



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL  
CARRERA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA COMPUTACION**

**PROPUESTA DE ARQUITECTURA PARA CAPTURAR DATOS DE BUSES DEL  
TRANSPORTE PÚBLICO DE GUAYAQUIL BASADA EN IOT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniería en Ciencias de la Computación

AUTOR: VICTOR ISRAEL ORRALA REY

TUTOR: MIGUEL ANGEL QUIROZ MARTINEZ

Guayaquil – Ecuador

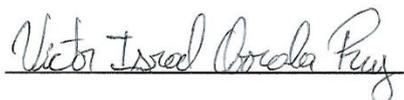
2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Víctor Israel Orrala Rey con documento de identificación N° 0957599137 manifiesto que:  
Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la  
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total  
o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 18 de agosto del año 2022

Atentamente,



Victor Israel Orrala Rey

0957599137

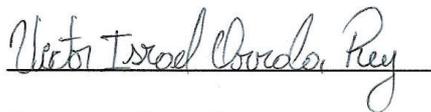
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE****TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Victor Israel Orrala Rey con documento de identificación No. 0957599137, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor(a) del Artículo Académico: **"Propuesta de arquitectura para capturar datos de buses del transporte público de Guayaquil basada en IoT"**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de agosto del año 2022

Atentamente,



Victor Israel Orrala Rey

0957599137

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Miguel Ángel Quiroz Martínez con documento de identificación N° 0922799655, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE ARQUITECTURA PARA CAPTURAR DATOS DE BUSES DEL TRANSPORTE PÚBLICO DE GUAYAQUIL BASADA EN IOT, realizado por Víctor Israel Orrala Rey con documento de identificación N° 0957599137, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de agosto del año 2022

Atentamente,



---

Miguel Ángel Quiroz Martínez

CI: 0922799655

## **DEDICATORIA**

Esto se lo dedico a mis padres por inculcarme los buenos valores, inculcarme el estudio, la responsabilidad que a pesar de las adversidades me permitieron seguir adelante por ser mi mayor ejemplo y mis ganas de prepararme como un profesional también se lo dedico a los pilares de nuestra familia que son mis abuelos los cuales con sus sabias palabras siempre nos hacían reconocer que el estudio es lo mejor que podemos tener en la vida a mi maravillosa familia por nunca rendirse ante mí por siempre motivarme a seguir adelante en mis estudios se los dedico a ellos y a cada una de las personas que conocí en la etapa de la universidad y estuvieron conmigo en cada paso de mi vida de estudiante por sacar lo mejor de mí y por muchas veces quedarse conmigo hasta tarde terminando un deber se lo dedico a ello por soportarme siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar le doy gracias a Dios por regalarme un día más de vida por la sabiduría que tanto necesito para poder lograr mi objetivo que es poder graduarme y por guiarme siempre por el camino correcto en segundo lugar le agradezco a mis padres por brindarme ese apoyo incondicional en todo momento por todo el esfuerzo que hacen por darme la educación que tengo ahora, a mis hermanos por darme ánimos en los momentos duro de mi carrera y animarme a seguir para delante a toda mi familia por brindarme su apoyo cuando la necesitaba también agradezco a mis compañeros y amistades a lo largo de mis estudios y por aquellos que participaron y conocí en el camino por su apoyo los cuales me ayudaron de cierta forma a superar mis obstáculos y porque nunca permitieron que me rindiera gracias por participar en esta aventura de mi vida.

## RESUMEN

Internet de las Cosas tiene brinda soluciones en muchos dominios que generan información para tomar decisiones sencillas o complejas de acuerdo con las características y entorno que generan los datos básicos. El objetivo general es proponer el diseño de una arquitectura para capturar datos de buses del transporte público de Guayaquil basada en tecnología Internet de las Cosas. La metodología que se utiliza para esta investigación es de tipo empírica – analítica, con enfoque cualitativo, la observación, la deducción y la inducción. La investigación tiene tres resultados: Realizar una revisión bibliográfica, conceptualizar una arquitectura basada en IoT y desarrollar un caso de estudio. Se concluye que esta investigación es un buen inicio para mejorar la obtención de datos y entregar información de calidad en el transporte público de Guayaquil, esto aumenta posiblemente la productividad operativa y apoya el concepto de ciudad inteligente.

**Palabras claves:** IoT, Transporte público, Tráfico público, Transporte inteligente, Movilidad urbana.

## ABSTRACT

Internet of Things has solutions in many domains that generate information to make simple or complex decisions according to the characteristics and environment that generate the basic data. The general objective is to propose the design of an architecture to capture data from public transport buses in Guayaquil based on Internet of Things technology. The methodology used for this research is empirical – analytical research, qualitative approach, observation, deduction, and induction. The research has three results: Conduct a literature review, conceptualize an IoT-based architecture, and develop a case study. It is concluded that this research is a good start to improve data collection and deliver quality information in Guayaquil's public transport, this possibly increases operational productivity and supports the concept of smart city.

**Key words:** IoT, Public transport, public traffic, Smart transport, Urban mobility.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 10 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA .....   | 11 |
| 2.1. TICS en Transporte público .....   | 11 |
| 2.2. Internet de las Cosas IoT .....  | 11 |
| 2.3. IoT aplicado al Transporte Público .....   | 12 |
| 2.4. Arquitecturas IoT aplicado al transporte público .....                               | 13 |
| 2.5. IoT asociado a Big Data y Nube .....   | 14 |
| 3. METODOLOGÍA .....  | 15 |
| 4. RESULTADOS.....  | 16 |
| 4.1. Revisión bibliográfica sobre las diferentes arquitecturas IoT .....                  | 16 |
| 4.2. Arquitectura IoT para captura de datos en buses de transporte público en Guayaquil . | 17 |
| 4.3. Caso de estudio para determinar los elementos y costos mínimos .....                 | 20 |
| 5. DISCUSIÓN .....  | 22 |
| 6. CONCLUSIÓN.....  | 23 |
| REFERENCIAS .....   | 24 |
| ANEXO.....  | 27 |

## 1. INTRODUCCIÓN

El transporte público (TP) tiene más demanda cada año, no siempre la demanda se puede satisfacer, tomando como ejemplo países como China e India que tienen excesivo aumento de población; la confianza es un tema importante en la calidad de los servicios en transporte público (TP) sean buses o trenes o vías, pues favorece en aumentar la cantidad de personas en tránsito, disminuir la congestión y disminuir emisiones; otras ciudades en desarrollo le dan un enfoque sostenible para disminuir vehículos privados (Murad et al., 2018). Las TIC tienen un gran impacto positivo y gran conjunto de aplicaciones en muchas áreas, aquí Internet de las Cosas (IoT) es un dominio que se utiliza para optimizar el tiempo, distancia, seguridad, procesos, entre otros; las TIC se introducen en el transporte público mediante IoT para perfeccionar la comodidad, aumentar la eficiencia/eficacia, aumentar la calidad de la movilidad, la seguridad física, la gestión del tráfico (Chavhan et al., 2020). IoT utiliza dispositivos que generan gran cantidad de datos en tiempo real, el almacenamiento se realiza en la nube y el análisis se realiza con tipos de análisis y herramientas especializadas (Kaushik & Bagga, 2021).

