

**Diseño de un modelo que permita medir la eficiencia del BRT (*Bus Rapid Transit*) en una ciudad**

**Duván Andrey Barrera Heredia**

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
Decanatura de Ingeniería de Sistemas  
Maestría Gestión de Información  
Bogotá D.C., 31 de julio de 2020**

**Diseño de un modelo que permita medir la eficiencia del BRT (*Bus Rapid Transit*) en una ciudad**

**Duván Andrey Barrera Heredia**

**Trabajo de investigación para optar al título de  
Magíster en Gestión de Información**

**Director  
Doctor Luis Daniel Benavides**

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
Decanatura de Ingeniería de Sistemas  
Maestría en Gestión de Información  
Bogotá D.C., 31 de julio de 2020**

© Únicamente se puede usar el contenido de las publicaciones para propósitos de información. No se debe copiar, enviar, recortar, transmitir o redistribuir este material para propósitos comerciales sin la autorización de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Cuando se use el material de la Escuela se debe incluir la siguiente nota "Derechos reservados a Escuela Colombiana de Ingeniería" en cualquier copia en un lugar visible. Y el material no se debe notificar sin el permiso de la Escuela.

Publicado en 2020 por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Avenida 13 No 205-59 Bogotá. Colombia  
TEL: +57 – 1 668 36 00

## PÁGINA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado de maestría titulado “Diseño de un modelo que permita medir la eficiencia del BRT (Bus Rapid Transit) en una ciudad”, presentado por **Duván Andrey Barrera Heredia**, cumple con los requisitos establecidos y recibe nota aprobatoria para optar al título de Magíster en Gestión de información.



---

Luis Daniel Benavides  
**Director del Trabajo de Grado**



---

Monica Marcela Suarez Pradilla  
**Jurado**



---

Oswaldo Castillo Navetty  
**Jurado**

Bogotá, D.C., 31 de agosto de 2020

## **Agradecimientos**

Gracias a Dios.

Gracias a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por otorgarme la beca que me permitió cursar este posgrado, a la doctora Mónica Marcela Suárez Pradilla quien con su conocimiento, retroalimentación y consejos contribuyó a la correcta elaboración del estudio y en especial a mi director de tesis Luis Daniel Benavides, por ser excelente guía y apoyo durante este proceso.

Gracias a mi familia por darme la fortaleza para seguir adelante y culminar con éxito.



## **Resumen**

Diariamente, en el transporte público, los usuarios generan grandes volúmenes de datos, que se convierten en información y resultan en conocimiento valioso para la sociedad, pues en ella se deja en evidencia el estado actual de nuestros sistemas de transporte. Este sistema es un eje importante para la planeación y gestión de ciudades, ya que se ha consolidado como un servicio que atiende a un gran número de personas; uno de los medios más usados son los buses de tránsito rápido (BRT) que generan grandes cantidades de datos y son un referente mundial en transporte, por lo que es relevante tomar de base los avances ya desarrollados por otros investigadores. Con este contexto, se intenta responder a la pregunta ¿Cómo medir la eficiencia del BRT en una ciudad? Para ello, usando herramientas de inteligencia de negocios y analítica de datos, se plantea una metodología que propone a través de una secuencia de pasos generar indicadores que nos permitan ampliar el conocimiento que se tiene sobre la eficiencia del BRT.

## **Abstract**

Daily, in public transportation, users generate a large amount of data, which becomes information and results in important knowledge for society, because it reveals to us the current state of our transport systems. This system is an important axis for city planning and management since it has established itself as a service that caters to a large number of people; Bus rapid transit(BRT) is one of the most used transport systems which generates a large amount of data and it is a world referent in transportation, so it is relevant to take as a basis the advances already developed by other researchers. In this context, we try to answer the question: How can we measure the efficiency of BRT in a city? For this, using business intelligence and data analytics tools, we propose a methodology like a sequence of steps to generate indicators that allow us to expand the knowledge we have about the efficiency of BRT.

# Índice General

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
1.1	PROBLEMÁTICA	6
1.2	OBJETIVOS	7
1.2.1	<i>Objetivo General</i>	7
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	7
1.3	ALCANCE Y LIMITACIONES	7
1.4	METODOLOGÍA	7
1.4.1	<i>Revisión de la literatura</i>	8
1.4.2	<i>Diseño del modelo de medición de eficiencia de un BRT</i>	8
1.4.3	<i>Validación del modelo con Transmilenio</i>	8
1.5	CONTRIBUCIONES DE LA TESIS	8
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE</b>	<b>10</b>
2.1	GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	10
2.1.1	<i>Gestión del conocimiento</i>	12
2.1.2	<i>Inteligencia de negocios</i>	12
2.1.3	<i>Análisis de datos</i>	14
2.2	BUS RAPID TRANSIT	17
2.3	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL BRT	20
2.3.1	<i>Alineación de carriles</i>	20
2.3.2	<i>Carriles exclusivos y derecho de vía</i>	20
2.3.3	<i>Pago de pasaje anterior al abordaje</i>	21
2.3.4	<i>Manejo de intersecciones</i>	22
2.3.5	<i>Abordaje a nivel de plataforma</i>	22
2.4	CARACTERÍSTICAS SECUNDARIAS DEL BRT	23
2.4.1	<i>Planeación del servicio</i>	23
2.4.2	<i>Infraestructura</i>	24
2.4.3	<i>diseño de la estación e interfaz de la estación-autobús</i>	25
2.4.4	<i>Calidad de servicio y los sistemas de información</i>	26
2.5	CRECIMIENTO DEL BRT	26
2.6	BRT EN BOGOTÁ	28
2.7	EFICIENCIA DEL BRT E INDICADORES PARA SU EVALUACIÓN	29
2.7.1	<i>Ciclo de calidad del servicio</i>	32
2.7.2	<i>Norma europea UNE - EN 13816: Ciclo de la Calidad de Servicio (CCS)</i>	33
<b>3</b>	<b>MODELO DE MEDICIÓN DEL BRT</b>	<b>37</b>
3.1	MODELO DE INDICADORES DE EFICIENCIA	37
3.2	MODELO DE EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	39
3.2.1	<i>Datos</i>	39
3.2.2	<i>Extracción, transformación y Cargue (ETL)</i>	40
3.2.3	<i>Repositorio</i>	40
3.2.4	<i>Roles</i>	41

3.2.5	<i>Explotación de los datos - Visualización</i> .....	41
3.3	PROCESO DE MEDICIÓN DE EFICIENCIA.....	42
<b>4</b>	<b>VALIDACIÓN DEL MODELO (TRANSMILENIO)</b> .....	<b>46</b>
4.1	TRANSMILENIO.....	46
4.2	ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN .....	48
4.3	INDICADORES TRANSMILENIO.....	49
4.4	BASES DE INFORMACIÓN TRANSMILENIO .....	52
4.4.1	<i>Datos históricos Transmilenio 2017-2019</i> .....	52
4.4.2	<i>Encuesta de movilidad de Bogotá 2015 – Caracterización Etapas – Origen/Destino</i> .....	56
4.4.3	<i>Encuesta de movilidad de Bogotá 2015 – Caracterización viajes – Origen/Destino</i> .....	58
4.5	EXPLOTACIÓN DE DATOS .....	61
4.5.1	<i>Número de pasajeros</i> .....	61
4.5.2	<i>Motivo de uso del sistema</i> .....	76
<b>5</b>	<b>EVALUACIÓN</b> .....	<b>80</b>
5.1	COMPARACIONES CON OTROS SISTEMAS BRT .....	80
5.2	CONCLUSIONES .....	82
5.3	TRABAJOS FUTUROS .....	84
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>85</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>89</b>
6.1	ANEXO 1. ABREVIACIONES .....	89
6.2	ANEXO 2. COMPARACIÓN BRTS .....	90

## Índice de Figuras

Ilustración 1 - Número de ciudades con sistema BRT, por región, 2013.....	27
Ilustración 2 - Indicadores principales por región .....	27
Ilustración 3 - Transporte utilizado por los bogotanos .....	28
Ilustración 4 – Modelo de extracción y procesamiento de datos .....	39
Ilustración 5 - Proceso de medición de eficiencia sistema BRT .....	42
Ilustración 6 - Relación arquitectura general y proceso de medición de eficiencia .....	45
Ilustración 7 - Arquitectura de la solución.....	48
Ilustración 8 - Modelo base de datos Transmilenio resumida.....	55
Ilustración 9 - Medio de transporte usado por los encuestados. ....	56
Ilustración 10 - Tipos de transporte usado por los encuestados .....	59
Ilustración 11 - Visualización de pantalla "Indicadores generales".....	61
Ilustración 12 - Visualización pantalla "Demanda" .....	62
Ilustración 13 - Visualización de pantalla "Demanda por día" .....	63
Ilustración 14 - Visualización de pantalla "Demanda por año" .....	64
Ilustración 15 - Visualización pantalla "Demanda por Línea" .....	66
Ilustración 16 - Visualización pantalla "Demanda por tipo de día".....	67
Ilustración 17 - Número de validaciones por línea, estación y día.....	68
Ilustración 18 - Número de validaciones por línea 2018.....	69
Ilustración 19 - Número de validaciones por día y línea.....	70
Ilustración 20 - Número de validaciones día sin carro.....	70
Ilustración 21 - Demanda Transmilenio 2018.....	71
Ilustración 22 - validaciones semana santa 2018.....	72
Ilustración 23 - Semana santa 2019.....	72
Ilustración 24 - Número de validaciones - Caracas - 2018.....	73
Ilustración 25 - Número de validaciones estación museo del oro 2018.....	73
Ilustración 26 - Demanda por línea 13 de febrero de 2019 .....	75
Ilustración 27 - Demanda por línea total.....	75
Ilustración 28 – Valores históricos IPK y IPB.....	76

Ilustración 29 – Visualización de pantalla “Ubicación” .....	76
Ilustración 30 – Visualización pantalla “Motivo de viajes” .....	77
Ilustración 31 - Visualización de pantalla "medio transporte" .....	78
Ilustración 32 - Ubicación destino viajes 6 am.....	79
Ilustración 33 - Indicadores generales Transmilenio 2017-2019 .....	82

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Diferencia entre servicios de gama alta y gama baja .....	18
Tabla 2 – Tipos de carriles exclusivos y derecho de vía. ....	21
Tabla 3 - items de infraestructura UNE - EN – 13186 .....	33
Tabla 4 - Indicadores de eficiencia BRT.....	37
Tabla 5 - Indicadores de eficiencia a medir .....	49
Tabla 6 – Diccionario de datos dispositivos Transmilenio 2017-2019 .....	52
Tabla 7 – Diccionario de datos Transmilenio oferta 2017-2019 .....	53
Tabla 8 - Diccionario de datos resumido Transmilenio 2017-2019.....	54
Tabla 9 - Diccionario de datos caracterización etapas origen – destino.....	57
Tabla 10 - Diccionario de datos caracterización viajes origen - destino .....	59
Tabla 11 - Demanda diaria por corredor Transmilenio .....	74
Tabla 12 - resumen indicadores generales Transmilenio .....	80

# 1 Introducción

## 1.1 Problemática

El transporte público colectivo es un eje importante para la planeación y gestión de ciudades, ya que se ha consolidado como un servicio que atiende a un gran número de personas. (Rojas, 2005) Debe ser un servicio de transporte público extraordinario que genere calidad de vida y felicidad, en el que el usuario acceda a su derecho de movilizarse con dignidad. (Plan de Desarrollo 2016-2020)

En el mundo se han implementado diferentes alternativas de sistemas de transporte masivo, una de ellas es el *Bus Rapid Transit* (en adelante BRT por sus siglas en inglés), este sistema se ha construido en más de 50 ciudades de América Latina como servicio de transporte público. Se eligieron estas soluciones para afrontar problemas de movilidad cada vez más graves. Estos problemas resultan de una desorganización generalizada en los procesos de expansión urbana desde los años 40's y de las dinámicas de liberalización del sector transporte iniciado en los años 80's. La combinación anterior fue transformando progresivamente los servicios de transporte público en servicios atomizados y de baja calidad (FIGUEROA, 2005).

En este contexto, durante las últimas décadas, las autoridades de diferentes ciudades latinoamericanas buscaron implementar sistemas de transporte público con mayor eficiencia y calidad. Comenzando con el sistema de Curitiba en 1973 y siguiendo con el 'boom' de los años 90's y 2000, se construyeron diferentes sistemas de corredores de buses de alta capacidad (BRT). Estos BRT pueden atender una demanda alta y, en teoría, pueden implantarse de manera rápida y a bajo costo (ZAMORA – COLIN U., 2013).

Entonces, es importante tomar las técnicas de medición de eficiencia y la gran cantidad de datos que generan estos sistemas para proponer un modelo que nos permita tomar decisiones, respondiendo a cuestionamientos ¿Cómo podemos medir la eficiencia del BRT en una ciudad?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar un modelo que permita medir la eficiencia del BRT en una ciudad.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Revisar el estado del arte relacionado con los componentes clave del BRT y las técnicas de medición de eficiencia en este sistema de transporte.
- Proponer un modelo que permite medir la eficiencia del BRT en una ciudad.
- Validar el modelo propuesto con los datos generados por el sistema de transporte masivo Transmilenio.

## **1.3 Alcance y limitaciones**

El alcance de este trabajo está en la propuesta de un modelo que permita medir la eficiencia del BRT en una ciudad. Se utilizaron técnicas de analítica de datos e inteligencia de negocios en la propuesta de la arquitectura y el modelo a utilizar; los procesos de extracción, cargue, visualización de datos se realizaron con herramientas existentes en el mercado.

Se validará el modelo con los datos del sistema de transporte masivo Transmilenio y se mostrarán de manera gráfica los resultados.

No corresponde a esta tesis, la producción de un software que genere la solución automatizada.

## **1.4 Metodología**

El trabajo de profundización parte de la pregunta ¿Cómo se puede medir la eficiencia del BRT en una ciudad?, esta pregunta será trabajada de manera teórica en el proyecto de grado y se validará el modelo propuesto con los datos de Transmilenio; para llegar al modelo de medición se seguirán los siguientes pasos:

### **1.4.1 Revisión de la literatura**

Se realizará una revisión de la literatura que incluye las características principales del BRT en una ciudad, así como los diferentes indicadores que se han usado para medir la eficiencia de los sistemas de transporte masivo, en esta etapa se tendrán los siguientes entregables:

- Identificación de los componentes básicos del BRT.
- Identificación de los indicadores usados en mediciones a los sistemas de transporte masivo.

### **1.4.2 Diseño del modelo de medición de eficiencia de un BRT**

En este paso se definirán los indicadores más relevantes para realizar la medición de la eficiencia del BRT en una ciudad, así como los datos necesarios para hacerlo.

### **1.4.3 Validación del modelo con Transmilenio**

Primero es importante resaltar que Transmilenio es un sistema de transporte de tipo BRT, que hace parte del sistema de transporte masivo de Bogotá y Soacha. Este sistema es bastante icónico en el mundo por el volumen de pasajeros que transporta con el nivel de productividad que tiene.

Teniendo claro que es Transmilenio, se realizó la medición de los indicadores seleccionados en el paso anterior.

## **1.5 Contribuciones de la tesis**

- Aporta a la toma de decisiones dando una visualización que pueda ser de fácil uso y acceso sobre la eficiencia en Transmilenio.

- Aportar a otros, que quieran profundizar en la medición de diversos indicadores de Transmilenio dando una base de datos resumida con información limpia entre 2017 y 2019.
- Aportar a otros, que quieran profundizar en el campo del análisis de la eficiencia en un sistema de transporte, con el fin de evidenciar el uso en otra temática.

En el capítulo dos se revisarán los conceptos del estado del arte que soportan el trabajo, iniciaremos con las técnicas de gestión de la información usadas, luego entraremos en el dominio del problema, donde se definirá que es el BRT y cuáles son sus características para finalmente llegar a las mediciones de eficiencia realizadas en los sistemas de transporte.

Con toda esta información base, se procede a proponer el modelo que permite medir la eficiencia, donde se mostraran los indicadores escogidos junto al proceso de extracción y procesamiento de los datos.

Todo lo anterior nos sirve para finalmente construir la validación del modelo con los datos del sistema de transporte masivo Transmilenio, y mostrar los diferentes análisis que surgieron de esto.

## 2 Marco teórico y estado del arte

Este apartado tiene como fin dar el contexto específico de los temas tratados, pasando primero por una explicación sobre los conceptos relacionados con gestión de la información, inteligencia de negocios y análisis de datos; después de esto se mostrarán los conceptos y características que necesita un sistema BRT, para finalmente explorar las mediciones de eficiencia realizadas en diferentes ciudades y extraer los indicadores más relevantes para estos sistemas de transporte.

