

# Arquitecturas IoT y Big Data para sistemas BRT

DANIEL F. RINCON, PAULA A. GUEVARA, ALAN Y. MARIN

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

May 19, 2021

## Abstract

*En este documento hablaremos sobre la importancia que tienen las nuevas tecnologías a la hora de optimizar la movilidad en los sistemas BRT. Abordaremos una solución a la falta de flexibilidad en la planeación de rutas, proponiendo una programación dinámica de rutas gracias a tecnologías como IoT y Big Data.*

## I. INTRODUCCIÓN

**A**ctualmente la mayoría de los sistemas BRT implementados trabajan sobre un esquema de planeación estático, donde las rutas inician en intervalos de tiempo fijos sin tener en cuenta la demanda del sistema. Cuando ocurren eventos inesperados, la gestión y programación de los buses del sistema se realiza de manera manual e improvisada, provocando un alza en la probabilidad de errores humanos y una falencia en la optimización de las rutas programadas. Esta problemática suele afectar a millones de usuarios en todo el mundo que utilizan estos servicios cada día, quienes necesitan una pronta solución sostenible y escalable.

Al aplicar tecnologías novedosas como IoT y Big Data en diferentes campos de la movilidad se han visto mejoras y resultados satisfactorios en la planeación, control y gestión de rutas de sistemas de transporte. Por esta razón se considera adecuado aplicar estas tecnologías a los sistemas BRT, generando así un impacto positivo para las ciudades. Al integrar estas tecnologías en los sistemas BRT, estos contarán con la capacidad de procesar y analizar datos tomados por los sensores IoT ubicados en puntos clave, para pronosticar el aforo de

personas y la ocupación de buses, facilitando la planeación dinámica y automatizada de rutas.

Este informe estudia e investiga los beneficios de la adopción de las tecnologías IoT y Big Data en sistemas de BRT. Concretamente presentamos la siguiente contribuciones:

- Se muestran y se investigan las características de IoT y Big Data, presentando las ventajas de adoptarlo en una organización.
- Se estudian cuantitativa y cualitativamente los sistemas de transporte BRT y el impacto que ha traído su implementación en diferentes lugares del mundo.
- Se presenta una arquitectura en la nube, que integra tecnologías IoT y Big Data para optimizar un Sistema BRT.

La arquitectura de la solución consta de una serie de sensores ubicados en buses y estaciones del sistema, estos sensores envían información a una central que recopila y procesa los datos para brindar estadísticas en tiempo real de ocupación y flujo de usuarios, con esta información, la empresa puede tomar decisiones estratégicas en base a las necesidades actuales del sistema y sus usuarios.

## II. INTERNET OF THINGS

### i. ¿Qué es IoT?

IoT o internet de las cosas, describe la red de objetos físicos (things) que llevan sensores integrados, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet. Estos dispositivos abarcan desde objetos domésticos cotidianos hasta sofisticadas herramientas industriales. [8]

Hoy en día, se han conectado más de 7 mil millones de dispositivos IoT y los expertos predicen que este número aumentará a 10 mil millones en 2020 y 22 mil millones en 2025. [7]

### ii. ¿Por qué IoT es tan importante?

Ahora podemos conectar objetos cotidianos como electrodomésticos de cocina, vehículos, termostatos, monitores de bebés, etc. a Internet a través de dispositivos integrados, consiguiendo así una comunicación fluida entre personas, procesos y cosas. [12]

A través de la computación de bajo costo, la nube, big data, análisis y tecnologías móviles, los objetos físicos pueden compartir y recopilar datos con una mínima intervención humana. En este mundo altamente conectado, los sistemas digitales pueden registrar, monitorear y ajustar cada interacción entre objetos conectados. Este mundo físico se combina con el mundo digital, por lo que pueden cooperar. [7]

### iii. Arquitecturas de IoT

Los dispositivos IOT dan lugar a tener funcionalidades bastantes convenientes y beneficiosas para una aplicación, pero a su vez poseen ciertas limitaciones físicas que implican llevar a cabo una arquitectura especial para obtener el mayor provecho de los dispositivos, esta arquitectura debe cumplir con:

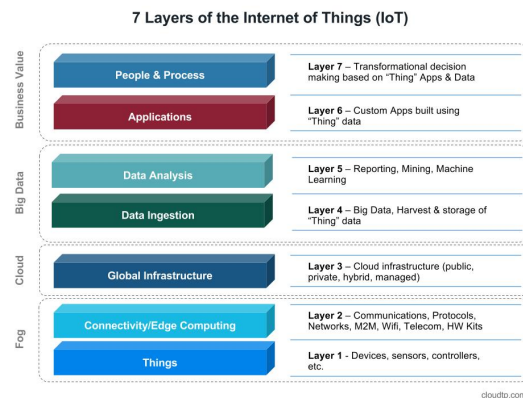
- **Conectividad y comunicación:** con el uso de protocolos web, y en general protocolos de transporte se debe garantizar una

alta disponibilidad de conexión con la aplicación o servicio en cuestión y el envío de información que es captada por el dispositivo en uso.

