Eléctrico Proteus 1



Nota: Elaboración Propia de Proteus (2024)

Por otro lado, la segunda imagen muestra un diagrama para un parqueadero más
 grande, con múltiples unidades de estacionamiento. Aquí, el sistema está diseñado para
 controlar y visualizar la disponibilidad de varios espacios de forma simultánea.

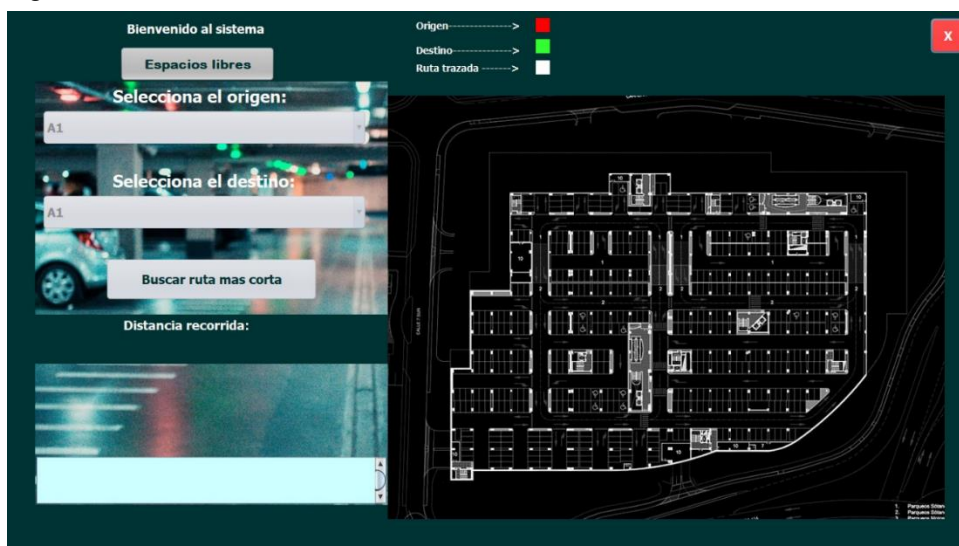
Figura 24. Esquema Eléctrico Proteus 2



Nota: Elaboración Propia desde Proteus (2024)

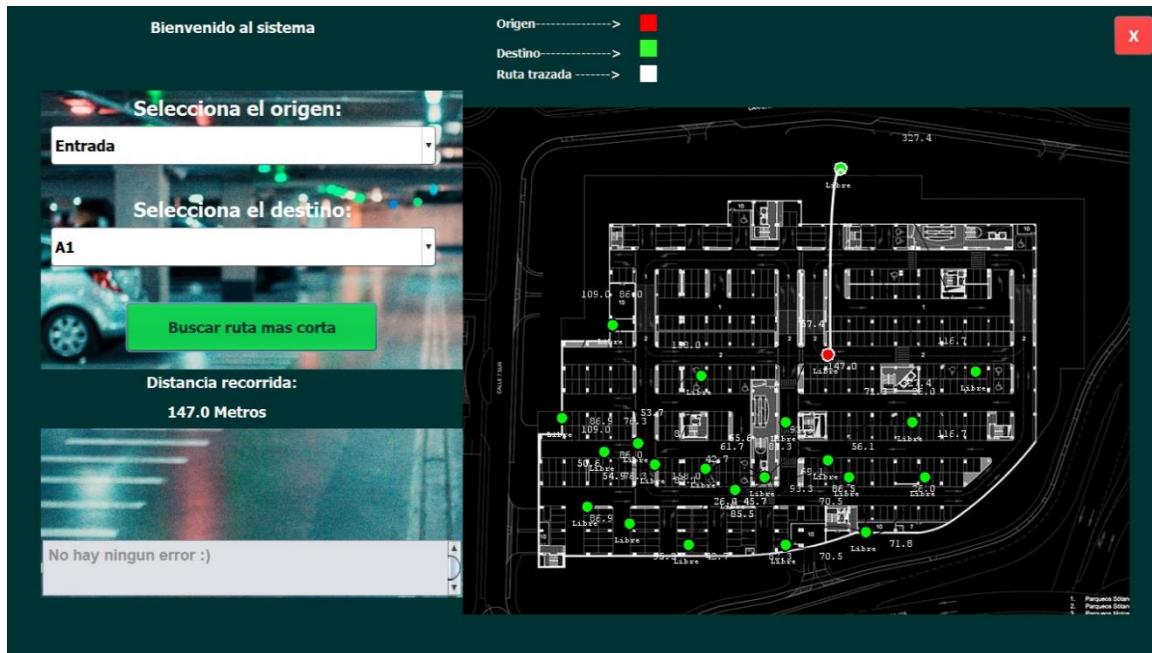
El diagrama representa el parqueadero inteligente que emplea sensores para detectar la disponibilidad de los espacios y luces LED para indicar su estado. Al simular este diseño en Proteus, se logra verificar el correcto funcionamiento del circuito, comprobar la comunicación entre los diferentes módulos y ajustar los parámetros del sistema antes de implementarlo físicamente. Esto ayuda a reducir errores y asegura un desarrollo más eficiente del proyecto de parqueadero inteligente.