### 2.1 Gestión de la información

La lógica del falibilismo<sup>1</sup> es que las personas no solo buscan corregir los conceptos erróneos del pasado, sino que esperan encontrar y cambiar ideas erróneas que nadie ha cuestionado o encuentra problemáticas. Por lo tanto, es el falibilismo, no el simple rechazo de la autoridad, lo que es esencial para la iniciación del crecimiento ilimitado del conocimiento. La búsqueda de autoridad llevó a los empiristas a minimizar e incluso a estigmatizar las conjeturas, la fuente real de todas nuestras teorías. Así, los empiristas llegaron a creer que, además de rechazar la antigua autoridad y tradición, los científicos deberían suprimir o ignorar cualquier idea nueva que pudieran tener, excepto las que se habían "derivado" adecuadamente de la experiencia. Nunca conocemos ningún dato antes de interpretarlo a través de teorías. Todas las observaciones son, como lo expresó Popper, cargadas de teoría y, por lo tanto, falibles, como lo son todas nuestras teorías. (Deutsch, 2011)

El conocimiento deriva de información, así como la información deriva de los datos. Existe una relación directa entre datos, información y conocimiento. Si la información se transforma en conocimiento, entonces ha ocurrido la intervención de un ente inteligente. Las acciones de generación del conocimiento se producen en los seres humanos (T. Davenport, 2001) Las tecnologías de información y comunicación (TIC), a pesar de su capacidad de procesamiento de datos y creación de información, no pueden crear el conocimiento; este solo es posible a partir de la intervención de un ser humano (Bueno, 2000).

Woodman plantea que la gestión de información es una disciplina que busca obtener la información correcta, en la forma adecuada, para la persona indicada,

---

<sup>1</sup> El falibilismo es la doctrina lógica que sostiene la posibilidad de que una proposición dada puede ser negada, cambiando su valor de verdad y a partir de ella obtener una nueva discriminación certera acerca de lo conocido.

al costo correcto, en el momento oportuno, en el lugar indicado para tomar la acción precisa. (Woodman, 1985)

Para apoyar las decisiones, basadas en la información que se extrae de las fuentes habilitadas, es necesario fomentar el desarrollo de la capacidad de análisis en las personas que definen las políticas, estrategias y mecanismos de seguimiento, evaluación y control. Además, para dicho proceso se debe contar con herramientas orientadas al seguimiento, análisis y a la presentación y publicación de información según sus ciclos de vida y de acuerdo con los diversos públicos o audiencias. (MinTic, s.f.) La gestión de la información debe tener en cuenta las siguientes premisas:

- Información de calidad
- Información como bien público
- Información en tiempo real
- Información como servicio

La información disponible para apoyar la toma de una decisión debe cumplir con los siguientes criterios:

- Oportunidad
- Confiabilidad
- Completitud
- Pertinencia
- Utilidad

La estrategia de información se fundamenta en el ciclo de vida de la información, que desarrolla los siguientes procesos:

- Definición de información
- Recolección
- Validación
- Consolidación de información para el análisis

- Publicación de información

Como resultado de la gestión de información se obtienen mecanismos de usos y accesos disponibles, información de calidad, generación de valor a partir de la información, apoyo a la toma de decisiones e instrumentos de análisis de la información disponible para los usuarios especializados. (MinTic, s.f.)

### **2.1.1 Gestión del conocimiento**

La gestión del conocimiento se ha convertido en uno de los principales temas de investigación y en el paradigma de gestión por excelencia en el campo de la organización y gestión de instituciones empresariales (D. Gallego, 2004)

Según Davenport “Todas las organizaciones saludables generan y usan conocimiento. A medida que las organizaciones interactúan con sus entornos, absorben información, la convierten en conocimiento y llevan a cabo acciones sobre la base de la combinación de ese conocimiento y de sus experiencias, valores y normas internas. Sienten y responden. Sin conocimiento, una organización no se podría organizar a sí misma” (T. Davenport, 2001).

La aparición y la creciente importancia del conocimiento como un factor de producción hacen que el desarrollo de tecnologías, de metodologías, de innovación y de estrategias para su medición, creación y difusión se convierta en prioridad en las organizaciones en la nueva denominación de sociedad del conocimiento (J. Michelo, 2008). Sin embargo, también se puede considerar que ha sido precisamente el desarrollo de estas el que ha convertido el conocimiento en un elemento indispensable para el desarrollo económico y social (Bueno E. , 2008).

### **2.1.2 Inteligencia de negocios**

A partir de la gestión del conocimiento, surge el concepto de inteligencia de negocios (*Business Intelligence*, inteligencia empresarial o inteligencia de negocios); se llama así al conjunto de estrategias, acciones y herramientas enfocadas a la administración y creación de conocimiento mediante el análisis de datos existentes en una organización o empresa (E. Ahumada-Tello, 2012).

Es precisamente en la gestión del conocimiento donde se sustentan estas estrategias que permiten seguir un conjunto de acciones que la empresa

inteligente puede emprender, y que le conceden una ventaja sobre sus competidores, principalmente porque el valor agregado a los servicios o productos que son consecuencia de estas acciones desarrollan una eficiencia en su producción y una eficacia en su funcionamiento que difícilmente pueden ser replicadas por aquellas que no tienen estos procesos o estrategias definidas (Larson, 2009).

La Inteligencia de Negocios sirve para apoyar y permitir que las empresas tomen decisiones inteligentes a partir de información táctica. Actúa como un sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en datos que se usa indistintamente con los sistemas de información para ejecutivos, libros de información y herramientas de consulta e informes.

## **Proceso ETL**

ETL es un método de integración de datos, sus siglas se refieren a sus tres pasos (extraer, transformar y cargar), se utiliza para convertir los datos provenientes de múltiples fuentes: ERP<sup>2</sup>, CRM<sup>3</sup>, tablas en Excel y otras fuentes de archivos tradicionales, y transformarlos en un formato homogéneo y consolidado.

Esta etapa suele apoyarse en una bodega de datos intermedia que actúa como un área de paso en donde son descargados los datos, crudos y sin transformaciones, una vez sean extraídos desde los sistemas fuente transaccionales; esto se hace con el propósito de ocupar el mínimo tiempo posible los servidores de origen que entregan los datos (Sherman, 2010).

En esta área intermedia se efectúan las tareas de transformación de los datos para que la información resultante, ya unificada, depurada y consolidada, se almacena en un almacén de datos (Curto Diaz, 2010).

Este almacén de datos o *Data warehouse*; en combinación con otras aplicaciones facilita el procesamiento y mejora el rendimiento de la gestión de datos.

---

<sup>2</sup> ERP(Enterprise Resource Planning) : Sistema de planificación de recursos empresariales.

<sup>3</sup> CRM(Customer Relationship Management): Gestión de las relaciones con los clientes

Estos procesos complementan a los conceptos de inteligencia de negocio; ya que, se encarga de limpiar los datos durante el proceso de extracción y de cargar los datos significativos en el almacén de datos.

Los datos en un almacén no siempre tienen la calidad requerida. El proceso ETL mantiene la integridad de los datos provenientes de distintas fuentes y los pone a disposición para la toma de decisiones y la presentación de informes. (Equipo Editorial, 2018)

Los tres pasos en un proceso ETL son:

1. *Extracción*: Este paso es responsable de la extracción de datos de las diferentes fuentes, es necesario tener en cuenta que cada fuente de datos tiene su propia estructura y características que necesitan ser manejadas para lograr una extracción de datos efectiva.
2. *Transformación*: Este paso incluye limpieza, transformación y unión de los datos entrantes para obtener datos precisos, correctos, completos, consistentes y sin ambigüedades.
3. *Carga*: Es el último paso en el proceso, y nos ayuda a guardar los datos transformados para que sean accedidos por los usuarios finales.

### **2.1.3 Análisis de datos**

El análisis de datos es el descubrimiento, la interpretación y la comunicación de patrones significativos en los datos; y el proceso de aplicar esos patrones hacia la toma efectiva de decisiones (Melville & Lawrence, 2018).

Se distingue de la extracción de datos por su alcance, su propósito y su enfoque sobre el análisis. Los extractores de datos clasifican inmensos conjuntos de datos usando software sofisticado para identificar patrones no descubiertos y establecer relaciones escondidas. El análisis de datos se centra en la inferencia, el proceso de derivar una conclusión basándose solamente en lo que conoce el investigador.

El término “análisis” ha sido usado por varios proveedores de software de inteligencia de negocios como una palabra de moda que describe varias funciones. El análisis de datos se usa para describirlo todo, desde el procesamiento analítico en línea hasta el análisis CRM en centros de llamadas. Los bancos y las compañías de tarjetas de crédito, por ejemplo, analizan los retiros y los patrones de gasto para prevenir el fraude o robo de identidad. Las

compañías de comercio electrónico (Ecommerce) examinan el tráfico en el sitio web o los patrones de navegación para determinar qué clientes son más o menos propensos a comprar un cierto producto o servicio, basándose en compras previas o patrones de visualización. El análisis de datos moderno normalmente usa tableros de información que se basan en flujos de datos en tiempo real. El llamado análisis en tiempo real implica análisis e informes dinámicos basados en los datos que introducidos en un sistema un minuto antes del tiempo actual de uso. (Rouse, 2012)

El proceso de análisis de datos se puede dividir en 6 etapas:

- 1. Especificación de los requisitos de datos:** Los datos requeridos para el análisis se basan en una pregunta o en un experimento. Basándose en los requisitos, se identifican los datos necesarios, desde la población o colección de datos a las variables o atributos específicos de los mismos.
- 2. Recopilación de datos:** Es el proceso de recolección de información sobre las variables seleccionadas como requisito de datos. El énfasis está en garantizar la recolección exacta y honesta de datos.

Los datos se recopilan de diversas fuentes, desde bases de datos organizacionales hasta información en páginas web o redes sociales. Estos datos obtenidos pueden no estar estructurados y pueden contener información irrelevante.

- 3. Procesamiento de datos:** Los datos que se recogen deben ser procesados u organizados para su análisis. Esto incluye estructurar los datos según sea necesario para las herramientas de análisis pertinentes.
- 4. Limpieza de datos (*Data cleaning*):** Los datos procesados y organizados pueden estar incompletos, contener duplicados o contener errores. La limpieza de datos es el proceso de prevenir y corregir estos errores. Existen varios tipos de limpieza de datos que dependen del tipo de datos.

Para llevar a cabo una acción de limpieza de datos exhaustiva es necesario seguir las siguientes fases:

- a. Análisis de datos previo:** Su misión es determinar qué tipo de errores e inconsistencias deben ser eliminados. Además de una inspección manual de las muestras de datos, es necesaria la incorporación de programas que actúen sobre los metadatos para detectar problemas de calidad de datos que afecten a sus propiedades.

- b. Definición del flujo de transformación y reglas de mapeo:** Dependiendo del número de fuentes de origen de datos, su heterogeneidad y la previsión de problemas de calidad de los datos, será necesario ejecutar más o menos pasos en la etapa de transformación y adecuación. Lo más adecuado es plantear una acción a dos niveles, una en un estado temprano, que corrija los problemas relacionados con datos procedentes de una única fuente y los prepare para una buena integración; y la otra, que intervenga de forma posterior, tratando los problemas de datos procedentes de una diversidad de fuentes. Para mejorar el control sobre estos procedimientos conviene definir los procesos ETL encuadrándolos en el marco de trabajo concreto.
  - c. Verificación:** Uno de los principios de limpieza de datos es que el nivel de adecuación y la efectividad de una acción de transformación debe siempre ser testeado y evaluado. Por norma, general, esta validación se aplica a través de múltiples iteraciones de los pasos de análisis, diseño y verificación; ya que algunos errores sólo se encuentran tras aplicar un número determinado de transformaciones.
  - d. Transformación:** Consiste en proceder a ejecutar el flujo ETL para cargar y refrescar el repositorio de datos generado, o durante la respuesta a consultas, en los casos de multiplicidad de fuentes de origen.
  - e. Reflujo de datos limpios:** Una vez se han eliminado los errores de calidad, los datos “limpios” deben reemplazar a los que no lo están en las fuentes originales, para que las aplicaciones legado pueden beneficiarse también de ellos, evitando necesitar de la aplicación de limpieza de datos en el futuro. (logicalis, 2015)
- 5. Análisis de los datos:** Los datos que se procesan, organizan y limpian estarían listos para el análisis. Se disponen de varias técnicas de análisis de datos para comprender, interpretar y derivar conclusiones basadas en los requisitos.
- 6. Comunicación:** Los resultados del análisis de los datos deben presentarse en un formato tal como lo requieran los usuarios para apoyar sus decisiones y acciones futuras. La retroalimentación de los usuarios podría resultar en un análisis adicional. (marketing-analitico, 2017)

## 2.2 Bus Rapid Transit

*Bus Rapid Transit* (BRT) es un sistema de transporte público masivo basado en autobuses de alta calidad que ofrece servicios rápidos, cómodos, a menor costo y con la simplicidad de un sistema de autobuses. Todo lo anterior se logra por medio de los carriles exclusivos para autobuses, estaciones demarcadas, cobro anticipado y servicios rápidos y frecuentes. (Cervero, 2013)

Debido a que el sistema BRT tiene características similares al tren ligero o el sistema de metro, es mucho más confiable, conveniente y rápido que los sistemas regulares de autobús. Con las características correctas, BRT puede evitar las causas de la demora que generalmente disminuyen el servicio de los buses, como quedarse estancado en el tráfico y hacer filas para pagar el pasaje. (Cervero, 2013)

La tabla 1 muestra las diferencias entre los sistemas BRT de gama alta (cuentan con servicio completo) y los servicios de gama baja a servicio moderado, en términos de características operaciones. Los servicios de gama alta, como en Bogotá, Colombia y Guangzhou, China, ofrecen un servicio de calidad con características como: un sistema integrado de rutas y corredores; estaciones con calidad alta, verificación y pago anticipado; servicios frecuentes y rápidos; vehículos limpios y modernos, marketing; y servicio al cliente superior. BRT Lite ofrece algunas de las características mencionadas, pero no tienen un componente significativo de carriles segregados. En algunas instancias, estos sistemas pueden utilizar carriles para buses o incluso circular en carriles de tráfico mixto.

La característica principal que distingue los servicios de gama alta de los de gama baja es la presencia de carriles exclusivos o dedicados para la operación de los buses y estaciones cerradas con espacio para el abordaje de los pasajeros. Las estaciones del sistema deberían contar con un espacio para la recolección de los pagos antes de ingresar a los buses, permitiendo un abordaje más rápido, ordenado y por varias entradas, similar a los sistemas de tren urbano. Esto reduce

el tiempo de las paradas y permite tener un cronograma más predecible y por lo tanto un servicio más confiable.

*Tabla 1 - Diferencia entre servicios de gama alta y gama baja*

	<b>Servicio BRT gama alta / servicio completo</b>	<b>Servicio BRT gama baja / BRT Lite / Servicio moderado</b>
Carriles	Carriles exclusivos, líneas dedicadas de buses, algún grado de separación	Tráfico mixto
Estaciones	Centros de tránsito y sistemas de control de temperatura	Paradas, asientos, iluminación, e información de pasajeros
Servicio	Servicios frecuentes, servicios rápidos y límite de transferencia.	Servicio más tradicional.
Recolección de pagos	Recolección fuera de los buses, tarjetas inteligentes, varias puertas de abordaje.	Servicio de recolección tradicional.
Tecnología	Sistema de información de pasajeros, señales de tránsito preferenciales, sistemas de guía en los vehículos.	Aplicaciones con tecnología limitada.

Fuente: (Cervero, 2013)

Teniendo en cuenta la variedad de BRT existentes, el Centro Tecnológico de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial(C3T)<sup>4</sup> adopto la siguiente definición:

- BRT es un modo de transporte automotor que utiliza buses operando en *carriles con derecho de paso exclusivo*, con el objetivo de aumentar la velocidad comercial, mejorar la confiabilidad de los tiempos de operación y el confort del pasajero.
- Este sistema puede incorporar medidas tecnológicas y de infraestructura tendientes a maximizar la eficiencia de la operación y reducir la resistencia del pasajero a su utilización, como estaciones con plataformas a nivel, aire acondicionado, pago antes del abordaje, utilización de los Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS, por sus siglas en inglés) y el desarrollo comunicacional del sistema.
- El uso de los carriles exclusivos no necesariamente debe hacerse en la totalidad del recorrido de los buses, pudiendo admitirse que éstos circulen en tráfico mixto antes o después de su trayecto en el corredor BRT.
- La definición de carriles exclusivos admite la circulación de vehículos de emergencia (cuando se encuentran cumpliendo tal función), pero no de taxis u otros vehículos con alta ocupación que no sean los buses asignados al corredor BRT.
- Por último, un sistema BRT requiere la *publicidad suficiente como para distinguirlo de los sistemas de buses tradicionales* de manera de imponer la idea de que la política pública se está realizando de manera activa y lograr, en la medida de lo posible la aceptación general sobre el mismo. (Piccirillo, 2012)

---

<sup>4</sup> El C3T es un centro de estudios especializado en el transporte y sus temas conexos, dependiente de la Secretaría de Extensión Universitaria de la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina.