Es cierto que existen variadas aplicaciones de transporte que entregan datos en tiempo real a los pasajeros de acuerdo a la ubicación o datos de los dispositivos móviles dentro de una ciudad, pero estas aplicaciones no cuentan con datos actualizados del perímetro o entorno urbano de la ciudad de Guayaquil, estos últimos datos actualizados sobre las calles y espacios los tiene la autoridad local como Municipio de Guayaquil o la Autoridad de Tránsito Municipal, sin embargo es posible que la comunidad ayude a mantener actualizado los datos de las calles o paraderos. Las personas necesitamos aplicaciones informáticas sobre detalles de cualquier zona en los teléfonos inteligentes, con actualizaciones en línea, precisión de tiempo para minimizar pérdidas de esfuerzo, utilizar algún sistema de pago en línea como transferencia o tarjeta de crédito o débito, monitorear viajes del transporte público con tiempos de duración o de llegada.

Los sistemas de tráfico tradicionales no entregan datos exactos sobre un espacio o calle o carretera, las situaciones de emergencia pueden resolverse mejor con sistemas sobre la congestión vehicular o peatonal, IoT se extiende a varias sub áreas del transporte, no solo se trata IoT en los vehículos, también se trata de las infraestructuras, conductores, peatones, seguridad y asistencias en los lugares (Sriratnasari et al., 2019).

El objetivo general es proponer el diseño de una arquitectura para capturar datos de buses del transporte público de Guayaquil basada en tecnología relacionada a Internet de las Cosas. Para

ello se realizar una revisión bibliográfica sobre las diferentes arquitecturas IoT en el transporte público, y se conceptúa o diseña una arquitectura para capturar los datos generados por los buses en el transporte público de Guayaquil basada en IoT, lo que no permitirá determinar los elementos y costos mínimos mediante la descripción cualitativa y cuantitativa.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. TICS en Transporte público

El transporte es una actividad cuyo servicio se enfoca en las personas, las TIC mejoran la experiencia de los usuarios en gran parte del transporte, los sistemas actuales se acoplan a las prestaciones que las personas necesitan o nuevos servicios o creación de nuevas técnicas para los servicios; en IoT los dispositivos son heterogéneos y utilizan diferentes estándares que obtienen datos en distintos tipos y diferentes velocidades, además existe la interoperabilidad entre estos dispositivos que trabajan en un ambiente (Pattar et al., 2018).

En Transporte Público, IoT se aplica en: navegación/planificación de rutas, rastreo en línea, previsión de accidentes, alarma de información, aglomeración de personas (Vidyasagan et al., 2018), navegación, gestión en señalización de tráfico, reconocimiento de sistemas integradores (Sriratnasari et al., 2019).

### 2.2. Internet de las Cosas IoT

IoT es una infraestructura global para compensar los requerimientos de información de la gente y admite servicios con interconexión de manera física y virtual basada en TIC; IoT es muy utilizado en muchos países a manera una red de objetos/dispositivos que permanecen interconectados a través de protocolos; otros definen IoT como una entidad, por ejemplo, personas con implantes de dispositivos de salud; IoT es la forma de representar un objeto real del mundo real en el ciberespacio y su gestión sin importar la distancia (Sriratnasari et al., 2019). IoT conecta cada objeto/cosa a la Internet, los cosas son del mundo real (vivos e inanimados) o del mundo virtual (simula un entorno real), las cosas están conectadas para recopilar e intercambiar los datos y volver el entorno más inteligente (Da Cruz et al., 2018). IoT conecta gran cantidad de dispositivos heterogéneos a redes mediante otras tecnologías inalámbricas como Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, LoRa, o tecnologías móviles como GPRS, eMTC, NB-IoT o tecnologías fijas como Ethernet, ADSL, PLC, fibra óptica (Muñoz et al., 2018). IoT se utiliza en: seguridad física, comercio minorista, servicio de logística, agricultura,

Smart home, gestión de alumbrado público (Vidyasagaran et al., 2018), edificios, parqueo, medio ambiente, gobierno, educación, industria, infraestructuras (Sriratnasari et al., 2019), Smart city, gobierno electrónico, gestión de agua, gestión de basura, gestión de energía, gestión de transporte, salud (Kaushik & Bagga, 2021). el valor comercial de los dispositivos IoT está en descenso y su utilización crece rápidamente, se estima que para el año 2030 sean 1230 millones de dispositivos IoT conectados a Internet (Kawaguchi & Bandai, 2020). IoT tiene penetración que es estable y segura con respecto a la conectividad, esto es una base para propuestas que brindan conectividad a lugares y vehículos en tiempo real, se puede utilizar para rastrear activos, brindar seguridad, prevenir robos, seguimiento de baterías recargables (Kale, 2019).

### 2.3. IoT aplicado al Transporte Público

En India, se gestiona las grandes cantidades de personas en el metro y buses, con utilización de sensores en los asientos, la prueba es en el mundo real, los autores afirman que el prototipo probado en India es económico y escalable, aunque el proyecto no presenta costos (Vidyasagaran et al., 2018).

El gobierno de Singapur utiliza IoT y aplicaciones informáticas para mapear las carreteras, el ministerio de transporte de Yakarta utiliza sistemas integrados para gestión del transporte masivo (Murad et al., 2018).

En (Chavhan et al., 2020) desarrollaron un sistema IoT que utiliza datos de contexto, el sistema aumenta el uso del TP, minimiza las horas de salida, genera horas alternativas, aumenta la eficiencia; el sistema toma datos del transporte, analiza el entorno, estima los tiempos de traslado, presenta rutas alternativas y utiliza controladores.

