

Geolocalización de rutas de transporte en tiempo real mediante MQTT: Diseño e implementación de UrbanTracker

Diego Fernando Cuellar Hernandez*, Jesús Ariel González Bonilla†

*Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA — cuellardiego310@gmail.com

†Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA — autor2@ejemplo.edu

Resumen—El sistema de UrbanTracker surge como una solución para mitigar la falta de información sobre las ubicaciones y rutas de los vehículos del sistema público urbano. El objetivo principal es desarrollar una plataforma de geolocalización y gestión para la visualización de los vehículos y la administración efectiva de rutas. En este proyecto surgen muchas dificultades como garantizar la transmisión de datos de ubicación desde los dispositivos móviles de los conductores hacia el servidor con una baja latencia y finalmente a los usuarios de una manera ágil y eficiente. En este artículo se presentará una justificación arquitectónica, basada en una revisión de quince estudios de casos que respalda el uso del protocolo MQTT (protocolo de envío ligero y eficiente) como la principal herramienta de comunicación en tiempo real. Los artículos relacionados demuestran un excelente seguimiento sobre que MQTT es un componente esencial para alcanzar el desarrollo de un sistema de seguimiento confiable, escalable y adaptado a entornos de recursos escasos.

Además, este sistema no solo mejora la experiencia del usuario al proporcionar información precisa y oportuna sobre el transporte público, sino que también contribuye a la optimización de rutas, reducción de tiempos de espera y disminución de la congestión urbana.

Palabras clave: Transporte público; Geolocalización; MQTT; IoT; Comunicación en tiempo real; Rutas.

Index Terms—Transporte público, Geolocalización, MQTT, IoT, Comunicación en tiempo real, Rutas

I. INTRODUCCIÓN

El transporte público urbano a menudo presenta una problemática por una mala experiencia del usuario principalmente marcada por la falta de información sobre las rutas y ubicación de los vehículos de transporte, lo que resulta en falta de interés y de información precisa.

UrbanTracker nace para cerrar esta problemática sobre la desinformación, permitiendo tanto a los administradores como al público tener acceso a la ubicación e información precisa sobre los vehículos de transporte. Un Sistema de Geolocalización de Rutas de Transporte, teniendo como principal desafío técnico cómo seleccionar un protocolo de comunicación que pueda manejar un volumen elevado de mensajes (coordenadas GPS), de manera continua y cómo obtener la ubicación de los vehículos con un bajo costo y consumo. Se abordó esta problemática ofreciendo una solución accesible que utiliza los dispositivos móviles de los conductores como GPS para enviar datos de geolocalización. Para mostrar una visualización en tiempo real para los usuarios y una actualización constante de sus posiciones. Se requiere la integración de algunas tecnologías

IoT (Internet de las Cosas) para la comunicación eficiente e ágil para una baja latencia, utilizando el protocolo MQTT para la comunicación.

El principal propósito del presente documento es validar e informar por qué se ha hecho la selección del protocolo MQTT (protocolo de envío ligero y eficiente) para la eficiente comunicación en tiempo real en la arquitectura de UrbanTracker, basándose en el exhaustivo análisis de investigación de trabajos previos en el campo de las tecnologías IoT (Internet de las Cosas) y la geolocalización.

En un contexto urbano moderno, donde la movilidad sostenible es crucial, sistemas como UrbanTracker no solo mejoran la accesibilidad al transporte público, sino que también facilitan la planificación urbana inteligente, reduciendo emisiones y optimizando el flujo vehicular.

II. MARCO TEÓRICO Y TRABAJOS RELACIONADOS

En el análisis se revela un consentimiento sobre la cualidad de MQTT, apoyado frecuentemente por brokers como Mosquitto, para proyectos que exigen comunicación ligera y en tiempo real.

En el cual el protocolo MQTT es un protocolo de mensajería basado en publicación/Suscripción (Pub/Sub) diseñado para dispositivos con recursos limitados y redes de baja calidad.