## 2.3 Características básicas del BRT

Esta sección muestra las características principales de un sistema BRT según *The BRT Standard*<sup>5</sup>, que son elementos críticos para distinguir al sistema de los autobuses tradicionales.

### 2.3.1 Alineación de carriles

El mejor lugar para colocar las vías de los autobuses es en donde puedan minimizarse los conflictos con otro tráfico vial, en especial por tener que dar vueltas en carriles de tráfico mixto. En la mayoría de los casos, los carriles centrales encuentran menos conflictos con otros vehículos que los carriles de las orillas, ya que estos últimos colindan con estacionamientos y otras calles, etc. Además, mientras los vehículos repartidores y los taxis requieren acceso a la acera, los carriles centrales suelen permanecer libres de este tipo de obstrucciones.

### 2.3.2 Carriles exclusivos y derecho de vía

Un carril exclusivo es fundamental para asegurar que los autobuses puedan desplazarse de manera rápida y sin interrupciones a través de los congestionamientos. El diseño físico es crucial para que se respeten dichos carriles. Los carriles exclusivos son imprescindibles en lugares donde hay mucho tráfico, donde también es más complicado quitar un carril al tráfico mixto para cederlo a los autobuses. La aplicación de los carriles exclusivos puede ser manejada de diferentes maneras y tener diversos grados de permeabilidad (por ejemplo, delimitadores, bolardos electrónicos, trampas para coches, pavimento de colores, y aplicaciones de cámaras). En algunos casos las estaciones de autobuses pueden actuar como una barrera.

Esta característica es muy importante para considerar la calidad de un sistema BRT, en la siguiente tabla se muestra la escala realizada por *The BRT Standar*.

---

<sup>5</sup> *The BRT Standard* se desarrolló con el fin de crear una definición común sobre qué es BRT, y para reconocer a los sistemas de alta calidad alrededor del mundo.

Tabla 2 – Tipos de carriles exclusivos y derecho de vía.

TIPOS DE CARRILES EXCLUSIVOS Y DERECHO DE VÍA	Puntos
Carriles exclusivos que se respetan completamente o con una separación física de los carriles en más del 90 % del total del corredor.	6
Carriles exclusivos que se respetan completamente o con una separación física de los carriles en más del 75 % del total del corredor	
Carriles exclusivos que sólo están delineados o coloreados en el pavimento sin otras medidas para garantizar que se respeten en más del 75% del total del corredor	
Carriles exclusivos que sólo están delineados o coloreados en el pavimento sin otras medidas para garantizar que se respeten en más del 40% del total del corredor	1

Fuente: (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, 2013)

### 2.3.3 Pago de pasaje anterior al abordaje

Pagar la tarifa antes de abordar y entrar a la plataforma es un elemento esencial para reducir el tiempo de viaje y aumentar la satisfacción del usuario. Hay dos acercamientos básicos al cobro de pasaje anterior al abordaje: “barrera de control”, en el cual los pasajeros pasan por una reja, sensor o torniquete al entrar a la estación en donde se revisa su pago o se les deduce la tarifa; el otro es el de “prueba de pago”, en el cual los usuarios pagan en un quiosco y se les otorga un comprobante que es revisado por inspectores a bordo del autobús. Ambos métodos reducen las demoras; sin embargo, es preferible el de barrera de control porque:

- Es más sencillo ligar distintas rutas utilizando la misma infraestructura de BRT

- Minimiza la evasión de pago, ya que cada pasajero debe registrar su pago al entrar al sistema, mientras que en prueba de pago las revisiones son aleatorias
- Prueba de pago puede causar ansiedad a pasajeros que hayan pagado, pero no encuentran rápidamente su boleto.
- *La información recolectada en barrera de control al momento del abordaje e incluso a veces del desembarque, puede utilizarse para planear mejor el sistema.*

#### **2.3.4 Manejo de intersecciones**

Hay varias maneras de incrementar la velocidad de los autobuses en las intersecciones, y todas buscan alargar el color verde de los semáforos para los carriles de los autobuses. Las medidas más importantes consisten en prohibir las vueltas que requieran atravesar el carril del autobús y evitar en la medida de lo posible que las rutas sean detenidas por muchos semáforos. La activación de los semáforos cuando se acerca un BRT es útil en los sistemas de baja frecuencia.

#### **2.3.5 Abordaje a nivel de plataforma**

Uno de los elementos más importantes para reducir los tiempos de abordaje y el descenso de pasaje es diseñar una plataforma que esté al nivel del piso del autobús. Si los pasajeros tienen que subir o bajar escalones —por más pequeños que éstos sean— puede haber grandes retrasos, en especial para la gente con discapacidades, los adultos mayores y quienes traen carriolas o maletas. Reducir los espacios entre la plataforma y el piso del autobús es fundamental para mejorar la seguridad y la comodidad del usuario. Existen diversas medidas que ayudan a conseguir un espacio menor a 5 centímetros (2 pulgadas), incluyendo carriles guiados en las estaciones, marcas de alineación, bordillos Kassel y puentes de abordaje. La calificación no beneficia a ninguna de estas medidas en particular, sino que se enfoca simplemente en que el espacio sea mínimo.

## 2.4 Características secundarias del BRT

### 2.4.1 Planeación del servicio

Tener rutas múltiples en un mismo corredor reduce los tiempos de viaje de puerta a puerta, ya que elimina las pérdidas de tiempo al hacer transferencias. Esto puede incluir:

- Rutas que operan en múltiples corredores, como el Transmilenio en Bogotá o el Metrobús en la Ciudad de México.
- Rutas múltiples operando en un mismo corredor que van a diferentes destinos una vez que abandonan la línea troncal, como los sistemas BRT de Cantón, Cali y Johannesburgo.

Una buena forma de medir la calidad del servicio y el diseño del corredor es qué tan seguido pasa un autobús durante las **horas pico** y de gran tráfico. Una mayor frecuencia puede significar una mayor capacidad de pasaje, aunque este criterio de calificación se ha diseñado de manera que permita también a los sistemas de menor demanda obtener algunos puntos en el rubro. Por otra parte, para que el sistema BRT pueda competir con modos alternativos de transporte — como el automóvil privado— es necesario que el usuario tenga la seguridad de que la espera por el próximo autobús será corta. (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, 2013)

Al igual que en la hora pico, el número de autobuses que transita durante las **horas no pico** es una buena medida para conocer la calidad del servicio y el diseño del corredor.

También se deben incluir centros de control en los sistemas BRT para ofrecer mejoras en el servicio, como evitar congestionamiento entre los autobuses, monitorear las operaciones de las unidades, identificar problemas y responder a ellos de manera oportuna y adecuada. Un centro de control integral monitorea cada unidad con un GPS (o tecnología similar) y puede:

- Responder a incidentes en tiempo real.
- Controlar el espacio entre los autobuses.

- Determinar y responder al estatus de mantenimiento de cada unidad en la flota
- Registrar ascensos y descensos del pasaje para ajustar los servicios.
- Utilizar Envíos Asistidos por Computadora (CAD, Computer-Aided Dispatch) /Localización Automática de Vehículos (AVL) para monitorear cada unidad y su desempeño.

Un centro de control completo debe estar integrado con el sistema existente de transporte público y con el sistema de señales de tránsito.

Algunos de los componentes adicionales para la planeación del servicio son:

- Un servicio de transporte viable debe estar disponible para los usuarios el mayor número de horas diarias y semanales posibles; de otra manera, los pasajeros pueden quedarse varados y optar por otros medios de transporte.
- Construir la mejor infraestructura BRT en los segmentos de mayor demanda garantiza que un mayor número de usuarios se beneficie con las mejoras.
- Un sistema BRT debe incluir múltiples corredores que se conecten y formen una red, ya que esto amplía las opciones de viaje de los pasajeros y hace que el sistema sea más viable.

#### **2.4.2 Infraestructura**

Para medir la infraestructura del sistema se debe tener cuenta las siguientes características:

- *Los carriles de rebase en las estaciones* son esenciales para poder implementar servicios exprés y locales. Además, estos carriles permiten incrementar el número de autobuses sin saturar los corredores.
- *Las estaciones deben estar localizadas cuando menos a 40 metros de las intersecciones* para evitar retrasos, ya que si están justo después de éstas se pueden bloquear las intersecciones o pueden impedir el paso si los pasajeros están tardando mucho en abordar o en descender.

- *Tener una sola estación que dé servicio a ambas direcciones* del sistema BRT hace que las transferencias entre direcciones sean más fáciles y convenientes, algo que se vuelve más importante conforme la red va creciendo. (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, 2013)

### **2.4.3 diseño de la estación e interfaz de la estación-autobús**

Para medir el diseño de las estaciones del sistema BRT se debe tener en cuenta las siguientes características:

- En un área de construcción densa, *la distancia óptima entre las estaciones es aproximadamente de 450 metros (1,476 pies)*. Las estaciones más lejanas obligan al usuario a utilizar más tiempo para caminar, lo que disminuye la eficiencia en el tiempo ahorrado por utilizar el autobús; mientras que las estaciones más cercanas reducen las velocidades de los autobuses, por lo que el usuario pierde tiempo con las paradas (mismo que se ahorra caminando las distancias más cortas). Para tener un espaciado consistente y óptimo, las estaciones no deben estar a más de 0.8 km (0.5 millas) o menos de 0.3 km (0.2 millas) entre ellas.
- Una de las mayores diferencias entre un sistema BRT y uno de autobús normal es un *ambiente seguro y cómodo*. Las estaciones deben tener un ancho interior de cuando menos 3 metros. Además, deben proteger del clima (sombra, viento, lluvia, nieve, calor, frío) específico del lugar donde son instaladas. Para mantener el pasaje es necesario que las estaciones estén bien iluminadas, que sean transparentes y que tengan seguridad (guardias o cámaras). También es importante crear estaciones atractivas para proyectar una buena imagen del sistema.
- *La velocidad del abordaje* y el descenso depende en parte del número de puertas del autobús.
- Las puertas corredizas en las paradas en el interior de la estación mejoran el ambiente de esta, reducen el riesgo de accidentes y evitan que alguna persona

entre a la estación por lugares no autorizados. (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, 2013)

#### **2.4.4 Calidad de servicio y los sistemas de información**

Para medir la calidad de servicio del sistema BRT se debe tener en cuenta las siguientes características:

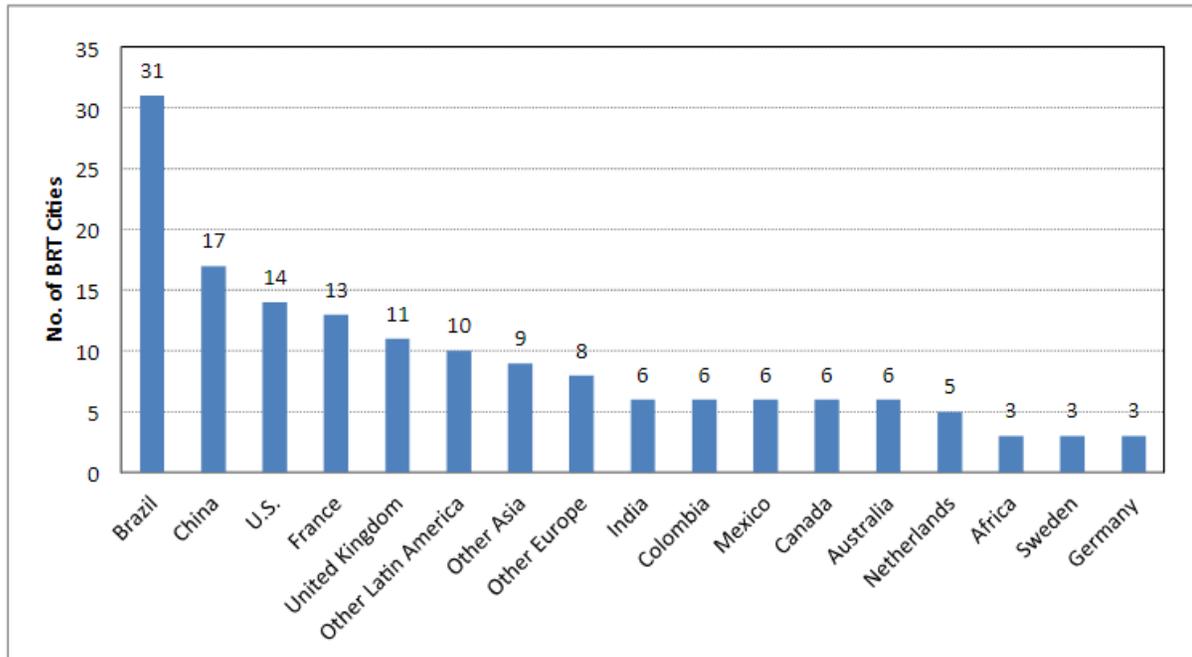
- Numerosos estudios han mostrado que la satisfacción de los usuarios se liga al conocimiento sobre cuándo llegará el próximo autobús. *Mantener informados a los pasajeros* es fundamental para proveer una experiencia positiva.
- *Un sistema BRT debe ser accesible para todos aquellos con necesidades especiales*, incluyendo a los que tienen impedimentos visuales, auditivos y/o físicos, y también para quienes tienen incapacidades temporales, los adultos mayores, niños, padres con carriolas y personas con otros tipos de carga.
- El sistema BRT deberá integrarse con el resto de la red del transporte público.

### **2.5 Crecimiento del BRT**

El sistema BRT se están volviendo populares a nivel mundial como una alternativa rentable a las inversiones ferroviarias urbanas mucho más caras. Los sistemas de alta calidad basados en autobuses también sirven para mejorar los patrones de asentamiento de baja densidad de muchos mercados suburbanos y ciudades de tamaño pequeño o mediano, debido a las ventajas inherentes de flexibilidad de los sistemas de neumáticos de goma: el mismo vehículo que brinda transporte rápido en un carril de autobús dedicado o vía de autobús pueden transformarse en un vehículo alimentador, recolectar y distribuir personas en las calles locales.

Hasta el 2013, más de 150 ciudades han implementado alguna forma del sistema BRT, transportando alrededor de 28 millones de pasajeros cada día. Latinoamérica es el epicentro de este sistema. (BRDATA, 2019)

Ilustración 1 - Número de ciudades con sistema BRT, por región, 2013



Fuente: (Cervero, 2013)

El crecimiento de este sistema de transporte es evidente, ya que hasta el año 2019, 172 ciudades han optado por implementar un sistema BRT transportando alrededor de 34 millones de personas aproximadamente, mostrándonos nuevamente que América Latina es el epicentro de este sistema de transporte con 55 ciudades.