- **Manejador de Datos:** el sistema por sí solo, debe ser capaz de gestionar altos volúmenes de datos y actuar frente a esta información sin ocasionar delay al servicio, por lo que es importante tener servicios de balanceo de cargas.
- **Escalabilidad:** es esencial que la arquitectura sea capaz de soportar numerosos dispositivos que constantemente reciban instrucciones y envíen información, para ello es bastante beneficioso tener una infraestructura cloud. [9]

Además de tener en cuenta las características anteriores la mayoría de arquitecturas IOT se enfocan en el uso, administración y mantenimiento de las capas IOT:

Figure 1: Capas de IoT [13]



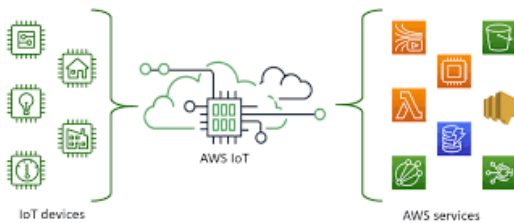
Actualmente las arquitecturas IOT facilitan la recolección de datos del ambiente que algunos servicios/sistemas requieren para manejar eventos y actuar frente a los mismo. Por esto mismo existen proveedores que dan la posibilidad de utilizar servicios cloud que facilitan administrar y mantener una infraestructura en particular. [4]

Como se ha mencionado previamente para concretar un arquitectura IOT se requiere del uso de un dispositivo remoto que recolecte y

envíe información hacia un sistema de control que maneje la infracción y envíe instrucciones al dispositivo IOT dependiendo de que se necesite. El sistema contará con microservicios que le permitirán analizar, almacenar y gestionar la información para luego llevar a cabo una acción frente a los datos obtenidos. [5]

Servicios de AWS para la construcción de una arquitectura IOT:

Figure 2: Arquitectura IoT [5]



#### iv. Dispositivos

Se calcula que a finales de 2021 habrá 35.000 millones de dispositivos conectados a Internet. La mayoría de estos dispositivos serán pequeños sensores que envían flujos de información sobre lo que detectan, como temperatura, humedad, sonido e imágenes. También serán los dispositivos que utilizaremos para nuestra arquitectura. A continuación exploraremos algunos de estos sensores:

- **Temperatura:** Este dispositivo recoge información sobre la temperatura de una fuente y la convierte en una forma comprensible para otro dispositivo o persona. La mejor ilustración de un sensor de temperatura es el termómetro de mercurio en vidrio. El mercurio del vidrio se expande y se contrae en función de las alteraciones de la temperatura.
- **Sensores infrarrojos:** Este dispositivo emite y/o detecta la radiación infrarroja para detectar una fase concreta del entorno. Generalmente, la radiación térmica es emitida por todos los objetos en el espectro infrarrojo. El sensor de infrarrojos

detecta este tipo de radiación que no es visible para el ojo humano.

- **Sensores UV:** Estos sensores miden la intensidad o la potencia de la radiación ultravioleta incidente. Esta forma de radiación electromagnética tiene longitudes de onda más largas que los rayos X, pero sigue siendo más corta que la radiación visible. Para que los sensores ultravioleta sean fiables, se utiliza un material activo conocido como diamante policristalino.
- **Sensores de proximidad:** Un sensor de proximidad detecta la presencia de objetos que están casi colocados sin ningún punto de contacto. Al no haber contacto entre los sensores y el objeto detectado y carecer de piezas mecánicas, estos sensores tienen una larga vida funcional y una alta fiabilidad.

Para nuestra arquitectura, utilizaremos sensores infrarrojos y sensores de proximidad, estos nos ayudarán a medir la ocupación de los buses y estaciones para tomar decisiones en tiempo real sobre el sistema.