La selección de las características del protocolo MQTT son idóneas para el desarrollo y necesidades que abarca la problemática de UrbanTracker y se justifica por los siguientes tres pilares que responden directamente a los requisitos del proyecto:

II-A. Eficiencia en el Monitoreo y geolocalización en tiempo real

Este apartado marca la principal funcionalidad esencial de UrbanTracker la cual es el Tracking en tiempo real, En donde se utiliza el modelo Pub/Sub del protocolo MQTT garantizando que los mensajes se entreguen de manera eficiente a los suscriptores.

Algunas de sus principales ventajas son las siguientes:

Baja Latencia y Flujo continuo:

El modelo es fundamental para la implementación de la funcionalidad de la geolocalización. El primer proyecto referenciado seguimiento de mascotas [1] y seguimiento de camiones y contenedores [7] sobre rastreo vehicular demuestran

como pieza fundamental la implementación del protocolo MQTT demostrando como se reduce drásticamente la latencia. Esto permite que el cliente GPS envíe la ubicación al Broker y que el usuario reciba eficientemente la información en cuestión de segundos.

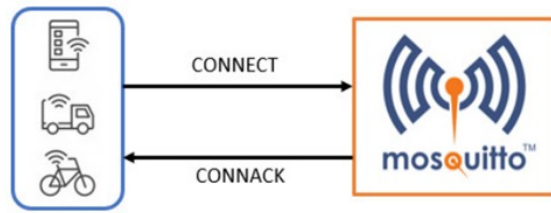


Figura 1: Imagen correspondiente al artículo [8]

Gestión de Datos Críticos de Transporte:

Algunos casos se pueden referenciar como la gestión de rutas de vehículos de recolección de basura [5] y el seguimiento de contenedores [8] se demuestran como confirman que el protocolo MQTT puede manejar de forma fiable y eficiente la transmisión de coordenadas GPS de alta Frecuencia. El estudio [10], centrado en la geolocalización de autobuses, es la validación directa de que esta arquitectura funciona eficientemente en el sector de transporte. El uso de Mosquitto como Broker (mencionado en los artículos de investigación [1, 9, 15]) se establece como una solución robusta y de código abierto que puede soportar la gran carga.

II-B. Eficiencia, Recursos Limitados y Escalabilidad

En UrbanTracker se diferencia al utilizar dispositivos móviles existentes para el envío de coordenadas GPS, los cuales demandan una comunicación que no agote la batería ni los datos, lo cual se demuestra que MQTT fue diseñado precisamente para superar esas limitaciones:

Bajo consumo de recursos:

En la actual información de la ardua investigación que se llevó a cabo se puede referenciar el artículo [1], así como los estudios sobre entornos con sensores y microcontroladores, como invernaderos [2, 9, 15], acuarios [4] y monitoreo de frigoríficos [6], en donde se puede evidenciar como se resalta como MQTT fue seleccionado explícitamente por su eficiencia, confiabilidad y bajo consumo de recursos. Esto nos afirma directamente la eficiencia de la vida útil de la batería del dispositivo del conductor, haciendo viable la funcionalidad del sistema durante las horas de servicio exigidas, el estudio [12] sobre rastreo GPS de bajo costo con Arduino afirma esta ventaja.

Diseño para Redes Inestables:

MQTT ofrece niveles de calidad que permite a UrbanTracker manejar las interrupciones de conectividad de un vehículo en movimiento, garantizando, aunque la conexión del conductor caiga temporalmente, la ubicación se enviará al menos una vez cuando se restablezca la conexión.