Ilustración 2 - Indicadores principales por región al 2019

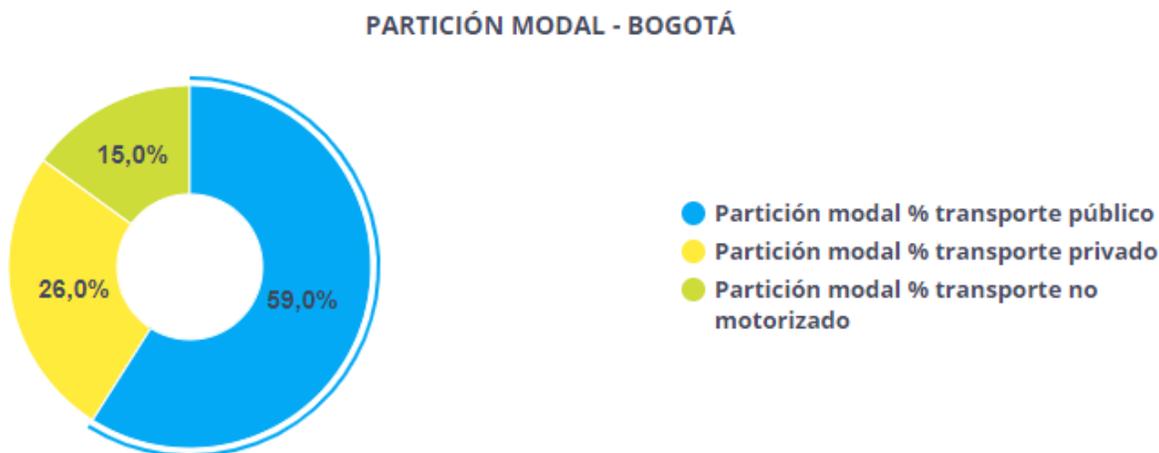
Regiones	Pasajeros por Día	Números de Ciudades	Longitud (km)
África	491.578 (1.45%)	5 (2.9%)	131 (2.54%)
América del Norte	912.598 (2.69%)	19 (11.04%)	588 (11.38%)
América Latina	20.939.780 (61.83%)	55 (31.97%)	1.835 (35.53%)
Asia	9.471.593 (27.96%)	44 (25.58%)	1.624 (31.46%)
Europa	1.613.580 (4.76%)	44 (25.58%)	875 (16.95%)
Oceania	436.200 (1.28%)	5 (2.9%)	109 (2.11%)

Fuente: (BRDATA, 2019)

## 2.6 BRT en Bogotá

Bogotá cuenta con más de 100 km en Transmilenio y es reconocido como el estándar de oro en BRT. Delegaciones de funcionarios y dignatarios de todo el mundo visitan Bogotá para maravillarse con el sistema. Operando en una calzada dedicada de dos carriles, Transmilenio transporta más de 40,000 pasajeros por hora por dirección, lo que coincide con el rendimiento de pasajeros de la mayoría de los metros. El sistema también cuenta con estaciones mejoradas (accesibles por redes de skyways), colección de tarifas basada en tarjetas inteligentes, sistemas de control avanzado, imágenes distintivas y tarifas asequibles. El patrocinio de Transmilenio está creciendo a un ritmo saludable de alrededor del 10 por ciento anual, de 800,000 pasajeros diarios cuando se inauguró en 2001 a alrededor de 1,7 millones en el año 2013, lo que representa el 74 por ciento de los viajes de transporte público en la ciudad. La política financiera ha jugado un papel en el éxito de Transmilenio. En el 2000, se aplicó un recargo del 20 por ciento a todas las ventas de gasolina en Bogotá, con la mitad de los ingresos destinados a la infraestructura de Transmilenio. Como una subvención cruzada del 19 por ciento de la población de Bogotá que era propietaria de automóviles para los dependientes del tránsito, la política promovió la sostenibilidad social y ambiental. (Cervero, 2013).

*Ilustración 3 - Transporte utilizado por los bogotanos*



Fuente: (BRDATA, 2019)

La ciudad se ha iniciado el sistema en el año 2000 y en el 2019 cuenta con 11 corredores prioritarios de bus con 113 kilómetros y beneficiando 2.192.009 pasajeros cada día. La velocidad de funcionamiento promedio del sistema es 25,19 km/h. (BRDATA, 2019)

## **2.7 Eficiencia del BRT e indicadores para su evaluación**

En una perspectiva de largo plazo, la eficiencia implica la maximización del beneficio y la minimización del coste. En el corto plazo, los productores eficientes pueden obtener beneficios extraordinarios cuando el precio del producto es mayor que su coste medio (Arzubi & Berbel, 2020).

La eficiencia se logra si se alcanza el coste mínimo de obtener un nivel dado de producción o servicio, con una combinación dada de factores de producción (orientación input). Una definición alternativa sería el logro del máximo producto o servicio con un coste dado originado por una combinación específica de factores (orientación output). (Sancho, 2003)

Existen diversos estudios que realizan mediciones de eficiencia en los sistemas de transporte público, la mayoría de estos tienen como objetivos:

- Desarrollar métricas clave de rendimiento para evaluar el sistema.
- Comparar el rendimiento de los diferentes sistemas de transito masivo.
- Identificar que hace más eficientes unos sistemas de transporte sobre otros.
- Identificar las mejores prácticas basado en los factores de éxito comunes.
- Recomendar directrices prácticas que puedan ayudar a mejorar el servicio del sistema de transporte con límite de gastos.

En general, los autores coinciden en que existen dos tipos de KPIs (Key performance indicator<sup>6</sup>) los de entrada (INPUT) y los de salida (OUTPUT). Los indicadores de entrada usualmente son usados para medir los recursos invertidos o utilizados para generar resultados de **rendimiento**; Por otra parte, los indicadores de salida son usados para medir los aspectos financieros y no financieros que son resultado de las actividades en la organización. (Min, 2017)

Es importante aclarar que en la práctica, la calidad que percibe un usuario del transporte público es global y que “Cada usuario establece sus propias conexiones psicológicas entre las diferentes características del servicio” y “la manera con la que los pasajeros perciben el servicio depende de sus experiencias previas con el servicio, de la información que reciben del servicio (tanto la que le proporciona el operador del servicio, como información procedente de otras fuentes) de su entorno personal, etc. En consecuencia, la percepción de la calidad es bastante subjetiva (es la imagen mental que el pasajero se forma del servicio en base a las sensaciones, las necesidades, las motivaciones y la experiencia previa” (DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE POR CARRETERA) Por lo tanto, su percepción no corresponderá exactamente a la sumatoria de una lista de aspectos específicos de la calidad del servicio.

Basado en los indicadores de rendimiento propuesto por el Departamento de transporte de Florida(<https://www.fdot.gov/>) y *Mineta National Transit Research Consortium* que proponen un conjunto de KPIs que representan la eficiencia económica del pasajero, la carga y la utilización de los vehículos, la disponibilidad del servicio y la cobertura; se tienen los siguientes KPIs:

#### **KPIs de entrada:**

- *Costo total de operación:* reparación de vehículos y costo de mantenimiento, gastos generales de administración.
- *Fondos totales.*

---

<sup>6</sup> Se definen como Indicadores Claves de Desempeño aquellos indicadores que cuantifican el comportamiento de un proceso específico, dándole importancia al “cómo” y mostrando que tan efectivos resultan los procesos con el fin de alcanzar los objetivos fijados por el sistema. También se dice que los KPI son métricas financieras o visión cuantitativa utilizada para cuantificar los objetivos que muestran el rendimiento en un sistema y que por lo general se plantean a partir de su plan estratégico, permitiendo a los ejecutivos de las compañías comuniquen cada uno de los elementos del plan a todos los niveles jerárquicos.

- *Viajes de pasajeros no vinculados*: se refiere al número de veces que los pasajeros usan el transporte público, también representa la frecuencia de uso por pasajero y el número de veces que los vehículos de tránsito son usados por pasajeros.
- *Millas por pasajero*: la distancia recorrida por todos los pasajeros usando el servicio de transporte.

### **KPIs de salida:**

Los KPI de salida representan principalmente los ingresos de tránsito, que incluyen los ingresos por tarifas ganadas, millas de ingresos por vehículo y horas de ingresos de los vehículos que influyen significativamente en la eficiencia operacional de los sistemas de transporte público. Los detalles de estos KPI de salida se describen a continuación:

- *Ingresos por tarifa ganada*: Estos ingresos incluyen todos los ingresos recibidos directamente de los pasajeros, pagados ya sea en efectivo o mediante boletos prepagos, pases, etc.
- *Millas de ingreso por vehículo*: la frecuencia de uso de los vehículos es un camino para evaluar la eficiencia de un sistema de tránsito.
- *Horas de ingreso por vehículo*: Horas totales de viaje del vehículo.

Para realizar una medición precisa se deben tener en cuenta factores externos como:

- *Tamaño geográfico*: El tamaño del área de un servicio de tránsito puede potencialmente mejorar la eficiencia del tránsito.
- *Densidad de la población en millas cuadradas del área del servicio*: El sistema es más eficiente si existe una gran cantidad de población concentrada en un área compacta, ya que la distancia que tiene que recorrer los vehículos del sistema es más corta.
- *Nivel de pobreza*.

## 2.7.1 Ciclo de calidad del servicio

El concepto de ciclo de calidad del servicio se define bajo cuatro puntos de vista:

- A. Calidad del servicio esperada.
- B. Calidad del servicio objetivo.
- C. Calidad del servicio producida.
- D. Calidad del servicio percibida

Las variaciones que haya entre estos cuatro elementos constituyen herramientas de medidas para algunos indicadores. Por ejemplo, la desviación entre la “calidad esperada” y la “calidad percibida” puede ser tomada como el grado de satisfacción del usuario del transporte público.

- **Calidad Esperada:** Es el nivel de calidad anticipado por el cliente y puede ser definido en términos de previsiones explícitas e implícitas.
- **Calidad Objetivo:** Es el nivel de calidad que el titular y el operador del servicio tienen por objeto proporcionar a los clientes.
- **Calidad Objetivo:** Es el nivel de calidad que el titular y el operador del servicio tienen por objeto proporcionar a los clientes. **Calidad producida/entregada:** es el nivel de calidad alcanzado (conseguido) en las operaciones diarias en condiciones operacionales normales, definido por su impacto en los clientes (indicadores en % de pasajeros afectados). Las interrupciones del servicio, aunque no sean imputables al operador, también son tomadas en consideración. Depende de la eficacia (la capacidad para alcanzar los objetivos propuestos) de titulares y operadores.

**Calidad percibida:** es el nivel de calidad percibido por los pasajeros durante el trayecto. La manera con la que los pasajeros perciben el servicio depende de sus experiencias previas con el servicio o con otros servicios, de la información que reciben del servicio (tanto la que le proporciona el operador del servicio, como información procedente de otras fuentes) de su entorno personal, etc. En consecuencia, la calidad percibida es bastante subjetiva (es la imagen mental que el pasajero se forma del servicio en base a las sensaciones, las necesidades, las motivaciones y la experiencia previa).

### 2.7.2 Norma europea UNE - EN 13816: Ciclo de la Calidad de Servicio (CCS)

Esta norma define en forma específica varios ítems componentes de la infraestructura que se requiere evaluar en el control de calidad de los sistemas de Transporte Público y refiere criterios generales para lo mismo. La norma UNE-EN 13816 citada considera que la evaluación del servicio se hace por medio del Ciclo de la Calidad del Servicio (CCS), donde considera criterios de calidad objetivos respecto del servicio prestado (recorrido, horario y frecuencia), *accesibilidad, información, tiempo, atención al cliente, confort, seguridad e impacto ambiental.* (DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE POR CARRETERA)

Como término condicionante importante para calcular la calidad en la prestación del servicio, se debe tener presente el adecuado cumplimiento de la gestión de la calidad a partir de la obligación que la autoridad y el proveedor son igualmente responsables de las expectativas de los clientes. La calidad debe ser medible y considerada como medida correctiva ante la necesidad de mejorar ciertos estándares. Por esto se deben evaluar las percepciones de los usuarios, buscando reducir las desviaciones entre la calidad producida y percibida, y entre la calidad esperada y la calidad percibida. Según la Norma EN 13816, abarcan los 8 ámbitos previstos según la siguiente tabla:

Tabla 3 - ítems de infraestructura UNE - EN – 13186

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1. Servicio Ofertado	1. 1 Modos de transporte 1.2. Red 1.3. Explotación 1.4 Adecuación a las necesidades 1.5 Fiabilidad del servicio	Distancia punto de partida y llegada. Necesidad de correspondencia. Cobertura. Horario. Frecuencia. Grado de ocupación.

2.	Accesibilidad	2.1 Accesibilidad externa 2.2 Accesibilidad interna	Para peatones. Para ciclistas. Para usuarios de taxi Para automovilistas Entradas/ salidas Desplazamientos internos
		2.3 compra venta de boletos	Dentro de la red Fuera de la red Validación
3.	Información	3.1 Información General 3.2 Relativa al viaje normal 3.3 relativa al viaje anormal	Sobre el servicio ofertado La accesibilidad Las fuentes de información La duración del viaje La atención al cliente El confort La seguridad El impacto ambiental Señalización exterior Identificación de paradas Señalización de destinos Sobre las rutas Sobre la duración del viaje Sobre la tarifa de los boletos Sobre los tipos de boletos Sobre el estado actual/previsto de la red
			Alternativas disponibles El reembolso/compensación Gestión de sugerencias y reclamos Objetos perdidos
4.	Duración	4.1 duración del viaje 4.2 cumplimiento en horarios/ frecuencias	Planificación del viaje Subidas/ bajadas En paradas y puntos de correspondencia En el vehículo Puntualidad Regularidad

<p>5. Atención al pasajero</p>	<p>5.1 compromiso 5.2 relación con los clientes 5.3 Personal 5.4 asistencia 5.5 adquisición de boletos</p>	<p>Orientación al pasajero Iniciativas Consultas Reclamaciones Indemnizaciones Disponibilidad Actitud comercial Competencias Apariencia En la interrupción del servicio Cuando el usuario necesita ayuda Flexibilidad Tarifas especiales Tarifas multimodales Medios de pago Conceptos sobre el precio del viaje</p>
<p>6. Confort</p>	<p>6.1 funcionamiento del equipamiento de los pasajeros 6.2 asientos y espacio para los pasajeros 6.3 confort del viaje 6.4 condiciones ambientales 6.5 instalaciones complementarias 6.6 ergonomía</p>	<p>En las paradas En los vehículos En los vehículos En las paradas Conducción Arranque/ parada Factores externos Calidad del aire Protección contra la intemperie Limpieza Luminosidad Congestión Ruido Otras actividades molestas Lavabos Consignas de maletas y objetos Servicio de telecomunicaciones Servicio de restauración Comercios entretenimiento</p>
<p>7. Seguridad</p>	<p>7.1 protección contra agresores</p>	<p>Prevención Iluminación</p>

	<p>7.2 prevención de accidentes</p> <p>7.3 gestión de emergencias</p>	<p>Cámaras de seguridad</p> <p>Personal de seguridad</p> <p>Puntos de asistencia identificados</p> <p>Presencia/visibilidad de dispositivos de</p> <p>Prevención/avisó del peligro</p> <p>Protección activa de las personas</p> <p>Dispositivos y señalización</p> <p>Información a los pasajeros</p>
<p>8. Impacto ambiental</p>	<p>8.1 Contaminación</p> <p>8.2 recursos naturales</p> <p>8.3 infraestructura</p>	<p>Gases</p> <p>Ruido</p> <p>Contaminación visual</p> <p>Vibración Polvo y suciedad</p> <p>Olores Residuos</p> <p>Interferencias electromagnéticas</p> <p>Consumo de energía</p> <p>Consumo de espacio</p> <p>Efecto de las vibraciones Desgaste de carreteras</p> <p>Utilización mínima de recursos</p>

Fuente: (DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE POR CARRETERA)

### 3 Modelo de medición del BRT

En esta sección se describirá el modelo de indicadores de eficiencia seleccionado, posteriormente se dará una definición de eficiencia, el modelo de extracción y procesamiento de datos y el proceso asociado a este modelo.

#### 3.1 Modelo de indicadores de eficiencia

Teniendo en cuenta las diferentes definiciones de eficiencia encontradas en la revisión de la literatura podemos concluir que en este trabajo la eficiencia del BRT es la capacidad que tiene el sistema de relacionar los diferentes factores de demanda (tales como viajes realizados, estaciones recorridas) y oferta (tales como los buses programados, kilómetros recorridos) para alcanzar las metas propuestas.