En Bangalore de India, se diseñó e implementó una arquitectura para carreteras y proveedores, se utiliza una aplicación móvil hecha en JAVA para la entrega de servicios (Pattar et al., 2018).

En India, se aplica IoT para conectividad de transporte en Smart City, el modelo que proponen es escalable y se ajusta al tamaño, geografía o distribución de la ciudad, este modelo trata de disminuir la contaminación del aire y disminuir la congestión del tráfico, el proyecto no presenta costos (Kale, 2019).

En Perú, implementaron un sistema para evaluar la contaminación del aire producido por los buses de transporte público, el proyecto monitorea los contaminantes del aire que toman los peatones que están a través de las rutas de los buses, en las pruebas encontraron altos niveles de contaminantes (Medina-De-La-Cruz et al., 2018).

En Indonesia, los autores de (Kadam et al., 2018) desarrollaron un bus inteligente con localizador, aplicación Android, microcontrolador Arduino, sensores para entrada/salida, servicios y base de datos están en la nube; esos componentes ayudan a rastrear el bus, confirmar espacios y cronogramas de paradas; este sistema sirve para verificar condiciones y tiempos de llegada al destino, el proyecto no presenta costos.

En Bangladesh se propone una aplicación de biométrico basado en IoT trabaja con sensores en los buses escolares, los estudiantes pueden un asiento, hay presentación del modelo del asiento, estado de los asientos, además las autoridades e instituciones pueden realizar análisis de los datos para optimizar el transporte (Alam et al., 2021).

En Portugal se implementó un prototipo para pago de transporte y minimizar las deficiencias del actual pago centralizado, en los experimentos se verifica la latencia del sistema y hábito del usuario; la aplicación móvil realiza la autenticación, el sistema mostró un buen potencial para casos reales (Vieira et al., 2020).

#### 2.4. Arquitecturas IoT aplicado al transporte público

En (Sriratnasari et al., 2019) proponen una arquitectura conceptual formada de cuatro capas, entre como componentes están cámaras, radio frecuencia, sensores, y dispositivos IoT, estos capturan la cantidad de vehículos de un espacio físico, luego los datos se envían a la nube, y pueden ser accedidos desde aplicaciones móviles o web.

La arquitectura propuesta por (Vieira et al., 2020) utiliza entre sus componentes una aplicación móvil para usuarios, el transporte, el servidor en la nube, servicios en la nube y red de IoT, las conexiones es por bluetooth, el bus o tren se conecta por GPS; el sistema es para pago mediante criptomoneda, consulta de saldos, consulta de pagos.

La arquitectura de (Alam et al., 2021) utiliza un servidor en la nube, la aplicación utiliza microcontroladores Arduino, un módulo de huella, foco led para indicar el asiento reservado, y aplicación móvil, un teclado, pantalla para mostrar información; se utiliza una aplicación móvil

de un tercero para mostrar los asientos reservados y puede controlar el hardware, ver datos de los sensores y visualizar; el sistema realiza reservación de asientos.

El sistema de (Medina-De-La-Cruz et al., 2018) utiliza sensores electroquímicos, microcontrolador Arduino, espacio en la nube, una aplicación web y aplicación móvil, estos miden la calidad del aire, aunque el sensor captura datos en valores analógicos y los deposita en una hoja de datos para luego aplicarle ecuaciones para conocer la concentración de gases; este cálculo se realiza en el microcontrolador Arduino, estos datos históricos pueden ser analizados en la nube mediante una hoja electrónica con regresión lineal.

En el sistema de (Vidyasagaran et al., 2018) utilizaron sensores en cada asiento del transporte, Raspberry y una aplicación informática en línea para ver el estado de los asientos; la información se almacena en la nube, la aplicación móvil obtiene la información desde la nube; un requisito necesario en esta clase de sistema es que sean robustos, económicos, bajo consumo de energía y precisos en transmitir datos.

## 2.5. IoT asociado a Big Data y Nube

Los dispositivos inteligentes generan datos masivos que deben ser almacenados y procesados en entornos disponibles desde cualquier lugar, estos datos masivos son cubiertos por Big Data, y los espacios para procesamiento son cubiertos por la Nube (Cloud) (Malik & Singh, 2019).

Una base de datos tradicional no tiene capacidad para los guardar ni procesar los datos generados los dispositivos IoT, ante esto la Nube soluciona este problema mediante repositorios de gran escala y licencia libre, además estos datos pueden ser analizados con técnicas de minería (Rajeswari et al., 2017).

La combinación de tecnologías IoT, interfaz móvil, Nube, Big Data puede ser llamado un Sistema Híbrido, esta clase de propuesta mejora la eficiencia y construye plataformas de intercambio de información, Big Data además de análisis ofrece predicción de datos (Roy et al., 2017).

La Nube como sistema distribuido es más eficiente y tiene buenas prestaciones, la Nube asume el almacenamiento y procesamiento de los datos generados por los dispositivos IoT, estos datos almacenados en diferentes tipos de datos y diferentes longitudes y diferentes formatos los gestiona el Big Data; se afirma que la implementación es un entorno complejo, IoT genera otros

riesgos de seguridad para la nube, algunas medidas para aumentar la seguridad son algoritmos de verificación y Blockchain (Fan et al., 2020).

### 3. METODOLOGÍA

La metodología para esta investigación utiliza una investigación empírica – analítica de análisis de artículos científicos sobre IoT y Transporte Público; se utiliza el enfoque cualitativo para analizar las actividades relacionadas en el enfoque de IoT; la revisión de arquitecturas IoT en los artículos científicos, permite identificar las variables que se comparan entre las arquitecturas encontradas, estas son: país de origen, objetivo general, hardware utilizado, resultados obtenidos y nombre de la referencia. Desde una arquitectura general hacia la idea de una arquitectura particular para la ciudad de Guayaquil, se utiliza la inducción para ir desde ideas particulares encontradas en los artículos científicos hacia los criterios generales.

Para conceptualizar el modelo se ilustra el diseño de una arquitectura IoT para el transporte público, describir los elementos a utilizar en la arquitectura (sensor de personas, cámaras ip, sensor de temperatura, contador de vehículos, contador de personas, antenas wifi para bus, antenas wifi paraderos), y describir las funciones generales, los protocolos a utilizar, para realizar un diagrama de secuencias para ver la interacción en la arquitectura.

