



*Análisis de factibilidad para implementar parqueaderos inteligentes en la Ciudad de Riobamba que promuevan una movilidad sostenible*

*Feasibility analysis to implement smart parking in the city of Riobamba that promotes sustainable mobility*

*Análise de viabilidade para a implementação de estacionamento inteligentes na cidade de Riobamba que promovam a mobilidade sustentável*

Diego Fernando Veloz-Cherrez <sup>I</sup>

[diego.veloz@epoch.edu.ec](mailto:diego.veloz@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-6084-2213>

Pamela Leonor Guerrero-Aliaga <sup>II</sup>

[pamela.guerrero@epoch.edu.ec](mailto:pamela.guerrero@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0006-3672-2074>

Erick Marcel Peñafiel-Andino <sup>III</sup>

[erick.penafiel@epoch.edu.ec](mailto:erick.penafiel@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0008-7656-4589>

Emily Alejandra Salinas-Escobar <sup>IV</sup>

[emily.salinas@epoch.edu.ec](mailto:emily.salinas@epoch.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-5100-8606>

**Correspondencia:** [diego.veloz@epoch.edu.ec](mailto:diego.veloz@epoch.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 12 de junio de 2024 \* **Aceptado:** 09 de julio de 2024 \* **Publicado:** 02 de agosto de 2024

- I. Máster of Information Technology Major in Networking and Security, Docente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniera en Telecomunicaciones, Profesional Graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniero en Telecomunicaciones, Profesional Graduado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Ingeniera en Telecomunicaciones, Profesional Graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

## Resumen

En la búsqueda de soluciones innovadoras para la movilidad urbana sostenible, se propone este proyecto que integra tecnologías de comunicación, sensores, análisis de datos y automatización de procesos, con un enfoque de arquitectura IoT para ofrecer una experiencia de estacionamiento eficiente, escalable en el tiempo y que permita a los usuarios obtener información relevante en tiempo real. El punto de partida fue analizar la infraestructura necesaria y disponible para la implementación del sistema de estacionamiento público en base a la normativa municipal de la ciudad de Riobamba y mediante la identificación de esos requerimientos desarrollar un sistema de control de vehículos para registrar el tiempo de un vehículo estacionado y la información de las plazas disponibles y sus ubicaciones. Por lo tanto, se desarrolló un prototipo IoT para realizar pruebas de funcionamiento en entornos reales controlados y evaluar la escalabilidad y la fácil integración con la estructura pública existente como las redes de acceso a Internet. Esta combinación de tecnologías no solo demostró mejorar la comodidad del usuario, sino que también contribuyó a la reducción de los tiempos para encontrar plazas de parque disponible y tarifas exactas por tiempo de uso, beneficiando tanto a la administración de la ciudad como a los ciudadanos. El análisis demostró la viabilidad del proyecto y un retorno a corto plazo en función de la demanda actual que tiene el sistema de parqueo manual.

**Palabras clave:** Ciudad inteligente; Parqueadero inteligente; IoT, SEROT; Automatización de parqueaderos; Movilidad.

## Abstract

In the search for innovative solutions for sustainable urban mobility, this project is proposed that integrates communication technologies, sensors, data analysis and process automation, with an IoT architecture approach to offer an efficient parking experience, scalable over time and allowing users to obtain relevant information in real time. The starting point was to analyze the infrastructure necessary and available for the implementation of the public parking system based on the municipal regulations of the city of Riobamba and by identifying these requirements to develop a vehicle control system to record the time a vehicle is parked and the information of the available spaces and their locations. Therefore, an IoT prototype was developed to perform operational tests in controlled real environments and evaluate the scalability and easy integration with the existing

public structure such as Internet access networks. This combination of technologies not only proved to improve user comfort, but also contributed to the reduction of times to find available parking spaces and accurate rates for time of use, benefiting both the city administration and citizens. The analysis demonstrated the viability of the project and a short-term return based on the current demand for the manual parking system.

**Keywords:** Smart city; Smart parking; IoT, SEROT; Parking automation; Mobility.

## Resumo

Na procura de soluções inovadoras para a mobilidade urbana sustentável, propõe-se este projeto que integra tecnologias de comunicação, sensores, análise de dados e automatização de processos, com uma abordagem de arquitetura IoT para oferecer uma experiência de estacionamento eficiente, escalável ao longo do tempo e que permite aos utilizadores obter. O ponto de partida foi analisar a infraestrutura necessária e disponível para a implementação do sistema de estacionamento público com base na regulamentação municipal da cidade de Riobamba e, identificando estes requisitos, desenvolver um sistema de controlo de veículos para registar o tempo de um veículo estacionado e informação sobre os espaços disponíveis e as suas localizações. Assim sendo, foi desenvolvido um protótipo de IoT para realizar testes funcionais em ambientes reais controlados e avaliar a escalabilidade e a fácil integração com a estrutura pública existente, como as redes de acesso à Internet. Esta combinação de tecnologias não só comprovou melhorar o conforto dos utilizadores, como também contribuiu para a redução dos tempos de procura de espaços disponíveis no parque e das taxas exatas de utilização, beneficiando tanto a administração municipal como os cidadãos. A análise demonstrou a viabilidade do projeto e o retorno a curto prazo com base na procura atual do sistema de estacionamento manual.