Encontramos diversas métricas de medición de la eficiencia en los sistemas de transporte masivo. A continuación, se muestran los indicadores seleccionados para realizar la medición en el BRT:

*Tabla 4 - Indicadores de eficiencia BRT*

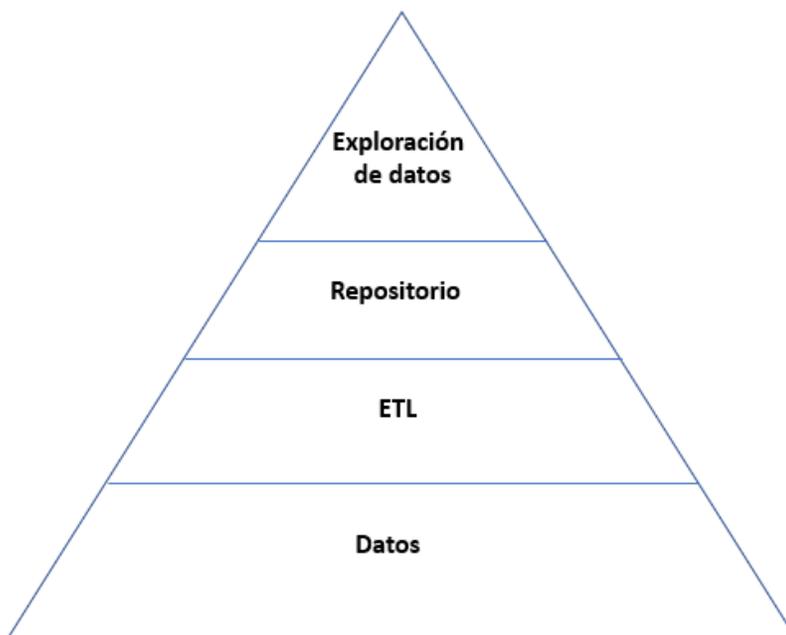
Indicador	Observaciones	Variables
Costo total de operación	Se refiere al análisis de costos tales como reparación de vehículos y mantenimiento, gastos generales de administración. En el texto se especifica que se debe excluir los intereses gastados.	
Viajes por pasajero	Se refiere al número de veces que los pasajeros usan el transporte público. Representa la frecuencia de uso por pasajero, Cuantas veces los vehículos de tránsito son usados por pasajeros.	Viajes por pasajero, Fecha de uso del sistema
Millas por pasajero	Se refiere a la distancia recorrida por todos los pasajeros usando el servicio de transporte.	Distancia recorrida por viaje, fecha de

		uso del sistema
Ingresos por pasaje	Se refiere a los ingresos netos	Ingresos netos del sistema
Millas de ingreso por vehículo	la frecuencia de uso de los vehículos es un camino para evaluar la eficiencia de un sistema de tránsito.	Millas recorridas por bus.
Horas de ingreso por vehículo	Horas totales de viaje del vehículo	Horas de uso del bus.
Tiempo de viaje de los pasajeros	Se refiere al tiempo de viaje de cada pasajero, teniendo en cuenta los tiempos de espera y si necesita más de un transporte	Tiempo de viaje por pasajero, fecha de uso del sistema, tiempo de espera en las estaciones
Tiempo de espera por pasajero	Tiempo promedio que los pasajeros deben esperar para tomar el transporte	Tiempo de espera en las estaciones.
Número de pasajeros.	Número de pasajeros que se transportan en una unidad de tiempo determinada.	Número de pasajeros transportados (la unidad de tiempo es dada), fecha de uso del sistema
Número de vehículos	Número de vehículos BRT que se encuentran operando en una unidad de tiempo determinada.	Número de vehículos en uso, fecha de uso del sistema.

## 3.2 Modelo de extracción y procesamiento de datos

Este modelo nos sirve como punto de partida para realizar la medición de eficiencia ya que empieza desde los datos crudos hasta el análisis final de datos; nos basamos en la técnica de análisis de información de inteligencia de negocios, la cual contempla:

*Ilustración 4 – Modelo de extracción y procesamiento de datos*



### 3.2.1 Datos

Se deben elegir los datos relevantes para lograr la medición de los indicadores escogidos, revisar donde se pueden encontrar y en que formato se encuentran.

La información que se seleccione en este paso debe cumplir con los siguientes datos como medida mínima:

- Para los datos de demanda se debe tener la fecha de la transacción, la estación y la línea o corredor.
- Para los datos de oferta se debe tener la fecha, los buses programados y los kilómetros recorridos.

En este paso es recomendable crear una tabla donde se evidencie los formatos de cada campo, debe tener como mínimo el nombre del campo y el formato (texto, fecha). Un ejemplo de este paso se puede ver en la tabla 6 *“Diccionario de datos dispositivos Transmilenio 2017-2019”*.

### **3.2.2 Extracción, transformación y Cargue (ETL)**

Acorde a los mecanismos de medición escogidos, se debe realizar las transformaciones requeridas, que pueden contemplar limpieza, completitud, precisión, duplicación, entre otras.

Se deben aplicar como mínimo las siguientes transformaciones:

- Eliminar los registros vacíos.
- Remover columnas innecesarias.
- Llevar los registros demanda y oferta a nivel de día, para poder hacer el análisis.
- Asociar datos de demanda y oferta.
- Realizar homologación de los datos, por ejemplo, algunos datos pueden venir con errores de digitación y deben ser tratados por igual (Americas = Américas), para este caso se debe seleccionar solo una de las opciones y actualizarla en los registros correspondientes.

### **3.2.3 Repositorio**

Se presenta el repositorio donde son almacenados los datos con las transformaciones realizadas.

Se debe seleccionar la herramienta de software adecuada para realizar el cargue en la base de información con los datos limpios; adicionalmente, se debe generar un diccionario de datos<sup>7</sup> para tener documentación de la estructura de los datos finales y poder realizar adiciones y correcciones fácilmente.

Este diccionario debe contener como mínimo el nombre del campo y el tipo de dato (Texto, Número, Fecha).

### **3.2.4 Roles**

Para este modelo es un único rol, con acceso a toda la visualización. Este podrá encontrar todos los análisis realizados para ayudar a la toma de decisiones de una manera fácil y con datos en tiempo real.

### **3.2.5 Explotación de los datos - Visualización**

De acuerdo con la herramienta de software y los indicadores seleccionados, se hace la conexión con los datos limpios para realizar diferentes visualizaciones que permitan apoyar a la toma de decisiones; Es importante pensar siempre en el usuario final de las visualizaciones para hacer las gráficas lo más entendibles.

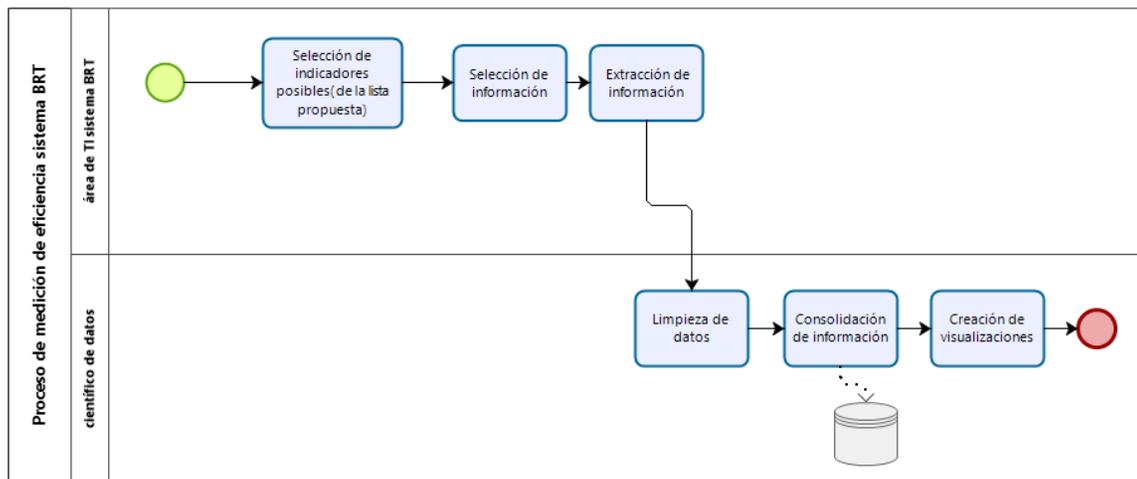
---

<sup>7</sup> Un diccionario de datos es un conjunto de definiciones que contiene las características lógicas y puntuales de los datos que se van a utilizar en el sistema que se programa, incluyendo nombre, descripción, alias, contenido y organización.

### 3.3 Proceso de medición de eficiencia

Como complemento al modelo de extracción y procesamiento de datos mostrada en la imagen anterior, creamos el proceso a seguir para obtener las mediciones de eficiencia; en este proceso podemos ver claramente los pasos necesarios para llegar al punto final que es la visualización de los indicadores.

Ilustración 5 - Proceso de medición de eficiencia sistema BRT



En el proceso anterior observamos dos actores involucrados que para facilidad del modelo pueden estar incluidos en la organización responsable del sistema BRT; además, tenemos 6 pasos secuenciales, que son:

1. *Selección de indicadores posibles:* En este paso se debe realizar la revisión de los indicadores de eficiencia (estos indicadores están listados en la sección 3.1) y seleccionar los indicadores que sean posibles medir con los datos generados por el sistema BRT específico.
2. *Selección de información:* En este paso se debe seleccionar la información relevante para generar los indicadores del paso anterior, además de encontrar la fuente donde se almacenan y el formato que poseen. En el numeral “3.2.1 Datos” se listaron los datos mínimos que se deben tener para realizar la medición.

3. *Extracción de información:* Este es uno de los puntos críticos del proceso, ya que debemos extraer la información de las diversas fuentes sin perder o mezclar la información que estamos extrayendo, ya que esto afectaría la precisión de las mediciones a realizar en futuros pasos, se debe seguir los siguientes pasos:
  - a. Identificar las diferentes fuentes (bases de datos, archivos Excel, etc.)
  - b. Identificar los formatos y realizar una tabla donde se evidencie los formatos de cada campo, debe tener como mínimo el nombre del campo y el formato (texto, fecha). Un ejemplo de este paso se puede ver en la tabla 6 “*Diccionario de datos dispositivos Transmilenio 2017-2019*”
  - c. En este paso se deben seleccionar las herramientas de software que nos van a ayudar a la extracción de los datos en las diversas fuentes.
4. *Limpieza de datos:* Es un proceso clave para cumplir con la precisión y completitud de la información, ya que se realizarán iteraciones de limpieza de datos para eliminar duplicados, completar la información, remover información no relevante, entre otros. Podemos visualizar un ejemplo de las diferentes medidas de limpieza de datos adoptadas para Transmilenio en la sección “4.2.1 Datos históricos Transmilenio 2017-2019”

Se deben aplicar como mínimo las transformaciones mencionadas en el numeral “3.2.2 *Extracción, transformación y Cargue (ETL)*”.

5. *Consolidación de información:* En este paso se toma como entrada los datos generados en el proceso anterior, y se almacenan en un único repositorio para poder realizar los análisis fácilmente.

Se debe seleccionar la herramienta de software adecuada para realizar el cargue en la base de información con los datos limpios.

6. *Creación de visualizaciones:* En este paso se realiza el análisis de los datos finales para generar los indicadores seleccionados de una manera gráfica, este es el punto que es más fácil de entender para las personas de negocio.

De acuerdo con la herramienta de software y los indicadores seleccionados, se hace la conexión con los datos limpios para realizar diferentes visualizaciones que permitan apoyar a la toma de decisiones.

Los pasos de extracción de información hasta la consolidación de esta (3 a 5), se pueden automatizar para ser tratados por herramientas automáticas que realicen estos procesos en un determinado tiempo, con el fin de tener la información actualizada en el repositorio final; Debemos tener en cuenta que la primera carga será la más importante y desafiante porque es necesario establecer las reglas para interactuar y modificar los datos.

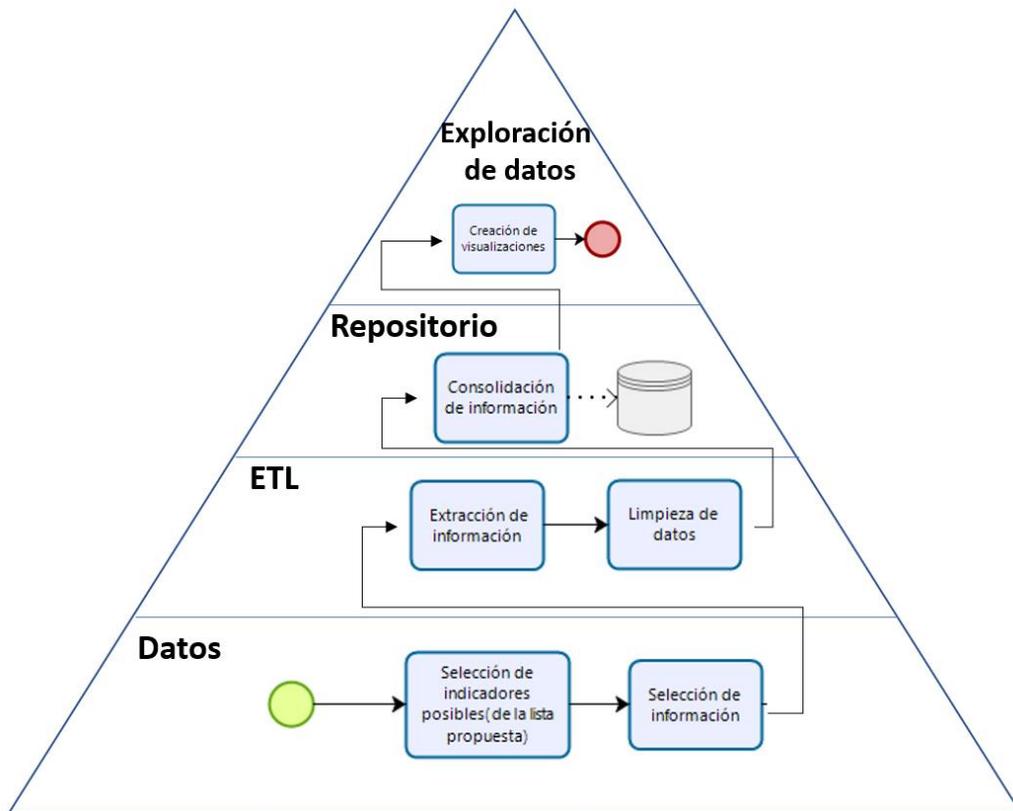
También podemos mejorar el tiempo de respuesta de estos procesos, realizando procesamiento en paralelo o utilizando infraestructura como servicio (IaaS<sup>8</sup>) para delegar la gestión de los elementos de infraestructura a un proveedor en la nube y garantizar la disponibilidad de la información.

---

<sup>8</sup> La infraestructura como servicio (IaaS), también conocida como servicios de infraestructura en la nube, es una modalidad del cloud computing por la que se prestan servicios de infraestructura al usuario mediante una nube, a través de Internet. El usuario maneja todas las aplicaciones, los datos, los sistemas operativos, el middleware y los tiempos de ejecución, pero deja que el proveedor se encargue de gestionar la virtualización, el almacenamiento, la red y los servidores. De esta manera, el usuario no necesita tener un centro de datos in site, ni se debe preocupar por actualizar o mantener físicamente estos elementos, ya que de eso se encarga el proveedor.

Como punto final, en la siguiente imagen, relacionamos la arquitectura general y el proceso para estar alineados cuando se implemente el modelo; podemos ver los pasos relacionados a cada peldaño y la secuencia que se debe tener para llegar a las visualizaciones de los indicadores de eficiencia.

*Ilustración 6 - Relación arquitectura general y proceso de medición de eficiencia*



## 4 Validación del modelo (Transmilenio)

### 4.1 Transmilenio

Para finales del siglo XX la situación de transporte en Bogotá era crítica. No existía un verdadero sistema de transporte público urbano que sirviera como alternativa al vehículo particular - lo cual incentivaba aún más su uso - y la ciudad registraba bajos niveles de competitividad a nivel latinoamericano y una insatisfactoria calidad de vida de la gran mayoría de sus habitantes.

Las administraciones de los alcaldes Andrés Pastrana (1988-1990) y Jaime Castro (1992-1994), además de la primera de Antanas Mockus (1995 - 1997), formularon propuestas para solucionar el problema de transporte público, con resultados limitados. Fue durante la alcaldía de este último cuando se habló insistentemente de la posibilidad de establecer un sistema de transporte masivo que contribuyera a remediar la problemática de la movilidad en Bogotá.

El alcalde Enrique Peñalosa (1998-2000) incluyó en su programa de gobierno, como proyecto prioritario, ofrecer a la ciudad una solución al problema del transporte público. En consecuencia, en la ejecución del plan de desarrollo Por la Bogotá que queremos en cuanto a movilidad y de manera concreta al proyecto del sistema de transporte masivo, se determinó la construcción de una infraestructura especial destinada de manera específica y exclusiva a su operación, a partir de corredores troncales especializados, dotados de carriles de uso único, estaciones, puentes, ciclorutas y plazoletas de acceso peatonal especial, diseñados para facilitar el uso del sistema a los usuarios. (Transmilenio S.A, 2020)

En consecuencia, y con base en los estudios efectuados durante la primera administración del alcalde Antanas Mockus por la Japan International Cooperation Agency (JICA), los cuales determinaron que el metro no era la opción más conveniente a corto plazo, pues sólo a quince o veinte años se necesitaría una línea y que su costo era diez veces mayor a la alternativa de buses articulados, se decidió, como la solución al problema del transporte público la implementación del sistema de transporte masivo BRT, que para la ciudad de Bogotá se llama **TransMilenio**.

TRANSMILENIO S.A. es el ente gestor del Sistema, la entidad encargada de coordinar los diferentes actores, planear, gestionar y controlar la prestación del servicio público de transporte masivo urbano de pasajeros, y tiene la responsabilidad de la prestación eficiente y permanente del servicio. Es así como

el 18 de diciembre de 2000, se inauguró la primera ruta que comenzó a operar con 14 buses entre las calles ochenta y sexta por la troncal de la Caracas. Durante este período se entregaron las troncales: Autonorte, Calle 80 y Caracas.