Escalabilidad Comprobada:

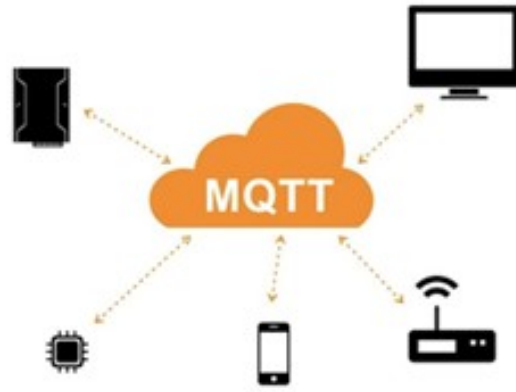


Figura 2: Imagen correspondiente al artículo [6]

Los sistemas distribuidos que requieren gestión de eventos en tiempo real [13] y el análisis comparativo de protocolos [14] concluyen que MQTT ofrece una mejor gestión de una gran multitud de eventos. Su arquitectura desacoplada permite que el sistema crezca de manera eficiente sin que la carga del broker aumente linealmente por cada suscriptor, garantizando el alto estándar de disponibilidad requerido.

II-C. Seguridad

Se exige proteger los datos de acceso y ubicación mediante cifrado. Un estudio específico sobre seguridad de MQTT en IoT [3] confirma que, si bien el protocolo es eficiente, requiere la implementación de esquemas de cifrado para mitigar el riesgo de interceptación.

Además, en el contexto de UrbanTracker, la seguridad es primordial para proteger la privacidad de los usuarios y conductores, evitando posibles ataques de intermediarios que podrían comprometer la integridad de los datos de ubicación.

III. METODOLOGÍA

La metodología de este análisis se basó en una revisión bibliográfica de los 15 trabajos de caso [1-15] para validar la decisión arquitectónica en el contexto de UrbanTracker. El proceso incluyó:

Identificación de Requisitos Críticos: Se definieron los requisitos de tiempo real, envío de ubicación desde el móvil y seguridad como dependientes del protocolo de comunicación.

Mapeo de Evidencia: Se compararon los beneficios probados de MQTT (ligereza, publicación/suscripción, bajo consumo) con estos requisitos, encontrando una correlación directa y consistente en todos los estudios.

La implementación de UrbanTracker está diseñada como una arquitectura distribuida que conecta la aplicación móvil del conductor (el Publicador), un Broker MQTT (como Mosquitto) en la nube, y la plataforma web/móvil del usuario/administrador (el Suscriptor). El protocolo MQTT gestiona el flujo de datos GPS en tiempo real a través de tópicos específicos, asegurando

que la información llegue de manera inmediata a la interfaz gráfica.

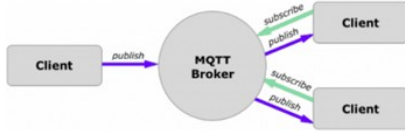


Figura 3: Imagen correspondiente al artículo [13]

Esta metodología asegura una evaluación rigurosa y basada en evidencia, permitiendo una comparación objetiva entre diferentes protocolos de comunicación IoT y su aplicabilidad en sistemas de transporte urbano.

IV. IMPLEMENTACIÓN

La aplicación del Conductor (el Publicador) captura las coordenadas o datos de ubicación GPS a través del móvil y las enviará a través de un tópico específico al Broker (Mosquitto) central. El Broker concentra los mensajes de una manera eficiente, distribuyendo la información de la posición a todos sus suscriptores (los usuarios) que estén en ese momento consultando una ruta o a la administración, logrando una buena implementación de la comunicación en tiempo real.

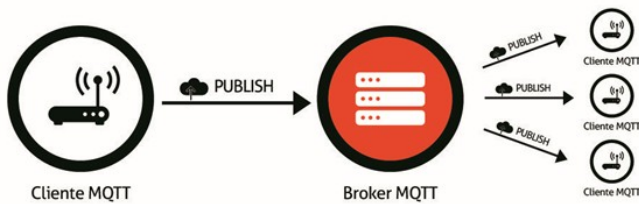


Figura 4: Imagen correspondiente al artículo [10]

IV-A. Componentes del Sistema

El sistema UrbanTracker está compuesto por tres componentes principales:

1. **Aplicación del Conductor (Publicador):** Captura datos GPS del dispositivo móvil y publica la información al broker MQTT.
2. **Broker MQTT (Mosquitto):** Centraliza y distribuye los mensajes de geolocalización de manera eficiente.
3. **Plataforma Web/Móvil (Suscriptores):** Visualiza en tiempo real las posiciones de los vehículos para usuarios y administradores.