Figura 25. Interfaz 1



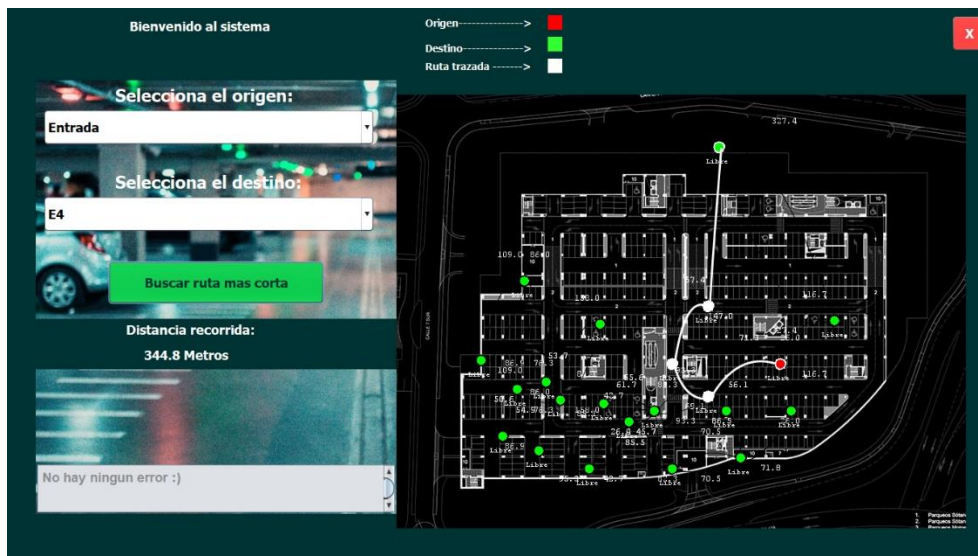
Nota: Modificado de JAVA (2024)

Figura 26. Interfaz 2



Nota: Modificado de JAVA (2024)

Figura 27. Interfaz 3



Nota: Modificado de JAVA (2024)

La interfaz de usuario desarrollada utilizando tecnologías avanzadas como Java e inteligencia artificial. Esto se evidencia en varios aspectos: la capacidad de la aplicación para calcular la distancia de recorrido entre el origen y el destino seleccionados, mostrando en tiempo real dicha información, lo que sugiere un sistema de procesamiento, análisis de datos y de rutas, apoyado en algoritmos de inteligencia artificial para optimizar los cálculos; además, la representación visual de los lugares disponibles en un mapa intuitivo y de fácil

lectura, con elementos gráficos claros y con un enfoque en la experiencia del usuario, característico de soluciones construidas con tecnologías modernas y capacidades de visualización sofisticadas, aprovechando bibliotecas de representación gráfica integradas en entornos de desarrollo Java; en general, la interfaz muestra las capacidades de un sistema de parqueadero inteligente, donde la integración de tecnologías como Java y la inteligencia artificial han permitido crear una experiencia de usuario fluida y útil para los usuarios que necesitan desplazarse de un punto a otro de manera óptima.