**Palavras-chave:** Cidade inteligente; Estacionamento inteligente; IoT, SEROT; Automatização de estacionamento; Mobilidade.

## Introducción

Las ciudades urbanas modernas tienen una gran cantidad de vehículo que transitan en sus calles y la demanda de vehículos cada vez es mayor. En el 2008 se proyectó que existían más de 841 millones de vehículos alrededor del mundo y se proyecta que para el 2035 existirán alrededor de

1.6 billones de vehículos. Sin embargo, existe un problema aún mayor, la cantidad de espacios de parqueadero público son insuficientes para tal crecimiento de vehículos (Alsaferi et al., 2018).

La modernización de los sistemas de estacionamiento mediante tecnologías como IoT (Internet of Things) ofrece una solución integral para los problemas actuales de gestión y control. Un sistema de parqueadero inteligente no solo facilitaría la detección automática de vehículos estacionados, sino que también permitiría un monitoreo en tiempo real y la emisión de alertas automáticas cuando no se cumple con el pago requerido. Esto reduciría la carga administrativa y mejoraría la eficacia en la aplicación de las normativas municipales, optimizando el uso del espacio público y garantizando el cumplimiento de las tarifas establecidas.

La implementación de un sistema de parqueadero inteligente en el centro histórico de Riobamba es un proyecto necesario y oportuno, considerando la necesidad de modernizar y optimizar la gestión del estacionamiento público en esta zona. Actualmente, la ciudad cuenta con el sistema SEROT, el cual, mejora la organización del estacionamiento y reduce el congestionamiento vehicular, se basa en procesos que pueden beneficiarse significativamente de la integración de nuevas tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT).

En Riobamba, el estacionamiento en la vía pública es administrado por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del Cantón Riobamba a través del sistema SEROT. Este sistema se gestiona bajo la ordenanza 010 de 2009, que establece una tarifa fija y la recaudación mediante tarjetas prepago. Aunque este modelo ha sido funcional, existen desafíos persistentes en la vigilancia y el control eficiente del uso de los espacios de estacionamiento. La dependencia de métodos manuales y la falta de automatización completa limitan la eficacia del sistema en términos de control y aplicación de las normativas (Llangari & Tapia, 2023).

La implementación de un sistema de parqueadero inteligente contribuye a un desarrollo urbano más ordenado y sostenible, reduciendo la congestión vehicular y promoviendo el uso racional de los espacios de estacionamiento. Además, fomenta el cumplimiento de las normativas de tránsito y el orden público, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible de la ciudad. En cuanto a la recaudación y los beneficios adicionales, la automatización del control de pagos y la generación de alertas por incumplimiento contribuirán a una mayor recaudación de tarifas, mejorando los ingresos municipales, reduciendo los costos operativos asociados con la gestión manual y la supervisión de los espacios de estacionamiento.

Este proyecto realiza un análisis de la factibilidad y los beneficios de parqueaderos inteligentes mediante la implementación de un sistema IoT que no solo permita mejorar la satisfacción del usuario, sino que también promueva una imagen positiva de la administración municipal y su compromiso con la innovación para el desarrollo de Smart Cities que sean autosustentables y sostenibles en el tiempo.

## Smart Cities

El término smart city o ciudad inteligente resulta ser una definición emergente. Así, Gassmann et al. (2019) define “una ciudad inteligente es un área urbana más eficiente y amigable con el medio ambiente y/o más inclusiva socialmente mediante el uso de tecnologías digitales y la mejora o incorporación de servicios urbanos”. Además, mencionan los seis pasos para que una ciudad sea inteligente:

- Determinar el punto de partida: Desarrollar una comprensión clara y objetiva de la situación actual.
- Identificar objetivos.
- Selección de los proyectos más prometedores.
- Evaluación del impacto de cada proyecto, en función de los objetivos identificados.
- Evaluación de la probabilidad de éxito de la implementación de cada proyecto.
- Para cada proyecto identificado, evaluar los factores de éxito para la implementación.

El concepto Smart City expresa la necesidad imperiosa de mejorar la gestión de las ciudades y se apoya en el enorme margen de mejora existente que implica eficiencia/low cost. Su concepto se traduce en mejorar principalmente la eficiencia energética en general y la movilidad en particular; siendo fundamental para calidad de vida y sostenibilidad urbana. Smart City es un concepto más amplio, con vocación transversal ya que implica una nueva forma de gestión, un estilo de gobernanza diferente en el que la información se obtiene y comparte de manera abierta (open government) y empleando toda la potencialidad de las TIC (Seisdedos, 2012).

Según la literatura analizada sobre ciudades inteligentes, se encuentra tres tipos diferentes de definiciones (Meijer & Bolívar, 2016):

- **Enfoque tecnológico:** Entendiéndose, ciudades inteligentes como ciudades que utilizan tecnologías inteligentes.

- **Enfoque en recursos humanos:** ciudades inteligentes como ciudades con personas inteligentes.
- **Enfoque en gobernanza:** ciudades inteligentes como ciudades con colaboración inteligente.