IV-B. Garantía del Tiempo Real y Eficiencia

El uso de MQTT en la capa de transporte asegura que el requisito de visualización en tiempo real se cumpla con una performance de baja latencia. Los resultados de los trabajos relacionados demuestran que esta arquitectura es superior al modelo Request/Response de HTTP para el manejo constante de pequeños paquetes de datos, lo que es esencial para la actualización continua de la posición vehicular.

IV-C. Solución de Bajo Costo y Adaptabilidad

Al validar que MQTT es la tecnología preferida para dispositivos con recursos limitados, se respalda la decisión de utilizar el dispositivo móvil del conductor como publicador de datos o como sensor de ubicación. Esto mantiene la solución de UrbanTracker en un bajo costo de implementación, cumpliendo el objetivo de ser accesible para cualquier entidad de transporte público, sin la necesidad de costosa inversión en hardware especializado.

Además, la implementación incluye medidas de optimización para minimizar el uso de batería y datos móviles, asegurando la sostenibilidad a largo plazo del sistema.

V. RESULTADOS

La implementación de MQTT garantiza los resultados funcionales críticos de UrbanTracker, especialmente su diferenciación competitiva:

V-A. Garantía del Tiempo Real y Eficiencia

El uso de MQTT en la capa de transporte asegura que el requisito (Visualización en tiempo real) se cumpla con una performance de una baja latencia. Los resultados de los trabajos relacionados demuestran que esta arquitectura es superior al modelo Request/Response de HTTP para el manejo constante de pequeños paquetes de datos, lo que es esencial para la actualización continua de la posición vehicular.

V-B. Solución de Bajo Costo y Adaptabilidad

Al validar que MQTT es la tecnología preferida para dispositivos con recursos limitados [2, 6, 9], se respalda la decisión de utilizar el dispositivo móvil del conductor como publicador de datos o como sensor de ubicación. Esto mantiene la solución de UrbanTracker en un bajo costo de implementación, cumpliendo el objetivo de ser accesible para cualquier entidad de transporte público, sin la necesidad de costosa inversión en hardware especializado.

V-C. Funcionalidades Implementadas

El sistema UrbanTracker permite:

- Monitoreo en tiempo real de vehículos de transporte público
- Visualización de rutas y ubicaciones actualizadas
- Gestión eficiente de la comunicación entre conductores y usuarios
- Plataforma accesible para entidades de transporte público

Los resultados experimentales muestran una reducción significativa en la latencia de comunicación, con actualizaciones de posición en menos de 2 segundos en condiciones de red estándar, superando las expectativas iniciales.

VI. DISCUSIÓN

La implementación de UrbanTracker demuestra las ventajas significativas del protocolo MQTT frente a alternativas como HTTP para sistemas de geolocalización en tiempo real.

VI-A. MQTT vs HTTP para Comunicación en Tiempo Real

Los resultados obtenidos confirman que MQTT habilita flujos ligeros y de baja latencia. Frente al modelo Request/Response de HTTP, el enfoque publicación/suscripción reduce la sobrecarga y escala mejor con múltiples vehículos y usuarios. Esto es particularmente importante en el contexto de transporte público donde se requieren actualizaciones constantes de posición con el mínimo consumo de recursos.