9. Conclusión

Un sistema inteligente avanzado para la administración de estacionamientos en Popayán, constituye una intervención pionera y esencial destinada a abordar los crecientes desafíos de movilidad urbana y congestión vehicular que enfrenta la ciudad. Esta iniciativa aspira no solo a mejorar la utilización de las instalaciones de estacionamiento, sino también a mejorar de manera fundamental la experiencia del usuario, mitigar la degradación ambiental y fomentar una gestión más eficiente de los recursos urbanos.

La incorporación de tecnologías de vanguardia como el Internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) en el marco propuesto, promete revolucionar radicalmente la gestión de las instalaciones de estacionamiento. Al proporcionar datos en tiempo real sobre la disponibilidad de espacio y emplear algoritmos sofisticados para la asignación del espacio, el sistema posee la capacidad de:

1. Disminuir drásticamente la duración de las búsquedas de estacionamiento, mejorando así la satisfacción de los usuarios y aliviando la congestión del tráfico.
2. Maximiza la utilización de los recursos de estacionamiento, aumentando así la eficiencia operativa del centro comercial.
3. Reduciendo la emisión de contaminantes asociada con las búsquedas prolongadas de plazas de parqueo.
4. Enriquecer la experiencia general de los clientes de los centros comerciales, lo que podría aumentar el tráfico de clientes y los ingresos por ventas.

Por otro lado, la aplicación de la metodología Design Thinking en este proyecto ha permitido adoptar una perspectiva centrada en el usuario, garantizando que la solución propuesta no solo sea sofisticada desde el punto de vista tecnológico, sino también intuitiva y acorde con las necesidades genuinas de la base de usuarios. Las etapas de empatizar, definir, idear, crear prototipos y evaluar han sido fundamentales para formular una solución integral que aborde los distintos desafíos pertinentes al contexto de Popayán.

Esta iniciativa no solo significa un avance sustancial para la administración de estacionamientos en Popayán, sino que también establece un precedente fundamental para la adopción de soluciones de ciudades inteligentes en toda Colombia. Su éxito puede servir como paradigma para otras áreas urbanas que se enfrentan a desafíos análogos, alentando así una implementación más amplia de tecnologías inteligentes en la gobernanza urbana.

Referencias

- [1]. Vera García, J. P. (2024). ¿Cuántos carros hay en todo el mundo en 2024? Es una gran cifra de 10 dígitos. El Carro Colombiano.
<https://www.elcarrocolombiano.com/industria/cuantos-carros-hay-en-todo-el-mundo-en-2024-es-unagran-cifra-de-10-digitos/>
- [2]. Cifras Runt. (2022). Cifras de tránsito y transporte en Colombia.
[https://www.runt.com.co/sites/default/files/CIFRAS_RUNT %281%29.pdf](https://www.runt.com.co/sites/default/files/CIFRAS_RUNT%281%29.pdf)
- [3]. Vallejo, M. P. (2022). Sistema integral para servicios de parqueo de automotores.
Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/61816>.
- [4]. Shoup, D. y Manville, M. (2005). Parking, People and Cities. Journal of Urban Planning and Development, 131(4), 233-245. Recuperado de
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2005\)131:4\(233\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2005)131:4(233))
- [5]. Jessica Paola Vera García, “¿Cuántos carros hay en todo el mundo en 2024? Es una gran cifra de 10 dígitos,” 09/02/2024. Accessed: Mar. 16, 2024. [Online]. Available:
<https://www.elcarrocolombiano.com/industria/cuantos-carros-hay-en-todo-el-mundo-en-2024-es-una-gran-cifra-de-10-digitos/>
- [6]. Cifras Runt, “Cifras de tránsito y transporte en Colombia,” 30/08/2022. Accessed: Mar. 16, 2024. [Online]. Available:
<https://www.runt.gov.co/sites/default/files/CIFRAS%20RUNT%20%20%281%29.pdf>
- [7]. D. C. Shoup, “The high cost of free parking: Updated edition,” High Cost Free Park. Updat. Ed., no. August, pp. 1–808, 2017, doi: 10.4324/9781351179782.
- [8]. Dachlan 2014:1, “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN PARQUEADERO MULTINIVELES AUTOMATIZADO EN EL SECTOR HISTÓRICO

DE LA CIUDAD DE POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA. FRANCISCO,”

Angew. Chemie Int. Ed. 6(11), 951–952., pp. 22–31, 2014.