Las tendencias de las ciudades inteligentes para el presente año 2024 es fruto de la evolución que se ha experimentado en los últimos tiempos en aspectos como la inteligencia artificial, digital twins (uso de réplicas), participación ciudadana y edificios inteligentes (Cibernos Comunicación, 2024). Ecuador es parte de la experiencia sobre el desarrollo de Smart Cities. Entre los temas que reflejan su participación en las Smart Cities están:

El Ministerio de Telecomunicaciones, mediante la Ley Orgánica de Transformación Digital y Audiovisual, bajo el liderazgo del Ing. César Martín, establece la Agenda Digital Integral como el instrumento de planificación que orientará los esfuerzos de digitalización en los diferentes sectores a nivel nacional. Esta política pública busca cerrar brechas digitales, fortalecer la gobernanza y el gobierno digital, así como potenciar la economía del conocimiento en todo el país (Ministerio de Telecomunicaciones, 2024). Desde el año 2015 el trabajo que emprende el MINTEL para la implementación de las Smart Cities se refleja en el desarrollo del Libro Blanco de Territorios Digitales, cuya propuesta se enfoca en el servicio al ciudadano, considerando Componentes Transversales como: Infraestructura, Sistemas de Información y Normativa, así como Ejes Fundamentales, tales como el Gobierno en Línea, Alistamiento Digital, Ejes Temáticos Esenciales y Ejes Productivos (Ministerio de Telecomunicaciones, 2024).

La séptima edición del Congreso Internacional Smart City Ecuador 2024 tiene como objetivo generar un intercambio de experiencias entre representantes de ciudades, autoridades, alcaldes, empresarios y actores culturales. Se explorarán las principales tendencias mundiales en áreas clave como tecnología, telecomunicaciones, seguridad, sostenibilidad, movilidad, urbanismo, medio ambiente, turismo, salud, innovación social, innovación bancaria, academia, gobernanza, ciudadanía y políticas públicas (Eventosecuador, 2024).

## **Movilidad Sostenible**

La movilidad sostenible engloba procesos y acciones orientados a conseguir el uso racional de los medios de transporte particulares y públicos con el mínimo impacto ambiental. Su objetivo es

reducir el número de vehículos automotores que circulan a diario, generan contaminación y congestión en zonas transitadas (Sura Seguros, 2017). El concepto de movilidad sostenible consiste en restablecer el equilibrio entre costos y beneficios en el sector del transporte.

Constituye un enfoque tradicional de la planificación del transporte considerándose como una exigencia derivada del crecimiento económico y una de sus infraestructuras de apoyo hacia una orientación basada en la realidad y la evaluación de los riesgos y que reconoce los inconvenientes del crecimiento incontrolado. El logro de la movilidad sostenible depende en gran medida de que se disponga de competencias técnicas en la materia, para el transporte tradicional, ya que se han basado, obviamente, en la ingeniería y la planificación. Los expertos en transporte conceden en la actualidad mayor importancia a la economía que a la ingeniería y la planificación (Giorgi, 2018).

Los principios de la movilidad sostenible se cimentan en:

- Reducción del Impacto Ambiental: Disminución de Emisiones de Gases Contaminantes
- Integración de Tecnologías Inteligentes para la gestión y planificación del transporte, optimizando rutas y tiempos, y mejorando la experiencia del usuario.
- Accesibilidad y Seguridad para garantizar que todos los ciudadanos, incluidos aquellos con movilidad reducida, tengan acceso equitativo a las opciones de transporte. Seguridad Vial, implementar medidas y políticas que reduzcan los accidentes de tráfico y aumenten la seguridad de los usuarios de la vía pública (Giorgi, 2018).

### **Sistemas de Parqueadero Inteligente**

Los sistemas de estacionamiento inteligente son utilizados con el objetivo de mejorar la vida diaria de las personas, por lo que se espera que el uso de sistemas de estacionamiento inteligente aumente constantemente (Moko Smart, 2022). El Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU predijo que todo el crecimiento de la población mundial vivirá en las áreas urbanas. Y se prevé que la tasa de crecimiento alcance 68% en 2050, este aumento de la población no es solo un problema apremiante de los gobiernos, también es una realidad cotidiana real para la mayoría de los ciudadanos y como una consecuencia de esto la búsqueda de estacionamiento resultará en una gran pérdida de tiempo y dinero, según el informe de USA Today, hay 35% tiempo y 345 dólares desperdiciados en esto (Moko Smart, 2022).

*Figura 1: Global Smart Parking Market by Regions, 2021 to 2028.*



*Fuente: (Moko Smart, 2022)*

## Metodología

Este proyecto es un caso de estudio que se centra en el marco de transporte terrestre, específicamente el estacionamiento en la vía pública, en la ciudad de Riobamba – Ecuador.

Actualmente, en la ciudad de Riobamba opera un Sistema de Estacionamiento Rotativo Tarifado (SEROT) que, de acuerdo a Núñez (2012), es la principal entidad que regula y ordena el uso de la vía pública dejando libre espacios de la calzada, que muchas veces son ocupados de manera ilícita con estacionamientos, para tener una fluida circulación y menorar los distintos problemas de congestión, principalmente en el centro histórico de la ciudad debido a la limitación de espacio (Llangari & Tapia, 2023). La administración del SEROT está a cargo del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del Cantón Riobamba, a través de una unidad específica que depende de la Dirección de Justicia, Policía y Vigilancia del GAD municipal (Llangari & Tapia, 2023).