Para el caso de estudio, la arquitectura se aplica a calles de un sector de Guayaquil (se supone que existen señalética, semáforos y paraderos) y un bus de transporte público, se realiza una lista de dispositivos IoT (sensores, antenas y otros) con sus cantidades y precios en dólares americanos, además se realiza la lista de perfiles (personas) necesarios con el costo de mano de obra. El caso de estudio es solo teórico no se implementa red IoT ni aplicaciones informáticas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Revisión bibliográfica sobre las diferentes arquitecturas IoT

Se realizó un enfoque en artículos científicos sobre IoT aplicado al transporte público o masivo para ver arquitecturas que se utilizan o diseñan en otras regiones, se extrae el objetivo principal, el hardware IoT que utilizaron, el principal aporte y la referencia, ver tabla 1.

Tabla 1. Revisión bibliográfica

| País           | Objetivo                                   | Hardware  | Resultado   | Referencia                       |
|----------------|--|---|---|----------------------------------|
| Bangladesh     | Monitoreo de buses                         | Sensores, microcontrolador, cámaras, aplicación web                 | Seguridad física, incendios, violencia en bus             | (Hassan, 2018)                   |
| Bangladesh     | Seguimiento de buses escolares             | Sensores, microcontroladores,                                       | Estado de los asientos                                    | (Alam et al., 2021)              |
| Brasil         | Gestión del transporte masivo              | Sensores, microcontrolador  | Rutas, tiempos, aplicación móvil                          | (Pigatto et al., 2020)           |
| China          | Gestión del transporte masivo              | Sensores, aplicación móvil  | Rutas, tiempos, cantidad de personas                      | (Luo et al., 2019)               |
| India          | Gestión de cantidades de personas en buses | Sensores en los asientos, aplicación móvil                          | Estado de asientos  | (Vidyasagaran et al., 2018)      |
| India          | Arquitectura para carreteras               | Dispositivos y sistema  | Entrega de servicios                                      | (Pattar et al., 2018)            |
| India          | Conectividad de transporte                 | Sensores  | Disminuir contaminación del aire y congestión del tráfico | (Kale, 2019)                     |
| India          | Control de ambiente                        | Sensores, aplicación móvil  | Indicadores de clima                                      | (Nikhilesh & Soothanan, 2020)    |
| India          | Bus inteligente                            | Sensores: temperatura, velocidad, cantidad de personas, combustible | Indicadores, aplicación móvil                             | (Pawar, 2018)                    |
| India          | Toma datos del transporte                  | Controladores   | Tiempos de traslado, presenta rutas alternativas          | (Chavhan et al., 2020)           |
| Indonesia      | Arquitectura                               | Cámaras, radio frecuencia, sensores, dispositivos IoT, sistema      | Estado de asientos  | (Sriratnasari et al., 2019)      |
| Indonesia      | Gestión de buses                           | Localizador, microcontrolador, sensores entrada/salida, app móvil   | Verificar condiciones y tiempos de llegada al destino     | de (Kadam et al., 2018)          |
| Ecuador        | Seguimiento de bus                         | Sensor contador de personas, cámaras                                | Cantidad de personas, aplicación móvil                    | (Barba & Quezada, 2017)          |
| Estados Unidos | Arquitectura general para flujo de datos   | Sensores, aplicación móvil  | Indicadores para clientes                                 | (Ravindran et al., 2019)         |
| España         | Arquitectura de datos                      | Sensor y cámaras  | Cantidad de personas                                      | (Quintana et al., 2021)          |
| Filipinas      | Evaluar la contaminación de los buses      | sensores de ambiente, receptores de posicionamiento, estación base  | Nivel de contaminantes en el aire                         | (Palconit, 2018)                 |
| Malasia        | Ubicación de bus                           | Sensor, microcontrolador, aplicación móvil                          | Tiempo de llegada   | (Gunady, 2019)                   |
| Malasia        | Seguimiento de bus                         | Microcontrolador, radio frecuencia                                  | Tiempo de llegada, aplicación web                         | (Ramly, 2019)                    |
| Singapur       | Gestión del transporte masivo              | Sensores  | Mapeo de ruta   | (Murad et al., 2018)             |
| Perú           | Evaluar la contaminación de los buses      | Sensores electroquímicos, microcontrolador, app móvil               | Nivel de contaminantes en el aire                         | (Medina-De-La-Cruz et al., 2018) |
| Portugal       | Prototipo para pago de transporte          | Aplicación móvil, el servidor en la nube y red de IoT               | Minimizar las deficiencias del actual pago centralizado   | (Vieira et al., 2020)            |

Fuente: Autoría propia.

Entre los 21 artículos científicos revisados India 24% (6) es la región con mayor investigación y desarrollo de IoT en transporte público, Bangladesh 10% (2), Malasia 10% (2), Indonesia 10% (2), los demás países 44% (8) tienen una publicación cada uno: Ecuador, Estados Unidos, España, Brasil, China, Filipinas, Singapur, Perú y Portugal.

Entre los 21 artículos científicos 86% (18) utilizan sensores y 14% (3) utilizan otro hardware como microcontroladores para atrapar datos.

Entre los 21 artículos 64% (14) presentan información cuantitativa y 33% (7) presentan información cualitativa.

#### 4.2. Arquitectura IoT para captura de datos en buses de transporte público en Guayaquil

Se propone una arquitectura general para la captura de datos, que entrega los beneficios de IoT en compartir los datos del entorno y mejorar la gobernanza del transporte en forma eficaz; todos los usuarios tienen datos a través de varios sensores en tiempo real, evitar posibles atascos, minimizar esfuerzos innecesarios y otros. Las referencias (Quintana et al., 2021), (Luo et al., 2019), (Sriratnasari et al., 2019), recomiendan utilizar arquitecturas distribuidas en capas para mejorar el entendimiento de la propuesta, (ver Fig. 1)

A continuación, se describe la propuesta:

**Capa Transporte Público:** Se encuentra los buses, paraderos, semáforos, calles, avenidas y otros elementos que un sistema de transporte pueda considerar;

**Capa Sensores:** Se encuentran los dispositivos IoT que capturan los datos fuentes sobre el entorno del transporte público que incluye cámara, sensor de temperatura del bus, sensor de humedad del bus, contador de personas, contador de vehículos, sensor de velocidad del bus, sensor de combustible del bus, sensor de consumo de aceite del bus, sensor de temperatura del paradero, sensor de humedad del paradero, entre otros. El suministro de energía continua se toma de una línea de energía del bus.