[9]. San Francisco Municipal Transportation Agency, “Drive & Park in San Francisco.”

Accessed: Mar. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.sfmta.com/projects/sfpark-pilot-program#:~:text=How> it works, and down to match demand.

[10]. Ayuntamiento de Barcelona (2013). Historia Área verda. Consultado septiembre

17, 2018, from <https://www.areaverda.cat/es/informacion/historia>

[11]. L. Rosales, “Diseño e Implementación de un Parqueo Inteligente Utilizando Arduino Yun

basado en Internet de las cosas (IoT),” vol. 54, no. 6, p. 86, 2016, [Online]. Available:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13461/1/UPS-GT001798.pdf?fbclid=IwAR151ufpX5bTgGQnWajePgZKrwN5cQoX9eVCo4Q7qQdM2Ro5qo1RI163Gtg>

[12]. Shick Electronic S.A. [en línea]. Sistema de guiado de parqueo [consultado el 6 de

marzo de 2017). Disponible en: <http://www.schick-sa.com/es/>

[13]. ReyValderrama, F., (2003). Plan maestro de estacionamientos para Bogotá (a

propósito del proyecto presentado por la secretaría de tránsito y transporte). Ciencia e Ingeniería Neogranadina, (13), 41-52.

[14]. Cubillos N, Rodríguez J.S (2018). Arquitectura IoT para parqueaderos inteligentes en

la ciudad de Bogotá. Universidad Católica de Colombia. Tomado de:

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/904cc945-59d3-46ec-ac9a-874e001193ff/content>

[15]. Alvear-Puertas, Vanessa, Rosero-Montalvo, Paul, Peluffo-Ordóñez, Diego, & Pijal-

Rojas, José. (2017). Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y

Aplicaciones: Revisión de Literatura. *Enfoque UTE*, 8(Supl. 1), 244-

256. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.121>

- [16]. Porcelli, Adriana Margarita. (2020). La inteligencia artificial y la robótica: sus dilemas sociales, éticos y jurídicos. Derecho global. Estudios sobre derecho y justicia, 6(16), 49-105. Epub 27 de enero de 2021. <https://doi.org/10.32870/dgedj.v6i16.286>
- [17]. Ortúzar, J. D., (2002). ¿Es posible reducir la congestión?. ARQ, (52), 7-9. Tomado de: <https://www.redalyc.org/pdf/375/37505204.pdf>
- [18]. Muñoz. S, Salcedo. J, Sotomayor. A. (2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Revista Inventum. Tomado de: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/671/6713690008/>
- [19]. Nivia. A. M, Jaramillo. I. (2018). La industria de sensores en Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnura, vol. 22, núm. 57, pp. 44-54, 2018. Tomado de: <https://www.redalyc.org/journal/2570/257057438003/html/>
- [20]. Díaz. H. D, Flores. M. A, Cuadrado. L. E, Morales. F. (s, f). PARQUEADEROS INTELIGENTES EN ZONA AZUL PARA LA CIUDAD DE QUITO. Apropiación, Generación y Uso Edificador del Conocimiento de Estudiantes Sentipensantes Vol. 2. Tomado de: <https://editorial.redipe.org/index.php/1/catalog/download/59/102/1229?inline=1>
- [21]. Secretaría Jurídica Distrital (2023). Concepto 2202310695 de 2023 Secretaría Distrital de Planeación. Alcaldía Mayor de Bogotá. Tomado de: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=138817#:~:text=Las%20normas%20comunes%20a%20los,Decreto%20Distrital%20555%20de%202021.>
- [22]. Alcaldía de Popayán (2023). DECRETO No 20231000001845 del 2023. DPE-100, Versión. 04, pág. 1-8. Tomado de: https://popayan.gov.co/NuestraAlcaldia/Normatividad/Decreto_20231000001845_del_21_de_julio_del_2023.pdf