El funcionamiento y la supervisión del SEROT se realizan tanto de manera manual como automática, en conformidad con la ordenanza 010 de 2009. Esta ordenanza establece que el consejo cantonal fije la tarifa de estacionamiento en 0,25 dólares, recaudados mediante la venta de tarjetas prepago-distribuidas por vendedores autorizados en cada zona (Llangari & Tapia, 2023). Para su

operatividad, el sistema SEROT ha dividido la ciudad en tres zonas estratégicas, cada una diseñada para proporcionar el servicio de estacionamiento de manera eficiente.

**Figura 2:** Zonas controladas por el SEROT



En la Tabla 1 se establece el número total de espacios disponibles de la Zona 1 - Terminal Terrestre, Zona 2 - Parque Guayaquil, Hospital del IESS y Zona 3 - Centro Histórico Riobamba, siendo un total de 1934 espacios disponibles con lo cual se define el tamaño del proyecto sobre esta cantidad.

**Tabla 1:** Espacios disponibles según las zonas

ZONAS	ESPACIOS DISPONIBLES
Zona 1	95
Zona 2	139
Zona 3	1700
<b>TOTAL</b>	<b>1934</b>

*Fuente:* (Llangari & Tapia, 2023)

## Requerimientos del sistema

El desarrollo del sistema de parqueadero inteligente para promover la movilidad sostenible en la ciudad de Riobamba requiere la definición clara de varios tipos de requerimientos: funcionales, no funcionales y técnicos. Estos requerimientos aseguran que el sistema cumpla con las expectativas y necesidades, sea técnicamente viable y se integre adecuadamente con la infraestructura urbana existente.

### Requerimientos Funcionales

1. **Detección y Sensores de Plazas Disponibles:** El sistema debe incluir sensores instalados en cada plaza de estacionamiento para detectar la ocupación y deben ser capaces de determinar si una plaza está ocupada o libre en tiempo real. Los sensores deben enviar datos en tiempo real a una central de procesamiento para actualizar el estado de cada plaza de estacionamiento.
2. **Identificación y Cobro:** El sistema debe incorporar tecnología para identificar vehículos al entrar y salir del parqueadero. Cada vehículo debe tener una etiqueta que permita su identificación única. Para esto, es necesario instalar lectores de identificación en los puntos de entrada y salida del parqueadero para registrar cada vehículo. El sistema debe calcular automáticamente el tiempo de estancia de cada vehículo y el monto a pagar.
3. **Monitoreo:** Implementación de un sistema de alertas para notificar a los usuarios sobre indicaciones, pagos y sanciones

### Requerimientos No Funcionales

1. **Escalabilidad:** El sistema debe ser escalable para gestionar desde unos pocos hasta varios miles de plazas de estacionamiento sin degradación en el rendimiento.
2. **Fiabilidad:** Debe garantizar una disponibilidad del 99.9%, minimizando el tiempo de inactividad. Los sensores y sistemas de comunicación deben ser robustos y operar de manera continua
3. **Seguridad:** Implementación de medidas de seguridad para proteger los datos de los usuarios y pagos.

## Requerimientos Técnicos

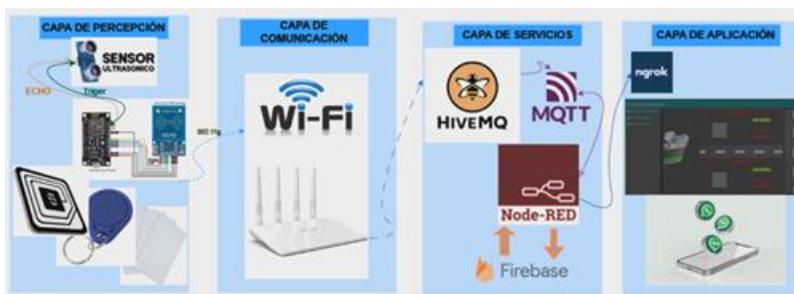
Los requerimientos técnicos se refieren a los componentes y tecnologías específicas que el sistema debe incorporar.

1. **Sensores de Ocupación:** Deben ser precisos y tener una tasa de error mínima. Preferiblemente, deben ser sensores ultrasonidos o magnéticos con capacidad de comunicación inalámbrica.
2. **Comunicación y Red:** Uso de redes inalámbricas robustas y con infraestructura disponible en la ciudad.
3. **Plataforma de Procesamiento de Datos:** Una plataforma central que pueda procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real, con capacidad de almacenamiento en la nube y análisis de datos para optimizar el uso del parqueadero.

## Diseño del sistema

Un modelo de 4 capas para IoT proporciona una estructura organizativa que facilita la comprensión y el diseño de sistemas complejos de Internet de las Cosas (IoT), donde cada capa representa un nivel de abstracción que abarca desde la infraestructura física hasta las aplicaciones finales como se muestra en la Figura 3.