### III. BIG DATA

#### i. ¿Qué es BigData?

El término "big data" se refiere a datos que son tan grandes, rápidos o complejos que es difícil o imposible de procesar con métodos tradicionales. El acto de acceder y almacenar grandes cantidades de información para su análisis existe desde hace mucho tiempo. Pero el concepto de big data se desarrolló a principios de la década de 2000, cuando el analista de la industria Doug Laney propuso la definición actual de big data como tres V:

- **Volumen:** La organización recopila datos de diversas fuentes, como transacciones comerciales, dispositivos inteligentes (IoT), equipos industriales, videos, redes sociales, etc. En el pasado, su almacenamiento solía ser un problema, pero el almacenamiento más barato en platafor-

mas como lagos de datos y Hadoop alivió la carga.

- **Velocidad:** Con el desarrollo de Internet de las cosas, los datos llegan a las empresas a una velocidad sin precedentes y deben procesarse de manera oportuna. Las etiquetas RFID, los sensores y los medidores inteligentes están impulsando la demanda de procesamiento de estos torrentes de datos casi en tiempo real.
- **Variedad:** Los datos se expresan en varios formatos: desde datos digitales construidos en bases de datos tradicionales hasta documentos de texto no estructurados, correos electrónicos, vídeos, audios, datos de ticker y transacciones financieras. [6]

## ii. ¿Por qué es importante la BigData?

La importancia del big data no gira en torno a cuántos datos tiene, sino cómo los maneja. Puede obtener datos de cualquier fuente y analizarlos para encontrar respuestas. Estas respuestas pueden permitirle 1) reducir costos, 2) reducir el tiempo, 3) desarrollar nuevos productos y optimizar productos, y 4) tomar decisiones correctas. Cuando se combina big data con potentes capacidades de procesamiento, se pueden realizar tareas relacionadas con los negocios como:

- Identificar la causa raíz de fallas, problemas y defectos casi en tiempo real.
- Generar cupones en el punto de venta en función de los hábitos de compra del cliente.
- Volver a calcular toda la cartera de empresas en cuestión de minutos.
- detectar comportamientos fraudulentos antes de que afecte a su organización. [10]

## IV. SISTEMA BRT

### i. ¿Qué es un sistema BRT?

Bus Rapid Transit (BRT) es un sistema de tránsito basado en autobuses de alta calidad que

ofrece servicios rápidos y rentables a capacidades de nivel metropolitano. Lo hace a través de la provisión de carriles exclusivos.[11]

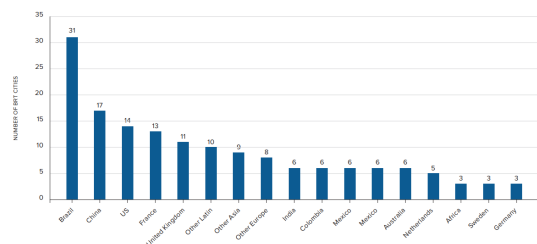
### ii. ¿Por qué es importante un sistema BRT?

Los sistemas de Bus Rapid Transit (BRT) han ganado popularidad en todo el mundo como una alternativa rentable a las inversiones ferroviarias urbanas mucho más caras. Sistemas basados en bus de alta calidad también sirven mejor a los patrones de asentamiento de baja densidad de muchos mercados suburbanos y ciudades de tamaño pequeño a mediano en diferentes países. [14]

Donde se ha venido implementando desde hace más de 15 años en diferentes países y regiones, Brasil se ha convertido en el líder mundial en la construcción de sistemas BRT, extendiendo el éxito del sistema pionero de Curitiba a otras 30 ciudades. Otros países de América Latina, en particular Colombia y México, pero también Chile, Perú y Ecuador y los países desarrollados EE. UU, Francia y el Reino Unido. A continuación, se muestra una gráfica de el número de ciudades con sistemas BRT, por entorno nacional y regional. [2]

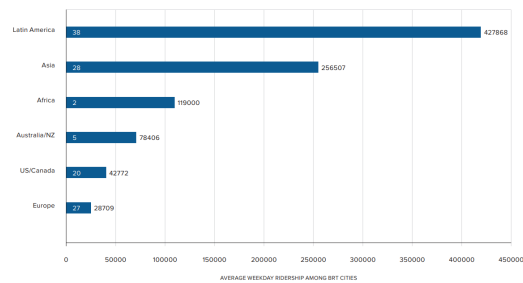
### iii. Comparaciones regionales de pasajeros y rendimiento de BRT