**Capa Comunicación:** Se encarga de transmitir los datos capturados desde la capa Sensores hacia la capa Nube, se encuentra la comunicación cableada y la comunicación inalámbrica, en la comunicación inalámbrica esta comunicación móvil GSM, radio por paquetes GPRS, división codificada CDMA, comunicación de quinta generación 5G, Zigbee, wifi o Bluetooth, cualquiera de estas se utiliza para conectar los sensores a los buses o paraderos de bus. El ancho

de banda del bus debe ser compartido, uno para cámara de videos, otro para dispositivos que solo envían texto, y otro para la wifi de los pasajeros.

**Capa Nube:** Se encarga de recibir, procesar y almacenar los datos que llegan de los sensores, se guarda temporalmente los archivos texto que llegan de los sensores, ejecutar los procesos para conversión de datos, guardar los datos en el repositorio, ejecutar los programas de consultas/actualizaciones/transformación. Contiene los programas de gestión del espacio en la nube. La nube es escalable porque de acuerdo la demanda de recursos puede aumentar en almacenamiento, espacio, procesamiento u otro, esto permite elasticidad en recursos porque al transporte público es un servicio que aumenta o disminuye su servicio en temporadas, por ejemplo, es alto en temporada de clases estudiantiles, días feriados y diciembre. El servidor que está en la nube contiene un sistema operativo, una base de datos, los programas de procesamiento de datos; se recomienda sistema operativo Linux, una base de datos MySQL y lenguaje JAVA para los programas y servicios. La nube puede servir en Minería de datos para conocer patrones en el flujo de tráfico vial.

**Capa Aplicaciones Informáticas:** Se encuentran las aplicaciones informáticas para pasajeros, choferes, cooperativa de transporte y personal administrativo del transporte. Las aplicaciones pueden informar: ubicación de buses en tiempo real, tiempo de llegada al paradero, nivel de temperatura/humedad del bus, nivel de temperatura/humedad en el paradero, cantidad de buses en tránsito, cantidad de personas en bus, velocidad promedio del bus, nivel de combustible del bus, nivel de aceite del bus, nivel de contaminación del bus. Las aplicaciones pueden actualizar: asignación de chofer para buses, cronograma de buses, quejas sobre el estado del bus, quejas sobre el comportamiento del chofer. Para la seguridad pública como emergencias y rescate, se recomienda uso de botón de pánico.

Además, se definen 4 perfiles: El perfil *Pasajero* consulta los datos sobre ubicación de buses, próxima llegada al paradero, nivel de temperatura/humedad del bus próximo a llegar, nivel de temperatura/humedad en el paradero, cantidad de buses en tránsito, cantidad de personas en bus, actualizar quejas sobre el estado del bus, actualizar quejas sobre el comportamiento del chofer. El perfil *Administrador de la Cooperativa de Buses* consulta la velocidad promedio del bus, nivel de combustible del bus, nivel de aceite del bus, nivel de contaminación del bus, actualizar asignación de chofer para buses, actualizar cronograma de buses. El perfil *Chofer* consulta nivel de combustible/aceite, actualiza novedades del bus. El perfil *Administrador IoT*

realiza la gestión de la nube, la adición de dispositivos IoT a la red de buses, verificación de la red IoT

En cuanto a la seguridad y privacidad en este modelo IoT, la seguridad y la privacidad minimizan o evitan la manipulación de los datos en los puntos de conexión a la red IoT y evitan exponer datos a personas ajenas. La red debe tener funciones de autenticación, mejor rendimiento, alta confiabilidad y mínima latencia. Además, el control de acceso para usuarios.

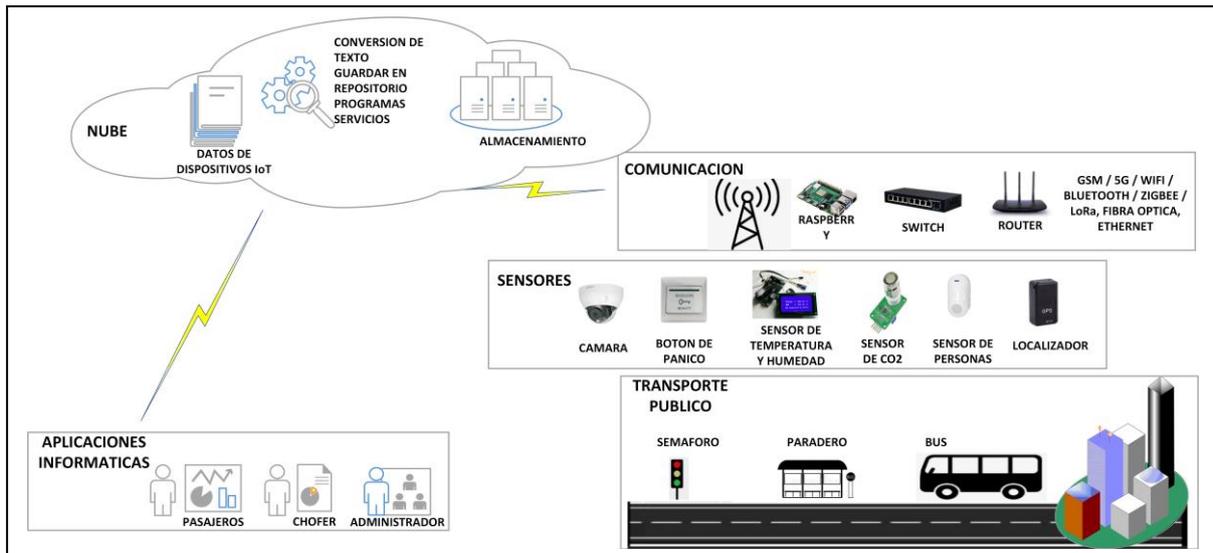


Figura 1. Arquitectura para transporte público.