Figura 3: Diagrama general del sistema



## Capa de percepción

La capa de percepción consiste en un conjunto de sensores que permite la medición de las variables del proyecto. Se definieron 3 partes principales: Módulo de comunicación, Sensores y Lectores de tarjetas.

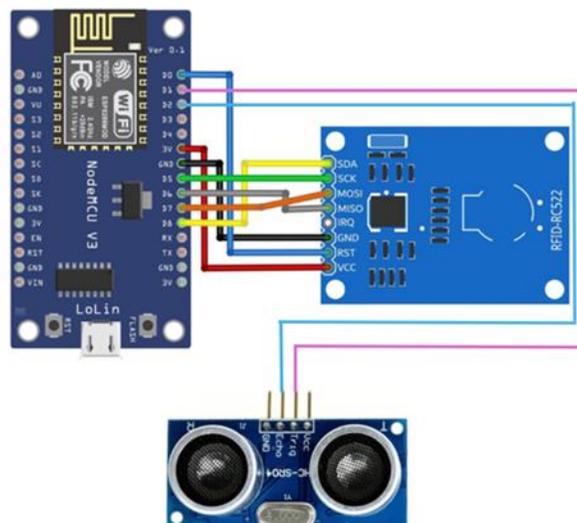
- Para la comunicación entre ellos y el resto del sistema de los datos hacia el sistema, se usa la tarjeta ESP8266 por su sencillez, fácil integración y costo reducido. Se trata de un chip integrado con conexión WiFi y compatible con el protocolo TCP/IP. El objetivo principal es dar acceso a una red.
- Para que el sistema pueda determinar la presencia de vehículos se eligieron sensores ultrasónicos que emiten ondas que chocan con los objetos y reciben sus ondas reflejadas para calcular su distancia mediante el desfase de estas ondas.
- Por otro lado, para la interacción de los usuarios y el registro y pago, se eligieron lectores con tecnología RFID (Radio Frequency Identification) que puedan leer las tarjetas de cada usuario. En este proyecto se utilizó el kit de desarrollo RFID RC522 que permite desarrollar aplicaciones con RFID rápidamente. El módulo lector está basado en el circuito integrado MFRC522 de NXP que es un IC especializado en “comunicación sin contacto” o RFID trabajando a una frecuencia de 13.56 Mhz (PatagoniaTec Electronica, 2024).

Por último, para poder integrar todas estas partes, se usaron tarjetas Arduino debido a su versatilidad, accesibilidad y comunidad de apoyo. A diferencia de otros entornos de desarrollo, Arduino (2021) ofrece una integración simplificada con una amplia variedad de sensores y módulos necesarios para la detección y monitoreo de vehículos, como sensores de ultrasonido, módulos de comunicación inalámbrica y displays LCD. Además, su bajo costo y la disponibilidad de recursos abiertos permiten una implementación más económica y rápida, facilitando la creación de un sistema robusto y escalable que puede ser fácilmente adaptado y actualizado para satisfacer las necesidades específicas del parqueadero. La elección de Arduino (2021) también garantiza una mayor flexibilidad para el desarrollo de futuras mejoras y funcionalidades en el sistema, contribuyendo a una solución tecnológica sostenible y eficiente para la gestión de estacionamientos en la ciudad de Riobamba.

La Figura 4 muestra el circuito implementado que utiliza un módulo NodeMCU V3 (ESP8266), un sensor RFID RC522 y un sensor ultrasónico HC-SR04. En el proyecto se implementaron tres circuitos. Sin embargo, uno de estos circuitos tiene una funcionalidad adicional: la capacidad de registrar nuevas tarjetas RFID. Esta funcionalidad exclusiva permite la gestión y actualización del sistema de usuarios, asegurando que solo las tarjetas autorizadas puedan interactuar con el sistema

de estacionamiento. Los otros dos circuitos se utilizan únicamente para la detección de vehículos y el cobro basado en el tiempo de uso del estacionamiento.

*Figura 4: Diseño del hardware de la capa de percepción*



### Capa de comunicación

En el centro histórico de la ciudad de Riobamba se encuentra desplegada la red WiFi pública conocida como "Riobamba Digital". Esta infraestructura tecnológica proporciona acceso a Internet gratuito en varios espacios públicos, incluyendo parques, plazas y áreas concurridas. La red "Riobamba Digital" está diseñada para ofrecer una cobertura amplia y de calidad, facilitando la conectividad a los ciudadanos y visitantes en el corazón de la ciudad. Esta infraestructura es esencial para el proyecto de parqueadero inteligente, ya que permitirá la transmisión continua de datos desde los sensores y sistemas de control instalados en las áreas de estacionamiento hacia la nube para su procesamiento y monitoreo en tiempo real (Municipio de Riobamba, 2024).

Para garantizar el éxito y la sostenibilidad del proyecto de parqueadero inteligente, es fundamental establecer convenios de colaboración con el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Riobamba. Estos acuerdos deben contemplar la utilización y mantenimiento de la red "Riobamba Digital" para soportar la transmisión de datos del sistema de estacionamiento. Además, se deben definir responsabilidades conjuntas en cuanto a la seguridad y calidad del servicio de Internet.