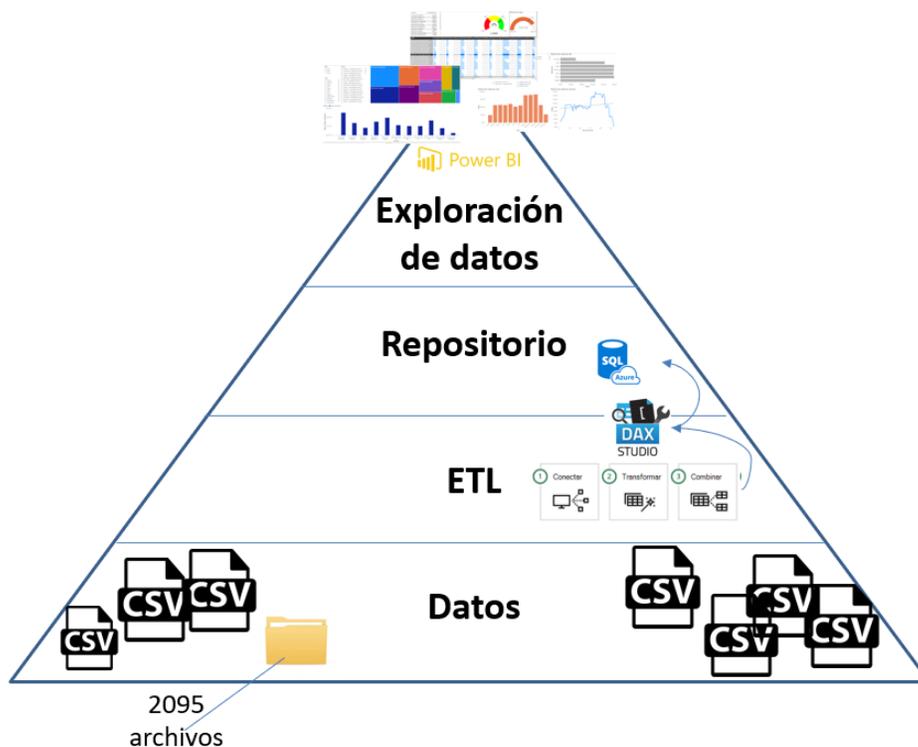
En el segundo período de administración del alcalde Antanas Mockus (2001-2003) incluyó en el plan de desarrollo Bogotá para vivir todos del mismo lado, la meta de disminuir en un 20% los tiempos de desplazamiento de las personas en la ciudad y los proyectos prioritarios fueron las tres nuevas troncales de transporte masivo: Américas, NQS y Avenida Suba.

Al 2014 el sistema contaba con 112.9 Kms de vía en troncal en operación, 11 troncales en operación, 134 estaciones, 9 portales y 9 patio garajes. Además, el Sistema tiene a su servicio 16 cicloparqueaderos con 3578 puestos en total. Espacios seguros, cómodos y de fácil acceso para todas las personas que utilizan la bicicleta como una alternativa formal de transporte para la movilidad diaria. (Transmilenio S.A, 2020)

## 4.2 Arquitectura de la solución

Para validar el modelo de medición de eficiencia propuesto, se tomó el sistema BRT de Bogotá Transmilenio. En la ilustración 7 podemos observar la arquitectura específica para este sistema:

Ilustración 7 - Arquitectura de la solución



En esta podemos ver los cuatro peldaños de la arquitectura:

1. **Datos:** En este paso se seleccionaron los indicadores (sección 3.1) y se seleccionó la información requerida para medirlos, esta se encuentra en los diccionarios de datos más adelante.
2. **ETL:** En este paso se realizó el proceso de extracción de datos a los 3000 archivos dados por Transmilenio de demanda, y el archivo de oferta relacionado a estos; luego de esto se realizó el proceso de limpieza de datos que se encuentra explicado en la sección "4.2.1 Datos históricos Transmilenio 2017-2019" utilizando Power Query para hacer este procesamiento.

3. *Repositorio*: Los datos consolidados en el paso anterior se almacenaron en la nube en Microsoft Azure utilizando Dax Studio para realizar el cargue masivo y garantizar la disponibilidad de estos cuando sean necesarios.
4. *Exploración de datos*: Luego de tener los datos disponibles en la nube se utilizó Power BI para realizar las visualizaciones de los indicadores seleccionados, estos reportes se actualizarán en tiempo real, cuando se agregue información a la base de datos y podrán ser visualizados en cualquier plataforma.

### 4.3 Indicadores Transmilenio

En la siguiente tabla se presentan los indicadores a medir para el sistema Transmilenio, estos indicadores fueron tomados de los previamente definidos en la sección 3.3; Además, se muestra una descripción del indicador y las variables a utilizar de nuestras fuentes de información.

*Tabla 5 - Indicadores de eficiencia a medir*

Indicador	Observaciones	Variables
Indicadores generales	Se refiere a los indicadores generales de cualquier sistema, como los kilómetros utilizados, la tarifa, demanda diaria, entre otros. Los cuales ayudaran a medir los otros indicadores.	Información general Transmilenio.
Número de viajes por día.	Número de viajes que se transportan en un día.	Número de viajes transportados en un día, fecha de uso del sistema

Número de viajes por día por línea.	Número de viajes que se transportan en un día en una línea específica.	Número de viajes transportados en un día, fecha de uso del sistema, línea utilizada.
Número de viajes por día por estación.	Número de viajes que se transportan en un día en una estación específica.	Número de viajes transportados en un día, fecha de uso del sistema, línea y estación utilizadas.
Índice de kilómetros por bus (IKB <sup>9</sup> )	Número de kilómetros esperado por bus en un periodo de tiempo dado.	Número de buses articulados y biarticulados, Distancia recorrida por día, fecha de uso del sistema
Índice de pasajeros por bus (IPB <sup>10</sup> )	Número de pasajeros esperados por bus en un periodo de tiempo dado.	Número de buses articulados y biarticulados, Distancia recorrida por día, Número de viajes transportados en un día, fecha de uso del sistema.

---

<sup>9</sup> IKB: Índice de kilómetros por bus

<sup>10</sup>IPB: Índice de pasajeros por bus

Índice de pasajeros por kilómetro (IPK <sup>11</sup> )	Número de pasajeros esperados por kilómetro en un periodo de tiempo dado.	Número de buses articulados y biarticulados, Distancia recorrida por día, Número de viajes transportados en un día, fecha de uso del sistema.
Kilómetros esperados por bus	Número de kilómetros esperados por buses articulados y biarticulados en un periodo de tiempo dado.	Número de buses articulados y biarticulados, Distancia recorrida por día, Número de viajes transportados en un día, fecha de uso del sistema.
Motivo de uso del sistema	Principal motivo para utilizar el sistema de transporte, este indicador nos sirve para visualizar la información recolectada en encuestas.	Motivo de viaje, número de personas, ubicación actual, ubicación origen.

---

<sup>11</sup> IPK: índice de pasajeros por kilometro

## 4.4 Bases de información Transmilenio

En esta sección se describirán las fuentes de información a utilizar para Transmilenio, junto con los diccionarios de datos de cada una, esto nos permitirá tener más claridad al momento de realizar las mediciones.

### 4.4.1 Datos históricos Transmilenio 2017-2019

Datos registrados por los dispositivos de pago en las estaciones de Transmilenio desde 2017 hasta 2019, dados por la empresa.

#### Diccionario de datos

*Tabla 6 – Diccionario de datos dispositivos Transmilenio 2017-2019*

Nombre columna	Tipo de dato	Observación
Fecha de Clearing	Fecha	Fecha de la transacción
Fecha de Transaccion	Texto/Fecha	Fecha y hora de la transacción, no se encuentra siempre en el mismo formato
Day Group Type	Texto	
Hora Pico SN	Texto	Si es hora pico o no (no se encuentra bien dividido)
Fase	Texto	no se encuentra para todos los archivos
Emisor	Texto	Emisor de la tarjeta de Transmilenio
Operador	Texto	operador de los buses (al parecer siempre es el mismo)
Línea	Texto	Línea en la cual se realizó la transacción
Estación	Texto	estación en la que se realizó la transacción
Acceso de Estación	Texto	acceso a la estación donde se utilizó la tarjeta
Dispositivo	Texto	dispositivo en el cual se realizó la transacción
Tipo de Tarjeta	Texto	tipo de tarjeta de Transmilenio utilizada
Nombre de Perfil	Texto	nombre de la tarjeta
Número de Tarjeta	Texto	número de la tarjeta utilizada
Tipo de Tarifa	Texto	tipo de tarifa utilizada (aún no se entiende cual tarifa es cual)
Saldo Previo a Transacción	Número	saldo anterior en la tarjeta
Valor	Número	valor de la transacción
Saldo Después de Transacción	Número	saldo posterior en la tarjeta

Tabla 7 – Diccionario de datos Transmilenio oferta 2017-2019

Nombre columna	Tipo de dato	Observación
Fecha	Fecha	Fecha del registro
buses programación Art	Número	Número de buses articulados programados
buses programación biArt	Número	Número de buses biarticulados programados
diaSemana	Texto	Día de la semana del viaje
distancia comercial art	Número	Distancia programada recorrida por los articulados
distancia comercial biart	Número	Distancia programada recorrida por los biarticulados
Tipo de día	Texto	día hábil, festivo o sábado
Kilómetros recorridos	Número	kilómetros totales recorridos en la fecha
IKB programación Art	Número	índice de kilómetros programados por bus articulado
IKB programación biArt	Número	índice de kilómetros programados por bus biarticulado
Operador	Texto	Operador de los buses

De los anteriores datos se tuvo que realizar un proceso ETL para lograr obtener la visualización deseada, donde se realizaron los siguientes pasos:

- Acumulación de los archivos .csv dados por Transmilenio lo cual nos da una carpeta con 2095 archivos con un peso de 335 GB.
- Carga inicial de los datos donde se encontró que algunos archivos tenían una columna más y venían en diferentes formatos, después de realizar este proceso obtuvimos una base de información de más de 1000 millones de registros.
- Proceso de limpieza de datos:
  - Eliminar registros vacíos.
  - Homologar datos iguales, por ejemplo, en algunos registros las tildes se cambiaban por caracteres especiales y para las visualizaciones se tomaban como datos diferentes (Portal Américas = Portal Américas).
  - Remover columnas innecesarias.

- Actualizar registros vacíos que se podían inferir.
- Agrupar las filas repetidas.
- Agrupar los datos de oferta por día y no por operador.
- Agregar datos de meta por día por Línea.
- Agregar nuevas columnas relevantes para realizar comparaciones, como el día de la semana, el mes del viaje.
- Asociar datos de oferta del día con los datos de transacciones por medio de una tabla intermedia.
- Realizar la exportación a una base de datos relacional (409843 registros)

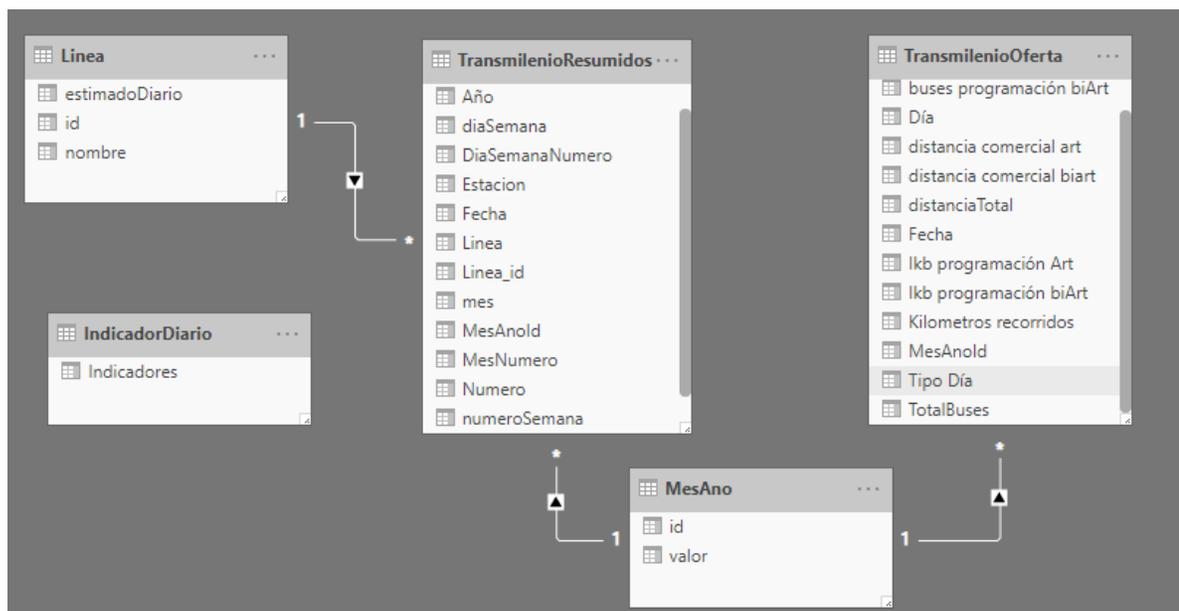
Luego de este proceso se tienen los siguientes campos:

*Tabla 8 - Diccionario de datos resumido Transmilenio 2017-2019*

<b>TransmilenioResumidos</b>		
<b>Nombre columna</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Observación</b>
Fecha de Clearing	Fecha	Fecha de la transacción
Línea	Texto	Línea en la cual se realizó la transacción
Estacion	Texto	estación en la que se realizó la transacción
Acceso de Estación	Texto	acceso a la estación donde se utilizó la tarjeta
Numero	Número	Número de viajes realizados
Mes	Texto	Mes del viaje
diaSemana	Texto	Día de la semana del viaje
Línea_Id	Número	Relación con la tabla de líneas
Tipo de día	Texto	día hábil, festivo o sábado
<b>Línea</b>		
<b>Nombre columna</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Observación</b>
Id	Número	Identificador de la línea
nombre	Texto	Nombre de la línea
estimadoDia	Número	estimado diario de viajes

IndicadorDiario		
Nombre columna	Tipo de dato	Observación
Indicador	Número	Número de viajes diarios estimados para todas las líneas
TransmilenioOferta		
Nombre columna	Tipo de dato	Observación
Fecha	Fecha	Fecha del registro
buses programación Art	Número	Número de buses articulados programados
buses programación biArt	Número	Número de buses biarticulados programados
diaSemana	Texto	Día de la semana del viaje
distancia comercial art	Número	Distancia programada recorrida por los articulados
distancia comercial biart	Número	Distancia programada recorrida por los biarticulados
Tipo de día	Texto	día hábil, festivo o sábado
Kilometros recorridos	Número	kilómetros totales recorridos en la fecha
IKB programación Art	Número	índice de kilómetros programados por bus articulado
IKB programación biArt	Número	índice de kilómetros programados por bus biarticulado

Ilustración 8 - Modelo base de datos Transmilenio resumida

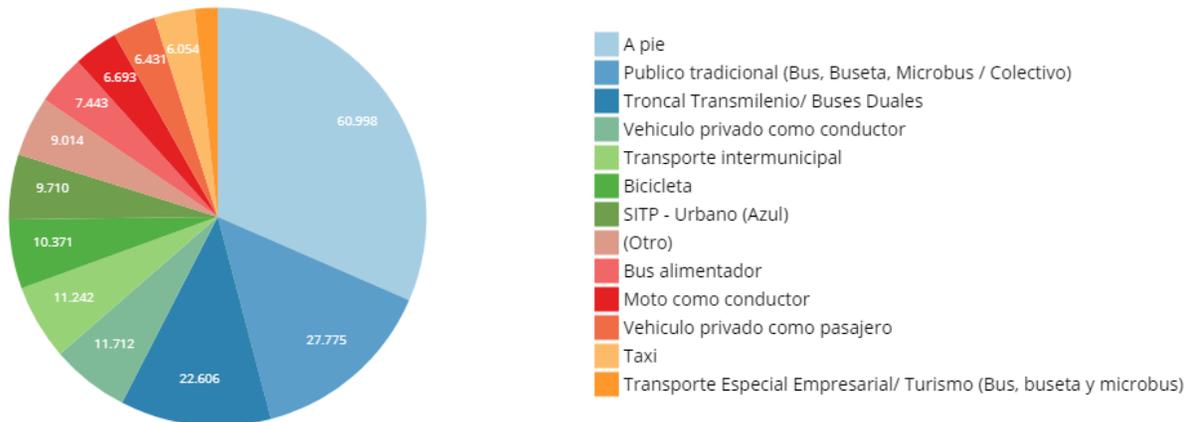


#### 4.4.2 Encuesta de movilidad de Bogotá 2015 – Caracterización Etapas – Origen/Destino

Dado, que una persona puede utilizar uno o varios medios para realizar un viaje, se presenta la cantidad estimada de veces que se utiliza un medio de transporte determinado en etapas y posterior la estimación de los viajes seleccionando el medio de transporte predominante. (Secretaría Distrital de Movilidad, 2015)