Para un mejor entendimiento de la arquitectura se presenta un diagrama de secuencia, los datos los genera el ambiente donde se encuentra el transporte público, por lo general el bus, semáforo o paradero contienen los sensores de acuerdo al caso que se implemente; los datos son capturados por los sensores y envían estos datos por una vía de comunicación hacia la red; la red se encarga de enviar los datos hacia internet, si al momento no hay comunicación la red se reconecta hasta lograr enviar la data, aquí el Gateway contiene la configuración IP del servidor de almacenamiento en la nube; los datos en internet son recibidos en el servidor de la nube para la transformación de datos no estructurados hacia datos estructurados, luego son procesados para cálculos o conversión a unidades de medidas generales, por ejemplo hay sensores que capturan los datos en grados Fahrenheit y se deben convertir a grados Centígrados, luego estos datos deben ser guardados en una base de datos; un programa-servicio verifica si los parámetros están por debajo o por encima del rango entonces el servicio envía notificaciones a la aplicación informática del usuario; además la aplicación informática puede en cualquier momento solicitar la lectura de los datos al servidor en la nube, (ver Fig. 2).

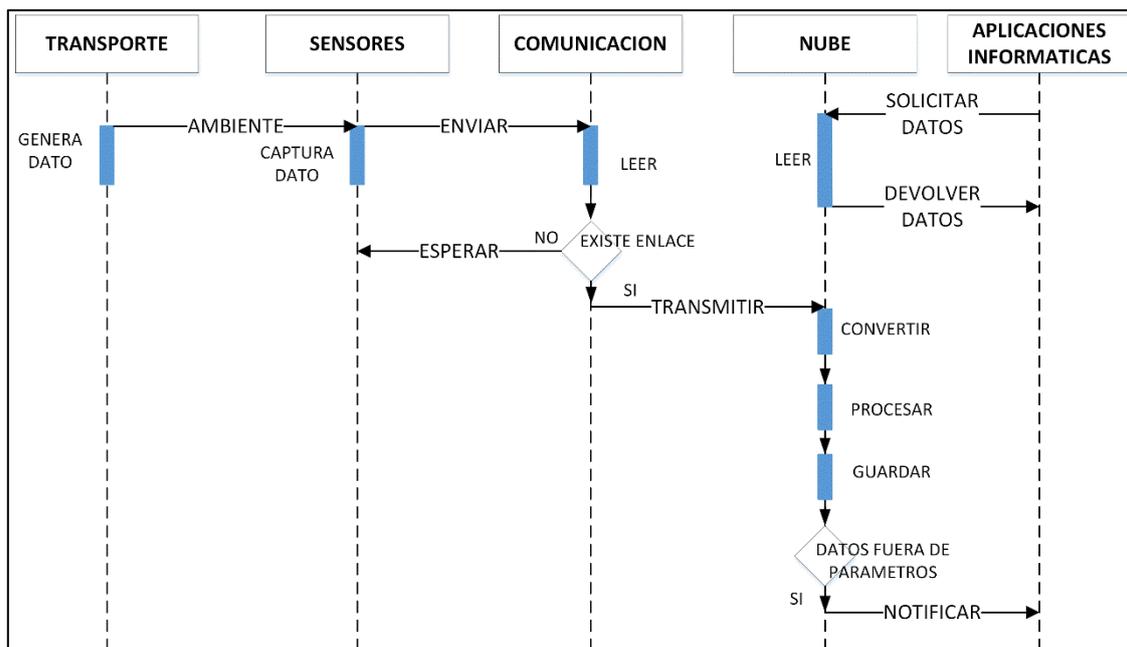


Figura 2. Secuencia para la generación y procesamiento de datos.

#### 4.3. Caso de estudio para determinar los elementos y costos mínimos

Se desarrolla un caso de estudio para presentar una idea de costos de acuerdo con el contexto de un área específica en la ciudad de Guayaquil.

Datos para el caso de estudio: El espacio físico para el caso de estudio es la calle principal de la ciudadela Esteros en el sur de Guayaquil, es una calle de 9 cuadras cuenta con 4 semáforos a lo largo de la avenida. El caso se aplica a un bus de la Línea 42, con una media de 600 pasajeros diarios de lunes a viernes. En el Anexo presentamos las fotos del ambiente y contexto físico seleccionado para nuestro caso de estudio, ver Fig. 2 - 6.

Para un solo bus se necesitan varios dispositivos IoT, esto es de acuerdo con los datos que se necesiten capturar e información a transmitir que se necesite presentar; para nuestro caso se captura la temperatura, humedad, cantidad de personas que suben al bus, cantidad de personas que bajan del bus, calidad del aire, un botón de pánico, localización del bus, nivel del combustible, nivel del aceite.

Para protocolo de comunicación se utiliza redes celulares y un proveedor ISP, que en base IEEE 802.11ac, se utiliza el protocolo IPv4 y un Servicio Web HTTP en la capa de aplicación.

La nube de procesamiento y almacenamiento se encarga a Amazon Web Service EC2 (Amazon, 2022). De acuerdo con cotizaciones del mercado, el costo de instalación y configuración de los dispositivos IoT es \$99.99, el tiempo aproximado de instalación es 3 horas.

Los costos iniciales para el caso son los siguientes, ver tabla 2.

Tabla 2. Valores del caso de estudio

| Componentes de IoT                           | Precio | Cantidad  | Subtotal      |
|--|--------|-----------|---------------|
| Rastreador GPS                               | 17.49  | 1         | 17,49         |
| Botón de pánico                              | 02.90  | 1         | 02,90         |
| Sensor de temperatura y humedad              | 14.00  | 1         | 14,00         |
| Sensor de dióxido de carbono                 | 63.00  | 1         | 63,00         |
| Contador de personas                         | 24.99  | 2         | 49,98         |
| Switch 8 puertos                             | 15.99  | 1         | 15,99         |
| Router inalámbrico                           | 28.49  | 1         | 28,49         |
| Antena de comunicación                       | 19.99  | 1         | 19,99         |
| Raspberry microcontrolador                   | 32.00  | 4         | 128,00        |
| Sensor de nivel del combustible              | 11.99  | 1         | 11,99         |
| Sensor de nivel del aceite                   | 11.99  | 1         | 11,99         |
| Instalación de dispositivos                  | 99.99  | 1         | 99,99         |
| Nube en Amazon Web Service EC2<br>primer año |        | 1         | 199,92        |
| <b>Total</b>                                 |        | <b>\$</b> | <b>663,73</b> |

Fuente: Autores.

El costo inicial (TCO) del proyecto es 663,73 dólares americanos. El espacio de nube puede soportar espacio de datos hasta 12 buses, es decir el costo baja con la adición de buses, la nube tiene un costo anual después del segundo año que está en tabla 3. Existen costos externos asumidos previamente como el del proveedor de Internet (ISP).