Un convenio adecuado asegurará que la infraestructura de red WiFi esté disponible y en óptimas condiciones, permitiendo que el sistema de parqueadero funcione de manera eficiente y continua.



la gestión del parqueadero. Con estas capacidades, Firebase no solo complementaría la infraestructura existente, sino que también permitiría una expansión más fluida y una mayor integración con otros servicios y aplicaciones en la nube, fortaleciendo el ecosistema de gestión del estacionamiento (Google Cloud Functions y Firebase, 2024).

- **Procesamiento de información:** Node-RED es un entorno de programación visual para conectar dispositivos, servicios en línea y APIs de forma sencilla. Se basa en el proyecto de código abierto Node.js, lo que permite la creación de flujos de trabajo (flows) mediante la conexión de nodos predefinidos que representan diferentes funciones. Estos flujos se crean arrastrando y soltando nodos en una interfaz gráfica, lo que facilita la creación de aplicaciones complejas sin necesidad de escribir código desde cero. Node-RED es particularmente popular en el ámbito del Internet de las cosas (IoT) y la automatización del hogar, donde se utiliza para integrar y gestionar dispositivos y servicios de manera eficiente (Arduino, 2021).

Se optó por utilizar Node-RED para el desarrollo debido a su capacidad para facilitar la integración y la automatización de sistemas de manera visual y eficiente. Node-RED, con su interfaz gráfica intuitiva basada en flujos, permite conectar fácilmente sensores y dispositivos de estacionamiento con servicios web y bases de datos, lo que es crucial para la detección en tiempo real de vehículos y la gestión de alertas de pago. A diferencia de otras plataformas, Node-RED ofrece una integración rápida y flexible con protocolos como MQTT y HTTP, esenciales para la comunicación en un entorno IoT. Además, su compatibilidad con una amplia gama de hardware y software hace que sea una herramienta ideal para desarrollar aplicaciones de gestión de estacionamiento que requieren una alta escalabilidad y adaptabilidad. Esta elección también se ve reforzada por la robusta comunidad de usuarios y desarrolladores que respalda Node-RED, lo que garantiza una amplia disponibilidad de recursos y soporte para el desarrollo continuo del sistema.

- **Plataforma bróker:** HiveMQ tiene una capacidad avanzada para manejar comunicaciones IoT de manera eficiente y segura. HiveMQ, como plataforma MQTT robusta y escalable, proporciona una solución ideal para la transmisión en tiempo real de datos entre los sensores de detección de vehículos y los sistemas de monitoreo y control del parqueadero. A diferencia de otros protocolos de comunicación, MQTT se destaca por su bajo consumo de ancho de banda y su capacidad para funcionar de manera fiable incluso en entornos con conectividad inestable, lo cual es fundamental para la operación continua y eficiente del

parqueadero. HiveMQ facilita la gestión de grandes volúmenes de datos y soporta la integración con servicios en la nube, lo que permite una supervisión centralizada y la generación de alertas automáticas cuando se detectan irregularidades en el estacionamiento. Además, la plataforma ofrece una excelente compatibilidad con diversos dispositivos y sistemas operativos, lo que asegura una implementación flexible y adaptable para futuros desarrollos y expansiones del sistema (Optimizing Global Operations and Supply Chain for Automotive Manufacturing, 2024).

Para el desarrollo del sistema usando Node-red una vez configurados los requisitos, se obtiene el diagrama de flujos final como se muestra en las tres ilustraciones separadas por diferentes secciones. Donde se inicia con la adquisición de los datos mediante el bloque de MQTT, para poder procesarlos en NODE-RED, para este procesamiento se hace uso de bloques de funciones para controlar el tiempo de uso del parqueadero y dependiendo de dicho tiempo final se realiza el cobro respectivo; así, se definen diferentes casos mediante un switch además se incluyen los casos de multas y penalizaciones en caso de exceder el tiempo de uso del parqueadero según las normativas del SEROT y las ordenanzas del Municipio de Riobamba. En el Anexo A se detallan los diagramas de conexión en Node Red para las relaciones entre las variables del sistema. Se incluye también el procesamiento de los datos relacionados a las tarjetas RFID, con el cual se realiza el cobro y para ello se debe realizar el registro de cada tarjeta ingresando los datos de los usuarios afiliados a dichas tarjetas. Todas estas funciones se realizan en Node-Red mediante los bloques que se muestran en el Anexo A.

### **Capa de Aplicación**

La capa de aplicación está compuesta por una plataforma de cloud computing que permita la integración total del sistema, garantice la disponibilidad de la información y aloje una interfaz web para que el usuario pueda visualizar de manera gráfica las plazas disponibles, la ubicación de las mismas y el acceso a la información del servicio de parqueadero en tiempo real.

El sistema informático se evaluó tanto económicamente como técnicamente. En el aspecto económico se evaluó el costo y la recuperación de la inversión en función de la demanda, así también en el aspecto técnico se evaluó la Interoperabilidad de toda la estructura implementada y el correcto funcionamiento de las 4 partes que componen el proyecto (capas de percepción, comunicación, servicio y aplicación).