**Figure 3:** Número de ciudades con sistemas BRT, por entorno nacional y regional [11]



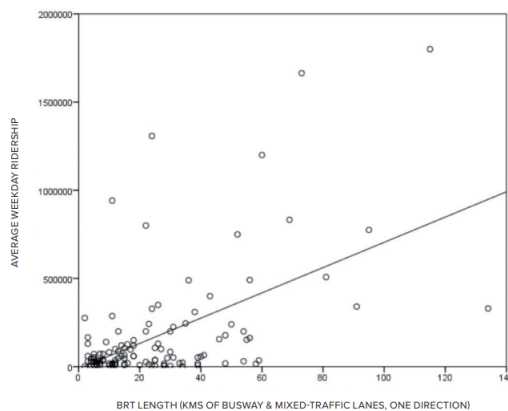
A continuación se muestra el promedio de pasajeros entre semana que usan la ciudades BRT. [15]

**Figure 4:** Promedio de pasajeros entre semana entre las ciudades BRT [11]



En la figura 5, se muestra la relación entre la longitud de un sistema BRT en kilómetros y el número de pasajeros diarios. [1]

**Figure 5:** Diagrama de dispersión del número promedio de pasajeros en los días de semana y la duración del BRT entre 115 ciudades BRT [11]



#### iv. Sistema BRT con BigData

La tecnología en el sistema BRT, se encuentra implementada actualmente en algunos países en la gestión de despacho de autobuses en tiempo real, en la señalización a los pasajeros del horario de los próximos buses o estaciones. Pero no cuenta con un mecanismo automatizado en la programación de rutas de los autobuses dependiendo del flujo de los pasajeros en zonas horarias donde se establece un mayor flujo, ocasionando así en algunos momentos alta demanda en los buses con poca circulación. Por este motivo se considera necesario imple-

mentar BigData en el sistema BRT, donde traerá considerables beneficios en la automatización en la rutas de los autobuses, donde se busca incluir análisis en tiempo real del flujo de los pasajeros, por medio de sensores, donde se analicé de forma óptima el flujo y la demanda de los usuarios. [3]

## V. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente los sistemas de transporte público no cuentan con la debida automatización de procesos que permita gestionar de forma inmediata la toma de decisiones al momento de controlar el flujo vehicular en el sistemas BRT, de contabilizar todo el aforo de usuarios del servicio en tiempo real y en zonas específicas con destinos similares y de concentrar el esfuerzo por garantizar el movimiento oportuno de las masas en dirección a destinos concretos, esto considerando que la población se comporta de manera variable durante todo el transcurso del día, lo cual nos lleva a que el sistema debe ser capaz de ser eficiente y oportuno acorde a las especificaciones cuantitativas y estadísticas que requieren una atención diferente para cada momento del día.

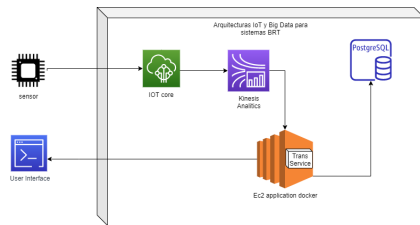
## VI. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para mejorar la gestión del sistema BRT, se plantea implementar un software vinculando herramientas de IoT y Big data que ayudará a tener un mayor control y utilizar mejor los recursos de este sistema y ofrecer una mayor calidad de servicio a los usuarios. Con el uso de sensores en los buses se permitirá una mayor recolección de datos con respecto al flujo de usuarios en el sistema, de manera que se tendrán datos en tiempo real sobre la capacidad del servicio y la ruta en general, los cuales serán comunicados por el software al centro de servicios de transporte por medio de notificaciones y/o reportes, con los que se facilitara la identificación de las zonas criticas que requieren una mayor atención en un momento dado, y con la evolución de software,

este mismo será capaz de predecir el aforo de usuarios en los buses y en las estaciones.

## VII. ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN

Figure 6: Arquitectura prototipo BRT



## VIII. RESULTADOS

La visualización de los datos permite reaccionar de manera mas rápida y eficiente frente a situaciones críticas o de gravedad, además permite ver un espectro mas amplio sobre todos las situaciones que ocurren en el sistema. A su vez esto genera que cualquier servidor publico o grupo encargado de la administración pueda lograr priorizar procesos, en este caso rutas de manera mas sencilla, y mas aun, con la integración de una herramienta de analytics que permite a la larga aumentar el rendimiento de estos procesos de decisión, llegando a un resultado muy cercano a la implementación de MLOps.