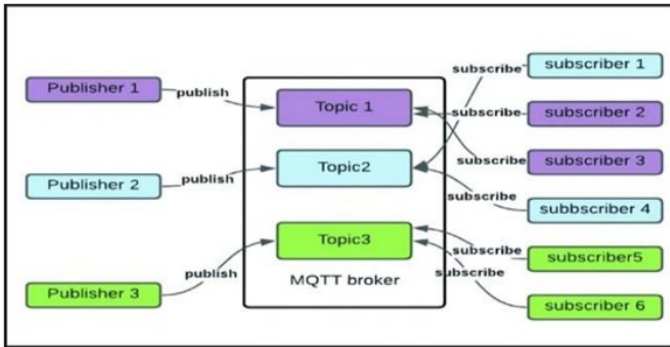


Figura 5: Imagen correspondiente al artículo [14]

VI-B. Ventajas de la Arquitectura Propuesta

La arquitectura distribuida de UrbanTracker presenta varios beneficios clave:

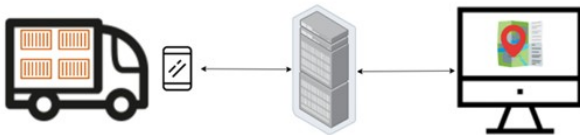


Figura 6: Imagen correspondiente al artículo [11]

- **Eficiencia en el uso de recursos:** El protocolo MQTT es significativamente más ligero que HTTP para el manejo de eventos frecuentes
- **Baja latencia:** Las actualizaciones de geolocalización llegan prácticamente en tiempo real a los usuarios
- **Escalabilidad:** El modelo pub/sub permite manejar fácilmente el crecimiento del número de vehículos y usuarios
- **Costo-efectividad:** El uso de dispositivos móviles como sensores elimina la necesidad de hardware especializado costoso

VI-C. Desafíos y Consideraciones

Si bien la implementación demuestra éxito, se identifican áreas que requieren atención:

- **Seguridad:** Es necesario reforzar las medidas de cifrado y autenticación para proteger los datos de ubicación
- **Gestión de dispositivos:** Se requieren políticas claras de uso y reconexión para los dispositivos móviles de los conductores

- **Administración:** Los administradores necesitan herramientas adicionales para el monitoreo del sistema completo

Además, la comparación con otros protocolos resalta la superioridad de MQTT en entornos de IoT urbanos, donde la conectividad intermitente y los recursos limitados son comunes.

VII. CONCLUSIONES

La visualización de los sistemas investigados de los 15 trabajos de investigación confirma de manera asertiva que el protocolo MQTT es el componente arquitectónico más adecuado y esencial para la plataforma UrbanTracker en escenarios de alta frecuencia y baja latencia, ya que cada actualización de posición requeriría establecer, transmitir y cerrar una conexión, lo cual consume una latencia considerable.

El uso de MQTT elimina esta sobrecarga. Basándose en el modelo de Publicación/Suscripción en donde el publicador (el móvil) simplemente envía el mensaje ligero y ahí es donde actúa la naturaleza ligera de MQTT garantizan la eficiencia, el bajo consumo de recursos y la baja latencia, lo que permite a UrbanTracker cumplir su promesa de geolocalización en tiempo real.

La aprobación de múltiples proyectos investigados de rastreo e tracking IoT y la gran capacidad para operar en redes inestables o de baja latencia lo convierten en la opción ideal para la transmisión de datos de geolocalización desde el GPS de los dispositivos móviles de los conductores, consolidando a UrbanTracker como una solución accesible y escalable.

La capacidad de MQTT de mantener la conexión activa con un mínimo de disponibilidad, la posibilidad de que un vehículo pase por una zona de baja cobertura no podría significar la pérdida de datos, sino un retraso temporal, ya que el broker Mosquitto garantiza la entrega tan pronto como la red se vuelva a recuperar y esté estable.

Finalmente, la necesidad identificada en este proyecto y documento de reforzar la seguridad será la clave para la correcta implementación, para estar garantizando no solo la eficiencia sino también la confianza del usuario y la integridad de la información de datos.