## Resultados

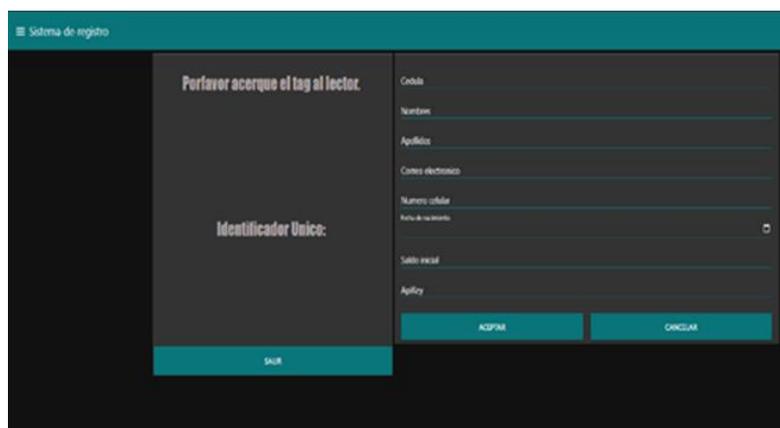
En la Figura 6 se muestra la interfaz desarrollada a través de la cual los usuarios podrán visualizar la disponibilidad de las plazas del parqueadero, realizar el registro y un sistema de revisión de los usuarios registrados. Para acceder a este dashboard, se debe usar las credenciales de acceso, así se garantiza también la seguridad del sistema de estacionamiento.

*Figura 6: Dashboard del sistema de parqueadero inteligente*



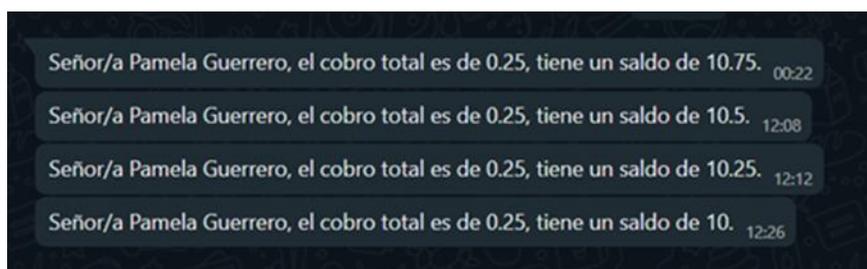
El sistema también cuenta con un sistema de registro para cada usuario al que se le asignará una tarjeta RFID con la que podrá realizar el pago de forma rápida en cada plaza de estacionamiento, esta característica se incluye en el Dashboard. Toda esta información es guardada en Firebase. El sistema también permite el envío de notificaciones del detalle del saldo de la tarjeta, esta información se envía al WhatsApp del usuario. Además, se envían mensajes de las multas en caso de cometer infracciones con el sistema.

*Figura 7: Dashboard-Sistema de registro*



El sistema de cobro se lleva a cabo mediante la detección de la presencia de un auto en la plaza de estacionamiento gracias al sensor ultrasónico. El usuario debe pasar su tarjeta por el lector RFID para inicializar el uso de la plaza. Al momento de realizar el pago y retirar el vehículo, el usuario deberá volver a pasar la tarjeta por el lector, de manera que se realice el cobro basado en el tiempo de uso del estacionamiento, calculado desde la hora del primer registro o ingreso hasta el momento de salida o pago con la tarjeta.

*Figura 8: Mensajes de notificación enviados por el sistema al usuario*



### **Presupuesto del sistema y retorno de la inversión**

El balance de costos muestra que el proyecto de parqueadero inteligente no solo es viable sino también rentable en el corto plazo. Con una inversión inicial de \$73.492,00 y de acuerdo a la demanda actual, se tendría una recaudación mensual aproximada de \$80.261,00, la recuperación de la inversión se logrará en aproximadamente dos meses, haciendo del parqueadero inteligente una solución efectiva y económica para mejorar la gestión de espacios de estacionamiento.

*Tabla 2: Presupuesto y viabilidad del proyecto*

<b>Balance Costos</b>	
<b>Ítem</b>	<b>Costo</b>
Esp-8266	\$8,00
Lector Rfid	\$7,00
Sensor ultrasónico	\$2,00
Tags Rfid	\$1,00
Otros	\$15,00
<b>Costo Nodo Sensor</b>	<b>\$33,00</b>
<b>Costo Total Nodos</b>	<b>\$63.822,00</b>

Costo Estimado Instalación	\$9.670,00
<b>Costo Total Despliegue</b>	<b>\$73.492,00</b>
Tarifa hora SEROT	\$0,25
Total Espacios Parqueo Disponible	\$1.934,00
Recaudación hora SEROT/Espacios Disponibles	\$483,50
Recaudación Estimada uso 75% lunes-viernes	\$18.131,25
Recaudación Estimada uso del 100% sábado	\$1.934,00
Total Recaudación Semanal	\$20.065,25
<b>Total Recaudación Estimada 1er Mes</b>	<b>\$80.261,00</b>
Tiempo Estimado Recuperación Inversión	2do Mes

## Conclusiones

La infraestructura actual de Riobamba es compatible con la implementación de un sistema de parqueadero inteligente, siempre que se sigan las normativas municipales vigentes. Las áreas designadas para estacionamiento cuentan con la infraestructura básica necesaria, pero se requiere la instalación de sensores y equipos de monitoreo adicionales para el correcto funcionamiento del sistema.