Este conjunto de datos contiene 193459 registros, cada registro contiene 30 variables diferentes, que nos permiten generar diversos indicadores, como lo es el medio de transporte usado por las personas:

*Ilustración 9 - Medio de transporte usado por los encuestados.*



## Diccionario de datos

Tabla 9 - Diccionario de datos caracterización etapas origen – destino

Nombre columna	Tipo de dato	Observación
ID_ENCUESTA	Numero	Identificador del encuestado (puede tener más de un registro, por varios viajes y por cada viaje puede tener varias etapas)
NUMERO_PERSONA	Numero	Número de personas que viajan juntas
NUMERO_VIAJE	Numero	Número de viaje relacionado con la columna ID_ENCUESTA
NUMERO_ETAPA	Numero	Número de etapa relacionada al campo NUMERO_VIAJE
MEDIOTRASPORTE	Texto	Medio de transporte usado
MUNICIPIO_ETAPA	Texto	Municipio de la etapa
DEPARTAMENTO_ETAPA	Texto	Departamento de la etapa
MINUTOS	Numero	Minutos del viaje
CUADRAS	Numero	Cuadras del viaje
MINUTO_ESPERA	Numero	Minutos de espera para tomar el transporte
COSTO_PASAJE	Numero	Costo del pasaje
PARADERO	Texto	Paradero donde se toma el transporte
RUTA	Texto	Nombre del bus o ruta a tomar
VEHICULO_HOGAR	Numero	
ESTACION_VEHICULO	Texto	

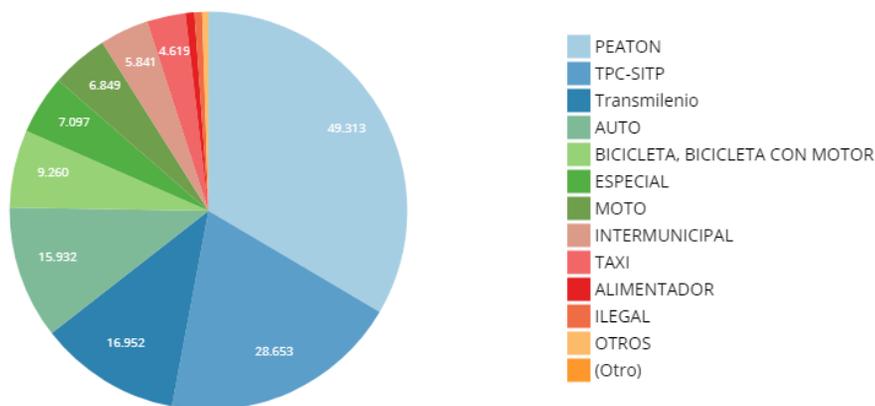
CUANTIA_PAGO	Numero	
MODALIDAD_PAGO	Numero	
DESCENSO	Texto	Donde termina el viaje
MUNICIPIO_DESCENSO	Texto	Municipio de finalización de la etapa
DEPARTAMENTO_DESCENSO	Texto	Departamento de finalización de la etapa
PONDERADOR_CALIBRADO	Numero	
FACTOR_AJUSTE	Numero	
ETAPAS	Numero	
IDET	Numero	
PI_K_I	Numero	
PI_K_II	Numero	
PI_K_III	Numero	
FE_TOTAL	Numero	
FACTOR_AJUSTE_TRANSMILENIO	Numero	
PONDERADOR_CALIBRADO_VIAJES	Numero	

#### **4.4.3 Encuesta de movilidad de Bogotá 2015 – Caracterización viajes – Origen/Destino**

Este conjunto de datos contiene los patrones de viaje en el área de estudio y su interacción en función de motivos de viaje y medios de transporte utilizados. Los que fueron tomados a partir de las condiciones de prestación del servicio de transporte y políticas de movilidad en Bogotá, que regían al momento de la realización de las encuestas de hogar entre marzo y agosto de 2015. (Secretaría Distrital de Movilidad, 2015)

Contiene 147251 registros, cada registro contiene 33 variables diferentes, que nos permiten generar diversos indicadores, como lo es los diferentes tipos de transporte usados por los encuestados:

Ilustración 10 - Tipos de transporte usado por los encuestados



## Diccionario de datos

Tabla 10 - Diccionario de datos caracterización viajes origen - destino

Nombre columna	Tipo de dato	Observación
ID_ENCUESTA	Numero	Identificador del encuestado (puede tener más de un registro, por varios viajes)
NUMERO_PERSONA	Numero	Número de personas que viajan juntas
NUMERO_VIAJE	Numero	Número de viaje relacionado con la columna ID_ENCUESTA
MOTIVOVIAJE	Texto	Motivo del viaje en los diferentes medios de transporte
MUNICIPIO_DESTINO	Texto	Bogotá, Soacha, Facatativá, Chía, Zipaquirá, Funza, otros.
DEPARTAMENTO_DESTINO	Texto	Bogotá, Cundinamarca, Otros.
TIEMPO_CAMINO	Numero	Tiempo de viaje (revisar en que unidad esta)
HORA_INICIO	Texto	Hora inicio del viaje

HORA_FIN	Texto	Hora fin del viaje
MEDIO_PREDOMINANTE	Texto	Tipo de transporte
ZAT_DESTINO	Numero	Zona de análisis del transporte origen
ZAT_ORIGEN	Numero	Zona de análisis del transporte origen
MUNICIPIO_ORIGEN	Texto	Bogotá, Soacha, Facatativá, Chía, Zipaquirá, Funza, otros.
DEPARTAMENTO_ORIGEN	Texto	Bogotá, Cundinamarca, Otros.
LATITUD_ORIGEN	Numero	Coordenada origen
LATITUD_DESTINO	Numero	Coordenada destino
LONGITUD_ORIGEN	Numero	Coordenada origen
LONGITUD_DESTINO	Numero	Coordenada destino
DIFERENCIA_HORAS	Texto	Diferencia en horas entre los campos HORA_INICIO y HORA_FIN
FACTOR_AJUSTE	Numero	
PONDERADOR_CALIBRADO	Numero	
DIA_HABIL	Texto	S:si
DIA_NOHABIL	Texto	S:si
PICO_HABIL	Texto	S:si
PICO_NOHABIL	Texto	S:si
VALLE_NOHABIL	Texto	S:si
VALLE_HABIL	Texto	S:si
PI_K_I	Numero	
PI_K_II	Numero	
PI_K_III	Numero	
FE_TOTAL	Numero	
FACTOR_AJUSTE_TRANSMILENIO	Numero	
PONDERADOR_CALIBRADO_VIAJES	Numero	

## 4.5 Explotación de datos

En esta sección se puede observar el análisis de los indicadores de eficiencia seleccionados utilizando las diferentes visualizaciones generadas; este análisis se encuentra separado por sección para agrupar indicadores relacionados, y cuenta con una explicación de los tableros para su posterior análisis.

### 4.5.1 Número de pasajeros

#### Tablero número de pasajeros

La visualización consta de 6 tableros:

- 1) El primer tablero muestra la totalidad de los indicadores propuestos, tiene como finalidad dar una vista general del estado del sistema entre 2017 y 2019.

*Ilustración 11 - Visualización de pantalla "Indicadores generales"*

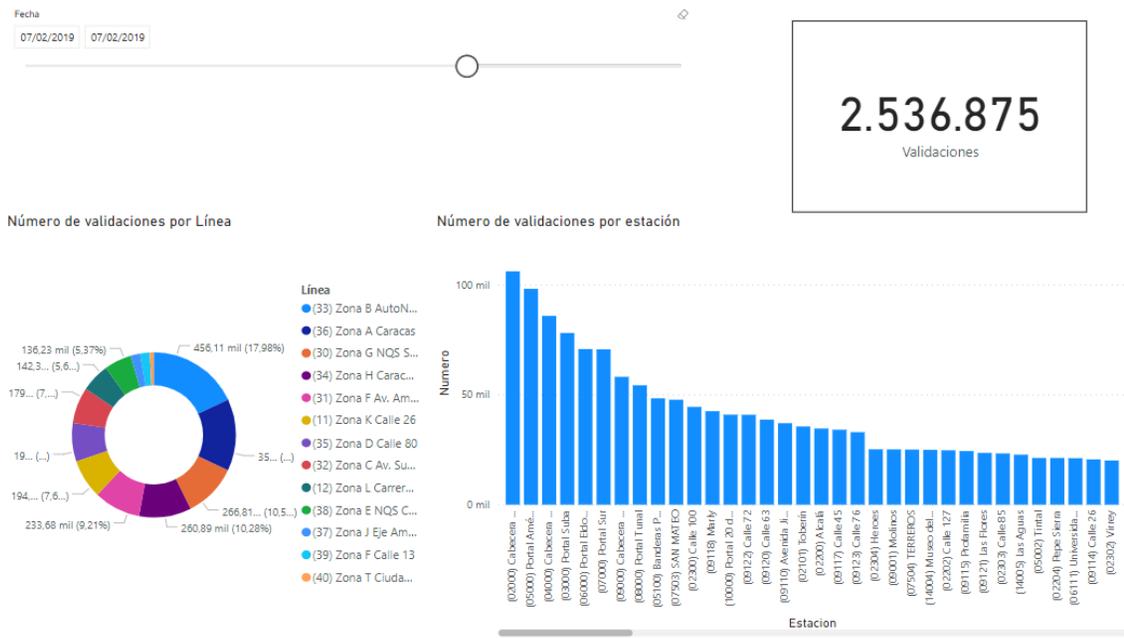


- a. Fecha: Filtro que nos permite evidenciar la situación del sistema en diferentes periodos de tiempo.

- b. Promedio validaciones: Nos permite evidenciar el número de validaciones realizadas en el periodo de tiempo seleccionado para los días hábiles, festivos y sábados.
- c. IPB: nos muestra el índice de pasajeros por bus en el periodo seleccionado.
- d. IKB: podemos ver el índice de kilómetros por bus articulado y biarticulado o dual.
- e. IPK: nos muestra el índice de personas por kilómetro estimado.
- f. Km recorridos: nos muestra los kilómetros promedio recorridos por los buses para los días hábiles, festivos y sábados.
- g. Promedio de buses: nos muestra el promedio de buses en operación para el periodo de tiempo seleccionado.

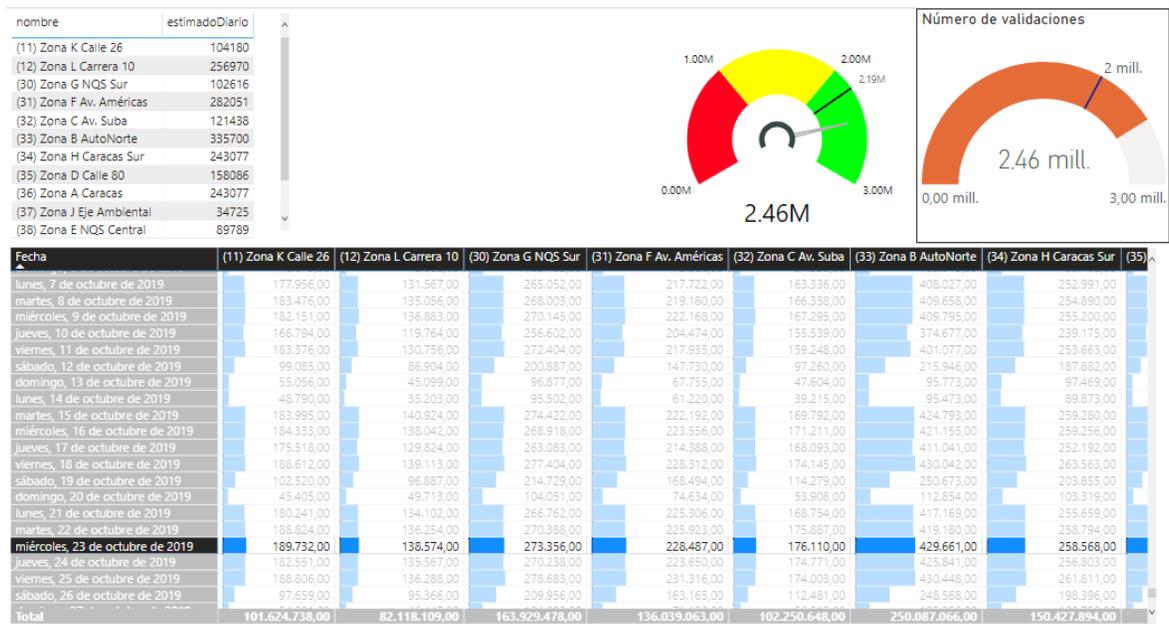
2) El segundo tablero muestra los datos de las validaciones realizadas entre 2017 y 2019, tiene la finalidad de poder ayudar a evidenciar el contexto general del estado del sistema por Líneas y estaciones en diferentes periodos de tiempo:

*Ilustración 12 - Visualización pantalla "Demanda"*



- a. Fecha: Filtro que nos permite evidenciar la situación del sistema en diferentes periodos de tiempo.
  - b. Validaciones: Total de validaciones realizadas en el periodo de tiempo seleccionado.
  - c. Número de validaciones por Línea: Una vez realizado el filtro, es posible evidenciar en este gráfico de anillos el porcentaje de validaciones realizadas por línea.
  - d. Número de validaciones por estación: En este gráfico de columnas, es posible evidenciar las estaciones que más realizan validaciones de acuerdo con los filtros utilizados.
- 3) El tercer tablero muestra los datos por día de las validaciones realizadas en las diferentes líneas, tiene como finalidad ayudar a validar si se cumple la meta de 2.192.009 pasajeros diarios y mirar si existe algún caso especial en un día específico.

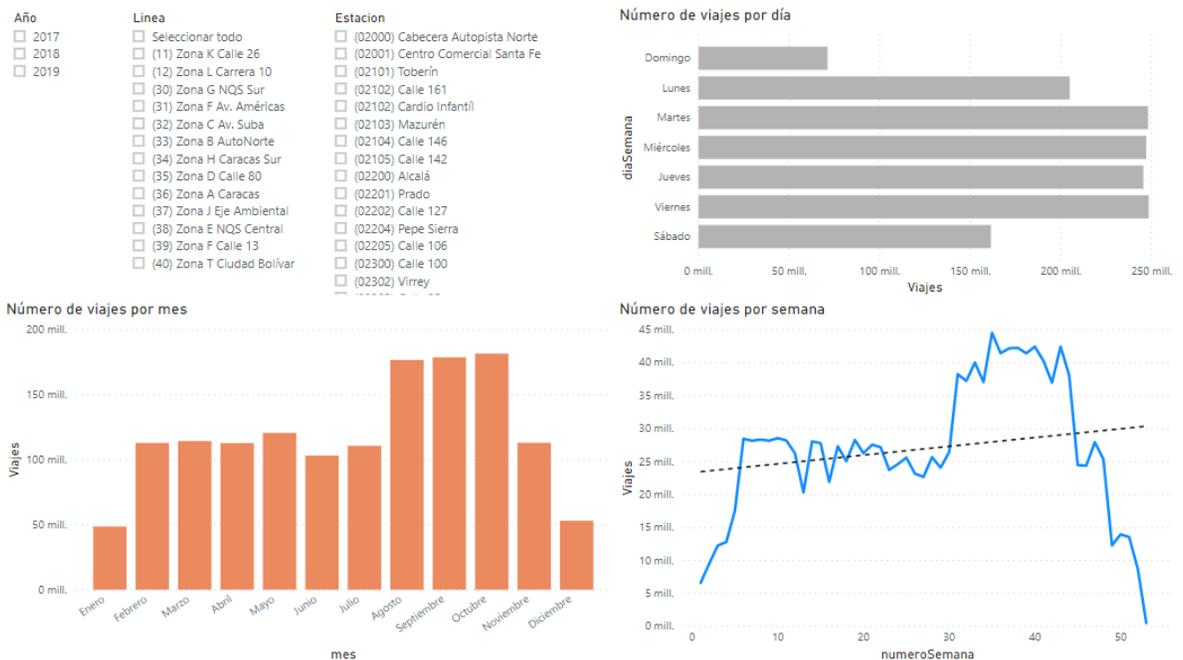
*Ilustración 13 - Visualización de pantalla "Demanda por día"*



- a. Tabla con las líneas del sistema Transmilenio y su estimado diario, también sirve como filtro para revisar una sola línea por día.