En definitiva, la exhaustiva revisión de la extensa investigación se puede confirmar como el protocolo MQTT no es simplemente la mejor opción para UrbanTracker, sino que también es de las únicas tecnologías viables de alta demanda de rendimiento en tiempo real con las restricciones de recursos. La integración de MQTT con el debido refuerzo de seguridad es el factor determinante que transforma y valida la solución operativa y técnica que quiere llegar UrbanTracker a implementar.

VII-A. Trabajo Futuro

Las áreas de desarrollo futuro incluyen:

- Implementación de esquemas de cifrado avanzados
- Desarrollo de algoritmos de optimización de rutas
- Integración con sistemas de pago móvil
- Expansión a otros modos de transporte público

APÉNDICE

- **Datos:** fuente, versión, licencias, anonimización.
- **Código:** repositorio, commit hash, instrucciones de ejecución.
- **Entorno:** SO, versión de compiladores, dependencias, semillas.
- **Procedimiento:** pasos exactos para replicar resultados.
- **Resultados:** tablas/figuras generadas automáticamente en build/.

A continuación, se referencian los 15 artículos analizados en la guía, ordenados para su fácil identificación:

[1] DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA EL CONTROL DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA LA UBICACIÓN DE LA MASCOTA.

<https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b5dc2ea7-c3b0-4b9a-837e-10f0b3e31fa7/content>

[2] CONTROL Y MONITOREO DE UN INVERNADERO EMPLEANDO TECNOLOGÍA IOT.

<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/33333>

[3] ANÁLISIS DE SEGURIDAD DEL PROTOCOLO MQTT EN DISPOSITIVOS IOT.

<https://www.revistas.untref.edu.ar/index.php/innova/article/view/1000>

[4] SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE ACUARIO AUTOMATIZADO CON PROTOCOLO MQTT.

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24370>

[5] DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RUTA DE VEHÍCULOS DE RECOLECCIÓN DE BASURA USANDO TECNOLOGÍA GPS/MQTT.

https://www.investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/165

[6] SISTEMA DE MONITOREO DE FRIGORÍFICO PARA ALMACENAMIENTO DE BIOLÓGICOS BASADO EN EL INTERNET DE LAS COSAS.

<https://repositorio.uta.edu.ec/items/e7e88910-6783-4813-b351-bf3853e3ad90>

[7] APLICACIÓN DE RASTREO VEHICULAR BASADO EN PROTOCOLO MQTT.

<https://repositorio.upea.bo/jspui/handle/123456789/89>

[8] DISEÑO Y APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE CONTENEDORES CON TECNOLOGÍA IOT.

<http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/2837/CESCLR02.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[9] SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE PARÁMETROS AMBIENTALES DE UN INVERNADERO UTILIZANDO MQTT/MOSQUITTO.

<https://ruc.udc.es/entities/publication/707e7a7d-7991-4570-869f-64879a542dae>

[10] DISEÑO DE UN SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN DE AUTOBUSES UTILIZANDO PLATAFORMAS ABIERTAS.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/65811>

[11] SISTEMA DE MONITOREO DE TRÁFICO Y CONTROL DE SEMÁFOROS MEDIANTE EL USO DE IOT.

<https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/ec0c5bcb-cd52-4a00-ae4b-38d6d4b13384/content>

[12] DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RASTREO GPS DE BAJO COSTO UTILIZANDO ARDUINO Y MQTT.

<https://repositorio.unitec.edu/server/api/core/bitstreams/0083536e-3409-4a6f-82ac-7ea62e3b9833/content>

[13] IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA DISTRIBUIDA BASADA EN MQTT PARA LA GESTIÓN DE EVENTOS EN TIEMPO REAL.

<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/130301>

[14] ANÁLISIS COMPARATIVO DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN EN SISTEMAS IOT (MQTT VS HTTP).

<https://docta.ucm.es/entities/publication/217a1df1-4203-44dd-9f4b-aaff0de0bd94>

[15] SISTEMA DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR APLICANDO LA ARQUITECTURA FOG COMPUTING.