Tabla 3. Otros costos en el caso de estudio

| Componentes de IoT   | Precio | Cantidad | Subtotal        |
|--|--------|----------|-----------------|
| Nube en Amazon Web Service EC2<br>4 procesadores y 500 Gigas de<br>almacenamiento<br>Sigüientes años | 16.66  | 12 meses | \$199.92        |
| <b>Total</b>   |        |          | <b>\$199.92</b> |

Fuente: Autores.

Otro componente es el software para el servidor en la nube, se consideran los siguientes: Sistema Operativo Fedora Server (Red-Hat, 2022), Base de datos MySQL Server (Oracle, 2022) y Lenguaje Java (Java, 2022). Estos componentes son Open Source sin costo de licencia.

La información para pasajeros se representa en indicadores como: temperatura, humedad, cantidad actual de personas en el bus, nivel de dióxido de carbono en el aire. La información para administradores se presenta la localización del bus, nivel del combustible y nivel del aceite.

El costo inicial por una sola vez para un bus es \$463.81 dólares americanos, el costo de la nube que es \$199.92 dólares americanos los puede asumir la cooperativa de transporte para el primer año, es decir el proyecto tiene un costo inicial total de \$663.73 dólares americanos.

## 5. DISCUSIÓN

Esta propuesta es importante para entender los requisitos mínimos de una arquitectura IoT en el transporte público y su adaptación para compensar las necesidades de conexión e información a los pasajeros, la implementación puede reducir los tiempos de espera en los paraderos y optimizar el servicio del transporte.

Se realizó una investigación exploratoria y descriptiva sobre artículos de IoT en transporte público, y se obtuvo un análisis cuantitativo de los artículos. La arquitectura que se propone ofrece información importante (entregar datos en tiempo real como ubicación del bus, minimizar tiempo de espera, evitar aglomeraciones, conocer la temperatura interna del bus, calidad del aire) para los pasajeros, operadores, administradores en la red de transporte público de Guayaquil.

En este documento se adoptaron criterios IoT en transporte público de las referencias (Luo et al., 2019). Concuerta en la localización o seguimiento del bus con (Gunady, 2019) y (Pawar, 2018), concuerda en la seguridad por video con (Hassan, 2018), concuerda en el conteo de personas con (Kadam et al., 2018), en el uso de la nube con (Kadam et al., 2018), concuerda en medir la calidad del aire con (Medina-De-La-Cruz et al., 2018),

La propuesta es más viable porque en Guayaquil hasta (Guayaquil, 2022) existen 370 paraderos con Wifi y más de 3000 puntos de acceso gratuito a internet. Pensamos que esta propuesta puede servir de guía para propuestas en el desarrollo de Smart City en la ciudad.

Queda pendiente el desarrollo del prototipo IoT y las aplicaciones móviles para verificar el rendimiento y escalabilidad, además está pendiente el desafío del procesamiento de todos los datos generados en Big Data, generación de indicadores de gestión en Inteligencia de Negocios.

Otro desafío pendiente de esta investigación es reducir más el costo total del proyecto, y mejorar la conexión del bus por medio de una red de conexión de mayor alcance (como LoRA o 4G).

Internet tiene más llegada en la sociedad mediante los objetos conectados, los objetos o dispositivos son más económicos, existe gran variedad de aplicaciones en el transporte público, los usuarios y administradores pueden optimizar sus tiempos y respuestas de manera eficiente.

## 6. CONCLUSIÓN

La revisión bibliográfica ayudó a entender las arquitecturas sobre IoT en el transporte público, dentro del transporte público existen más subdominios de investigación o desarrollo, todos se encaminan a brindar información para ser un servicio más eficiente y seguro.

El diseño de la arquitectura IoT que está realizada en nuestra investigación facilita un proceso organizado y estructurado para el desarrollo de los servicios de información en el transporte público de Guayaquil.

El caso de estudio desarrollado en un sector específico nos da una pauta en los elementos y costos, y conocer en el futuro que se debe mejorar, el costo base propuesto en la revisión del proyecto es de \$ 663.73 dólares americanos.

## REFERENCIAS

- Alam, M. E., Kader, M. A., Parvin, R., Sultana, S., Sultana, Z., & Muhammad, S. D. (2021). IoT based bio-metric seat reservation and transport management system for university bus. *International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques*, 649–653. <https://doi.org/10.1109/ICREST51555.2021.9331104>
- Amazon. (2022). AWS EC2. <https://aws.amazon.com/es/ec2/>
- Barba, L., & Quezada, P. (2017). Simulation of people counter for public service buses. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1–6. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8399322>
- Chavhan, S., Gupta, D., Chandana, B. N., Khanna, A., & Rodrigues, J. J. P. C. (2020). IoT-Based Context-Aware Intelligent Public Transport System in a Metropolitan Area. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(7), 6023–6034. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2955102>
- Da Cruz, M. A. A., Rodrigues, J. J. P. C., Paradello, E. S., Lorenz, P., Solic, P., & Albuquerque, V. H. C. (2018). A Proposal for Bridging the Message Queuing Telemetry Transport Protocol to HTTP on IoT Solutions. *2018 3rd International Conference on Smart and Sustainable Technologies, SpliTech 2018*.
- Fan, Y., Zhao, G., Shang, W., Shang, J., Lin, W., & Wang, Z. (2020). A Preliminary Design for Authenticity of IoT Big Data in Cloud Computing. *2020 29th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, 1–2. <https://doi.org/10.1109/ICCCN49398.2020.9209646>
- Guayaquil, M. I. M. de. (2022). *Paraderos con WiFi*. <https://www.guayaquil.gob.ec/370-paraderos-de-buses-cuentan-con-conexion-wifi/>
- Gunady, S. (2019). A Non-GPS based Location Tracking of Public Buses using Bluetooth Proximity Beacons. *IEEE Access*, 606–611. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2019.8767198>
- Hassan. (2018). An IoT bases system for public transport surveillance using real-time Data analysis and computer vision. *Internacional Conference*, 19–24. <https://doi.org/10.1109/ICAIECC50550.2020.9339485>
- Java-Netbeans. (2022). *Java*. <https://netbeans.apache.org/kb/docs/java/index.html>
- Kadam, A. J., Patil, V., Kaith, K., Patil, D., & Sham. (2018). Developing a Smart Bus for Smart City using IOT Technology. *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2018, Iceca*, 1138–1143. <https://doi.org/10.1109/ICECA.2018.8474819>
- Kale, A. (2019). Collaboration of Automotive, Connected Solutions and Energy Technologies for sustainable Public Transportation for Indian cities. *2019 IEEE Transportation Electrification Conference, ITEC-India 2019, fig 1*, 2–7. <https://doi.org/10.1109/ITEC-India48457.2019.ITECIndia2019-85>
- Kaushik, N., & Bagga, T. (2021). Smart Cities Using IoT. *2021 9th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions), ICRITO 2021*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICRITO51393.2021.9596386>
- Kawaguchi, R., & Bandai, M. (2020). Edge Based MQTT Broker Architecture for Geographical IoT Applications. *International Conference on Information Networking, 2020-Janua*, 232–235. <https://doi.org/10.1109/ICOIN48656.2020.9016528>
- Luo, X., Zhang, H., Zhang, Z., Yu, Y., & Li, K. E. (2019). A New Framework of Intelligent Public