## IX. CONCLUSIONES

En este artículo se expuso la importancia de integrar IoT y Big Data a los sistemas BRT, donde se evidenció las ventajas que trae integrar estas tecnologías, trayendo una optimización en el control y gestión de las rutas de los sistemas de transporte.

De esta manera se busca suplir las necesidades de las personas que usan este sistema en diferentes países y se logra generar una mejor planeación en las empresas que brindan

este servicio. Al tener un control sobre las rutas y aforo de las personas en una plataforma que muestre un monitoreo en tiempo real, se proporciona un mejor manejo y visualización de los eventos en el sistema BRT, para tomar mejores decisiones en la planeación de las rutas.

Para generar un cambio adecuado, se tiene que integrar a los sistemas BRT una plataforma que integre las tecnologías IoT y Big Data como los servicios proporcionados por AWS que se expusieron en la arquitectura de la solución, proporcionando un mejor control.

A partir del experimento realizado se puede llegar a la conclusión de que es necesario diseñar y crear una infraestructura especializada para lograr soportar altas demandas en el sistema. Para una empresa que preste este servicio y desee incursionar en la implementación de IoT y Big Data para los sistemas BRT, si se hace uso de herramientas existentes, se puede lograr implementar sin un alto costo de recursos, se puede generar una solución en menos tiempo y todo el soporte de la solución se realizaría por parte del área encargada.

## REFERENCES

- [1] *Bus Rapid Transit (BRT) Systems Eligibility Criteria and Guidelines*. Tomado de [https://www.climatebonds.net/files/uploads/2014/05/Climate-Bonds-BRT-2014-BRT-Standard\\_Proposal.pdf](https://www.climatebonds.net/files/uploads/2014/05/Climate-Bonds-BRT-2014-BRT-Standard_Proposal.pdf). 2020.
- [2] *Bus Rapid Transit system's influence on urban development: An inquiry to Boston and Seoul BRT systems' technical characteristics*. Tomado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/126/1/012047/pdf>. 2021.
- [3] Robert Cervero. *An Efficient and Competitive Mode of Public Transport*. Tomado de [https://www.acea.be/uploads/publications/20th\\_SAG\\_HR.pdf](https://www.acea.be/uploads/publications/20th_SAG_HR.pdf). 2013.

- [4] Gary B. Wills Hany F. Atlam Robert J. Walters. *Internet of Things: State-of-the-art, Challenges, Applications, and Open Issues*. Tomado de <https://bit.ly/3vNhSCi>. 2018.
- [5] Sunil M Patel Keyur K Patel. *Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges*. Tomado de <https://cutt.ly/DxQJREq>. 2016.
- [6] Javier Puyol Moreno. *UNA APROXIMACIÓN A BIG DATA*. Tomado de <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:rduned-2014-14-7150/Documento.pdf>. 2014.
- [7] Oracle. *¿Qué es IoT?* Tomado de <https://www.oracle.com/co/internet-of-things/what-is-iot/>. 2021.
- [8] P.P.Ray. *A survey on Internet of Things architectures*. Tomado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157816300799>. 2016.
- [9] Prayag Tiwari & Mikhail Zymbler Sachin Kumar. *Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review*. Tomado de <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-019-0268-2>. 2019.
- [10] SAS. *Big Data*. Tomado de [https://www.sas.com/es\\_co/insights/big-data/what-is-big-data.html](https://www.sas.com/es_co/insights/big-data/what-is-big-data.html). 2021.
- [11] Thaned Satiennam. *A STUDY ON THE INTRODUCTION OF BUS RAPID TRANSIT SYSTEM IN ASIAN DEVELOPING CITIES: A Case Study on Bangkok Metropolitan Administration Project*. Tomado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0386111214601709>. 2006.
- [12] Pallavi Sethi and Smruti R. Sarangi. *Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications*. Tomado de <https://www.hindawi.com/journals/jece/2017/9324035/>. 2016.
- [13] Daniel Karzel Tuan-Si Tran Hannelore Marginean. *A Reference Architecture for the Internet of Things*. Tomado de <https://www.infoq.com/articles/internet-of-things-reference-architecture/>. 2016.
- [14] Andres I. Vecino-Ortiz and Adnan A. Hyder. *Road Safety Effects of Bus Rapid Transit (BRT) Systems: a Call for Evidence*. Tomado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4608935/>. 2015.
- [15] *What is BRT?* Tomado de <https://www.itdp.org/library/standards-and-guides/the-bus-rapid-transit-standard/what-is-brt/>. 2021.