El sistema de control de vehículos desarrollado permite registrar el tiempo de estacionamiento de cada vehículo. La implementación de sensores y software de seguimiento facilita la detección de vehículos estacionados por períodos superiores a los permitidos sin realizar el pago correspondiente permitiendo aplicar las multas correspondientes. El sistema en la nube desarrollado para monitorear la ocupación de los parqueaderos y gestionar las alertas generadas ha funcionado de manera óptima. La base de datos en la nube ha permitido un acceso rápido y eficiente a la información de ocupación y saldo disponible del usuario, facilitando la toma de decisiones y la administración del sistema.

La detección de vehículos y el envío de alertas se han llevado a cabo de manera precisa, validando la viabilidad del sistema para su implementación. Las pruebas también han permitido identificar áreas de mejora y ajustes necesarios antes de su implementación definitiva. El parqueadero inteligente SEROT con tecnología IoT es una opción innovadora y estratégica para Riobamba, alineada con las tendencias de desarrollo de ciudades inteligentes. Este sistema optimizará la gestión de espacios de estacionamiento, reducirá la congestión vehicular y las emisiones contaminantes, y mejorará la seguridad y el orden urbano.

La experiencia exitosa de ciudades vecinas como Ambato refuerza la viabilidad de esta implementación. Además, el análisis de costos y recaudación confirma que la inversión inicial es recuperable en un corto período, garantizando una operación sostenible y rentable. La adopción de esta tecnología posiciona a Riobamba a la vanguardia de la innovación urbana, promoviendo un entorno más eficiente y sostenible.

## Referencias

1. Alsafery, B., Alturki, S., Reiff-Marganiec, S., & Jambi, K. (2018). "Smart Car Parking System Solution for the Internet of Things in Smart Cities". In 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS), Riyadh, Saudi Arabia, 2018, pp. 1-5. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8442004>
2. Arduino. (2021). Qué es Node-RED. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2021/11/07/que-es-node-red-3/>
3. Cibernos Comunicación. (2024). Las tendencias en smart city para 2024. <https://www.grupocibernos.com/blog/tendencias-smart-city-2024>
4. Eventosecuador. (2024). VII Congreso Internacional Smart City Ecuador 2024 - Eventos Ecuador. <https://eventosecuador.com/evento/vii-congreso-internacional-smart-city-ecuador-2024/>
5. Gassmann, O., Böhm, J., & Palmié, M. (2019). Guidelines for smart city transformation. In Smart Cities (pp. 153-268). Emerald Publishing Limited. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/978-1-78769-613-620191011/full/html>
6. Giorgi, L. (2018). Movilidad sostenible - UNESCO Biblioteca Digital. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000131442\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000131442_spa)
7. Google Cloud Functions y Firebase. (2024). Cloud Functions Documentation. <https://cloud.google.com/functions/docs/concepts/functions-and-firebase?hl=es-419>
8. Llangari, J., & Tapia, S. (2023). Estudio de factibilidad para la implementación del sistema de ayuda a la explotación (SAE) para el estacionamiento rotativo tarifado (SEROT) de la ciudad de Riobamba. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19795>

9. Meijer, A., & Bolívar, M. (2016). Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. *International Review of Administrative Sciences*, 82(2), 392-408. <https://doi.org/10.1177/0020852314564308>
10. Ministerio de Telecomunicaciones. (2024). El MINTEL impulsa la Agenda Digital Integral para la Transformación Tecnológica del país – Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/el-mintel-impulsa-la-agenda-digital-integral-para-la-transformacion-tecnologica-del-pais/>
11. Moko Smart. (2022). Sistema de estacionamiento inteligente usando IoT - mokosmart.com. <https://www.mokosmart.com/es/smart-parking-system-using-iot/>
12. Municipio de Riobamba. (2024). GADM Riobamba. <https://www.gadmriobamba.gob.ec/>
13. Nuñez, G. (2012). Evaluación a la gestión administrativa y control interno en los procesos de recaudación de regalías del sistema municipal de estacionamiento rotativo tarifado Simert y su incidencia presupuestaria en el período comprendido de junio 2010 a junio 2011 [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/1913>
14. Optimizing Global Operations and Supply Chain for Automotive Manufacturing. (2024). <https://www.hivemq.com/resources/hivemq-automotive-manufacturing-solutions-whitepaper/>
15. PatagoniaTec Electronica. (2024). <https://tienda.patagoniatec.com/>
16. Seisdedos Gildo. (2012). Pero, ¿qué es una Smart City? [https://www.academia.edu/22134005/Pero\\_qu%C3%A9\\_at\\_and\\_es\\_una\\_Smart\\_Cities](https://www.academia.edu/22134005/Pero_qu%C3%A9_at_and_es_una_Smart_Cities)
17. Sura Seguros. (2017). ¿Qué es movilidad sostenible y por qué es importante? - Seguros SURA Colombia. <https://segurossura.com/co/blog/movilidad/que-es-movilidad-sostenible-y-por-que-es-importante/>