- Transportation System Based on the Internet of Things. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913288>
- Malik, V., & Singh, S. (2019). Cloud, Big Data & IoT: Risk Management. *2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon)*, 258–262. <https://doi.org/10.1109/COMITCon.2019.8862445>
- Medina-De-La-Cruz, M., Mujaico-Mariano, A., & Soto-Cordova, M. M. (2018). Implementation of an evaluation system to measure air quality on public transport routes using the Internet of Things. *Congreso Argentino de Ciencias de La Informatica y Desarrollos de Investigacion, CACIDI 2018*, 17–20. <https://doi.org/10.1109/CACIDI.2018.8584346>
- Muñoz, R., Vilalta, R., Yoshikane, N., Casellas, R., Martínez, R., Tsuritani, T., & Morita, I. (2018). Integration of IoT, Transport SDN, and Edge/Cloud Computing for Dynamic Distribution of IoT Analytics and Efficient Use of Network Resources. *Journal of Lightwave Technology*, 36(7), 1420–1428. <https://doi.org/10.1109/JLT.2018.2800660>
- Murad, D. F., Abbas, B. S., Trisetyarso, A., Suparta, W., & Kang, C. H. (2018). Development of smart public transportation system in Jakarta city based on integrated IoT platform. *2018 International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2018, 2018-Janua*, 872–877. <https://doi.org/10.1109/ICOIACT.2018.8350812>
- Nikhilesh, K. S., & Soothanan, P. J. M. (2020). Low-cost IoT based weather monitoring system for smart community. *Proceedings of the Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC, Icisc)*, 482–486. <https://doi.org/10.1109/ICISC47916.2020.9171156>
- Oracle. (2022). *MySQL*. <https://www.mysql.com/products/standard/>
- Palconit, M. G. B. (2018). *Statistical Analysis of CO 2 Emission Based on Road Grade , Acceleration and Vehicle Specific Power for Public Utility Vehicles : An IoT Application*. 245–250.
- Pattar, S., Sandhya, C. R., Vala, D., Buyya, R., Venugopal, K. R., Iyengar, S. S., & Patnaik, L. M. (2018). Ontology based Service Discovery for Intelligent Transport Systems using Internet of Things. *14th International Conference on Information Processing: Internet of Things, ICInPro 2018 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICINPRO43533.2018.9096694>
- Pawar, V. (2018). Internet-of-Things based Smart local bus transport Management System. *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, Iceca*, 598–601. <https://doi.org/10.1109/ICECA.2018.8474728>
- Pigatto, D. F., Fonseca, K. V. O., & Ppgca, D. (2020). Exploratory Analysis of Public Transportation Data of Curitiba , Brazil. *IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. <https://doi.org/10.1109/ISCC50000.2020.9219578>
- Quintana, I., Sequeira, L., & Ruiz-mas, J. (2021). An Edge-Cloud Approach for Video Surveillance in Public Transport Vehicles. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 19(10), 1763–1771. <https://doi.org/10.1109/TLA.2021.9477277>
- Rajeswari, S., Suthendran, K., & Rajakumar, K. (2017). A smart agricultural model by integrating IoT, mobile and cloud-based big data analytics. *2017 International Conference on Intelligent Computing and Control (I2C2)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/I2C2.2017.8321902>
- Ramly, R. (2019). IoT based of RFID Bus Tracking System to Support Green City Initiatives. *IEEE International Conference on Sensors and Nanotechnology IoT*. <https://doi.org/10.1109/SENSORSNANO44414.2019.8940064>
- Ravindran, R., Azgin, A., & Ramakrishnan, K. K. (2019). *Edge Transport ( ETRA ): Edge Transport Protocol Architecture for Next Generation Mobile IoT Systems*.

<https://doi.org/10.1109/GCWkshps45667.2019.9024431>

Red-Hat. (2022). *Fedora*. <https://getfedora.org/es/server/>

Roy, S., Ray, R., Roy, A., Sinha, S., Mukherjee, G., Pyne, S., Mitra, S., Basu, S., & Hazra, S. (2017). IoT, big data science & analytics, cloud computing and mobile app based hybrid system for smart agriculture. *2017 8th Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference, IEMECON 2017*, 303–304. <https://doi.org/10.1109/IEMECON.2017.8079610>

Sriratnasari, S. R., Wang, G., Kaburuan, E. R., & Jayadi, R. (2019). Integrated Smart Transportation using IoT at DKI Jakarta. *Proceedings of 2019 International Conference on Information Management and Technology, ICIMTech 2019, August*, 531–536. <https://doi.org/10.1109/ICIMTech.2019.8843747>

Vidyasagaran, S., Devi, S. R., Varma, A., Rajesh, A., & Charan, H. (2018). A low cost IoT based crowd management system for public transport. *Proceedings of the International Conference on Inventive Computing and Informatics, ICICI 2017, Icici*, 222–225. <https://doi.org/10.1109/ICICI.2017.8365342>

Vieira, E., Bartolomeu, P. C., Hosseini, S. M., & Ferreira, J. (2020). IOTApass: Enabling Public Transport Payments with IOTA. *IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2020 - Symposium Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT48130.2020.9221224>

ANEXO



*Figura 3. Oficinas de la cooperativa de bus.*



*Figura 4. Bus para el caso.*



*Figura 5. Paradero para transporte público.*



*Figura 6. Semáforo para transporte público.*



*Figura 7. Vías del transporte público.*