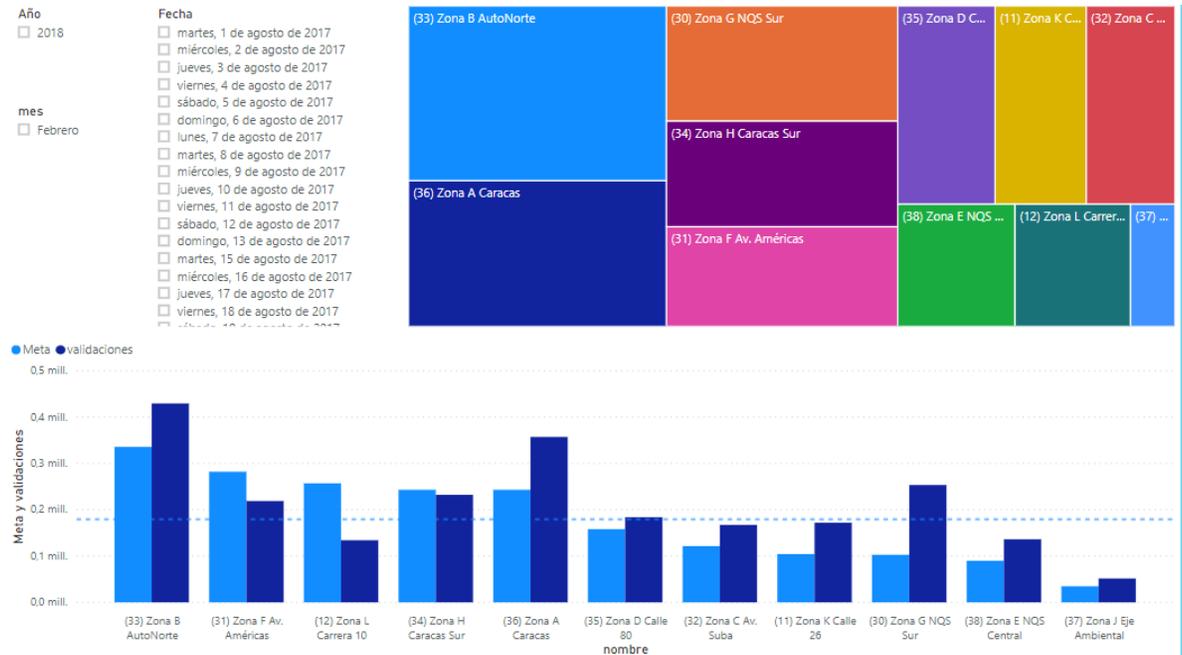
- b. Tacómetro que tiene como finalidad mostrar el número de validaciones en un día seleccionado y lo divide en tres categorías rojo, amarillo o verde.
  - c. Número de validaciones: Medidor que nos muestra el número de validaciones realizadas en un día específico y si se sobrepasó la meta.
  - d. Matriz que nos muestra los días entre el 1 de agosto de 2017 a el 31 de octubre de 2019, cada fila nos muestra el número de validaciones realizadas separados por Líneas y una gráfica interna que simboliza el porcentaje sobre el total del día.
- 4) El cuarto tablero nos permite evidenciar la información de las validaciones en diferentes periodos de tiempo para ayudar a entender el comportamiento del sistema.

*Ilustración 14 - Visualización de pantalla "Demanda por año"*



- a. Filtros: Por medio de tres filtros es posible realizar la búsqueda requerida.
    - i. Año: Nos permite revisar los datos de un año específico (2017-2019).
    - ii. Línea: Nos permite revisar las validaciones por una línea específica.
    - iii. Estación: Nos permite revisar las validaciones por una estación específica.
  - b. Número de validaciones por día: En este gráfico de barras podemos visualizar el comportamiento de las validaciones en los diferentes días de la semana dependiendo de los filtros.
  - c. Número de validaciones por mes: En este gráfico de columnas apiladas se puede evidenciar el número de validaciones realizadas por mes teniendo en cuentas los filtros.
  - d. Número de validaciones por semana: En este gráfico de líneas se puede visualizar el comportamiento de los viajes realizados en semanas de acuerdo con los filtros seleccionados. También se puede visualizar la línea de tendencia de los viajes.
- 5) En el quinto tablero podemos evidenciar el número de validaciones por Línea y la comparación con sus respectivas metas.

Ilustración 15 - Visualización pantalla "Demanda por Línea"



a. Filtros: Por medio de tres filtros es posible realizar la búsqueda requerida.

i. Año: Nos permite revisar los datos de un año específico (2017-2019).

ii. Mes: Nos permite revisar las validaciones de un mes específico.

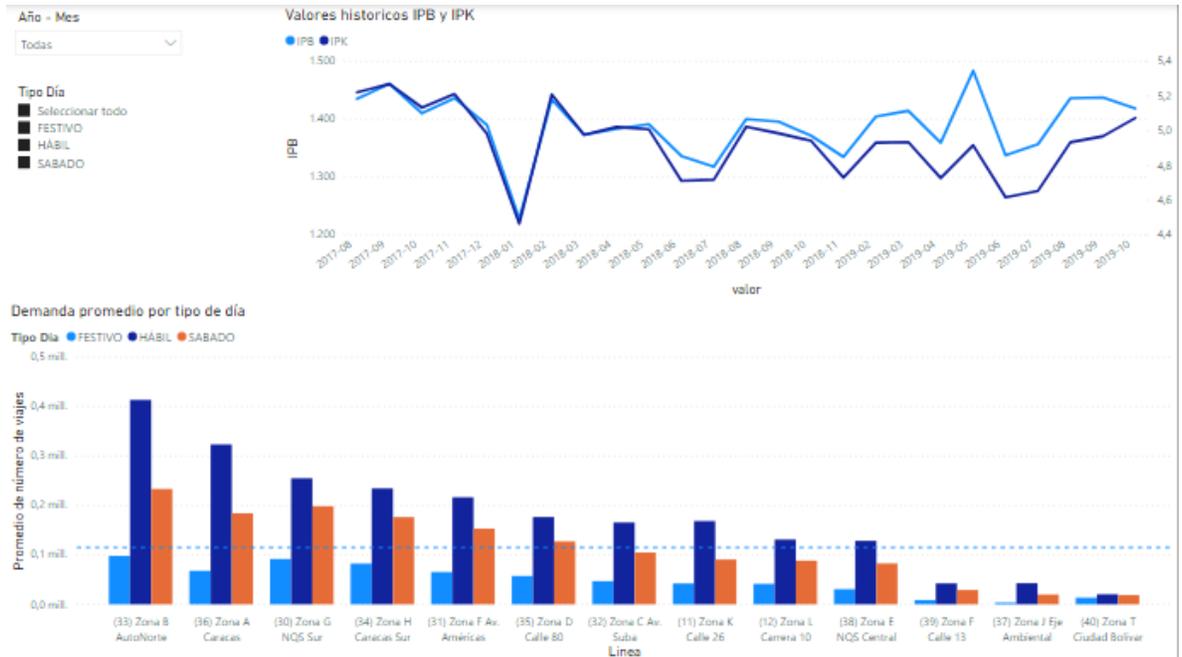
iii. Fecha: Nos permite revisar los datos de un día específico.

b. En el treemap se puede visualizar las líneas donde se realizan más validaciones según los filtros seleccionados.

c. En el gráfico de columnas agrupadas, se puede ver el número de validaciones realizadas junto con la meta por línea.

6) En el último tablero podemos evidenciar la demanda por tipo de día.

Ilustración 16 - Visualización pantalla "Demanda por tipo de día"

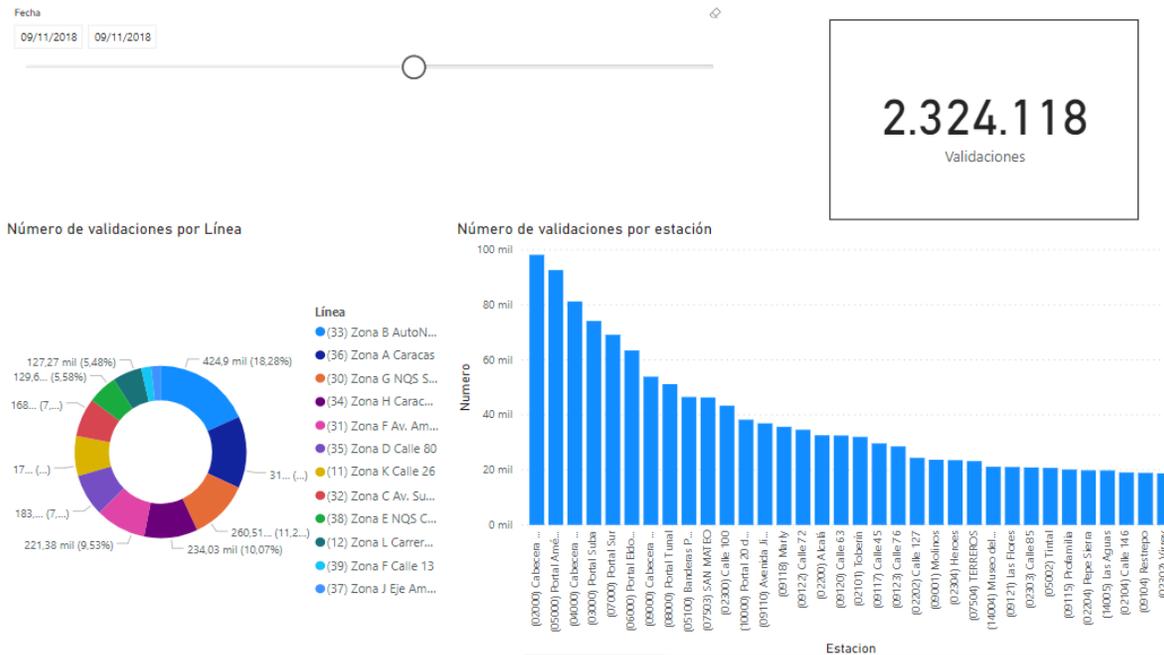


- Fecha: Filtro que nos permite evidenciar la situación del sistema en diferentes periodos de tiempo.
- Tipo día: Filtro que nos permite evidenciar la situación del sistema por tipo de día.
- Valores históricos IPB y IPK: nos muestra el comportamiento de los indicadores entre 2017 y 2019.
- Demanda promedio por tipo de día: En este gráfico de columnas agrupadas podemos evidenciar el número de validaciones realizadas por tipo de día.

## Análisis

En la siguiente gráfica se tomó como ejemplo el 8 de noviembre de 2018 donde se realizaron 2.324.118 validaciones, la línea más utilizada es *AutoNorte* con 17,98% y la *Caracas con 13,63%*, donde claramente las estaciones más usadas son los portales, dando como las primeras dos el portal norte y portal Américas con 106.261 y 98.291 respectivamente.

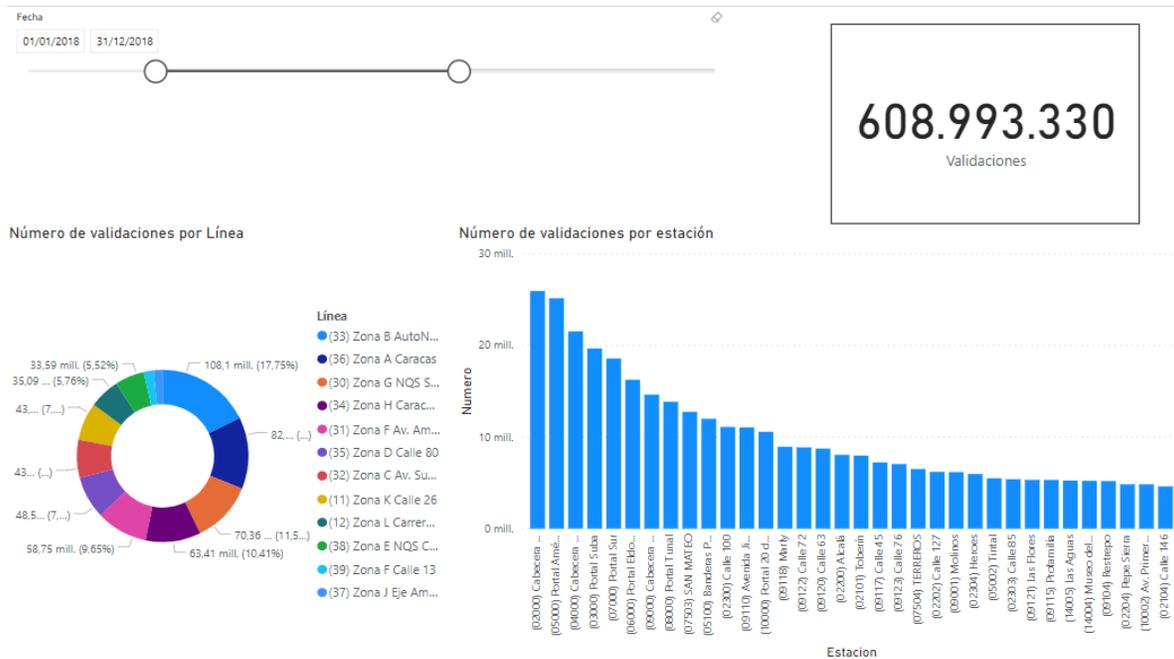
*Ilustración 17 - Número de validaciones por línea, estación y día.*



El número de pasajeros en un año (2018) es de 610 millones comparado con la estimación de Transmilenio de 600 millones (BRDATA, 2019) con lo cual podemos validar el modelo.

Además, podemos evidenciar que se mantiene la línea más utilizada con un 17,75% y las estaciones más concurridas dándonos consistencia.

## Ilustración 18 - Número de validaciones por línea 2018



En las siguientes gráficas se evidencia más claramente el número de validaciones por día, donde se tiene un tope deseado de 2.192.000, podemos deducir que esto se cumple en la mayoría de los días entre martes y viernes bajando la demanda del sistema entre los sábados y lunes, donde las personas dejan de usar un poco el sistema. también se puede ver la consistencia de pasajeros en las diferentes líneas y los toques que se tienen en un día específico como lo fue el día sin carro el jueves 7 de febrero de 2019 donde se registraron 2.536.875 validaciones que supera al día anterior por 200.000.

Ilustración 19 - Número de validaciones por día y línea.

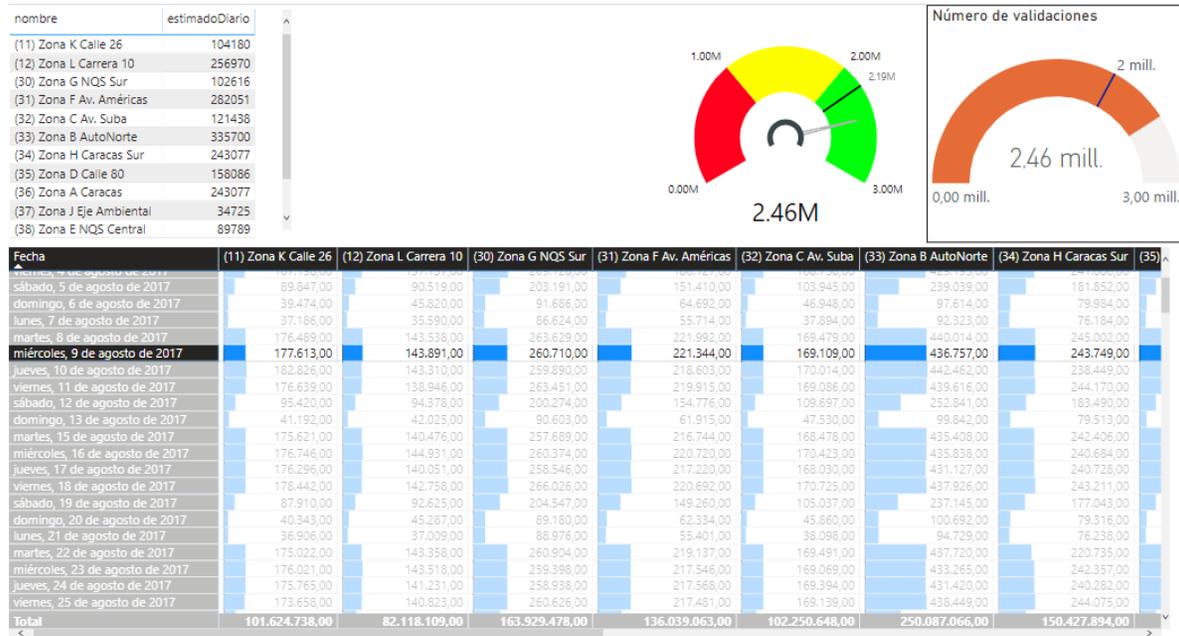
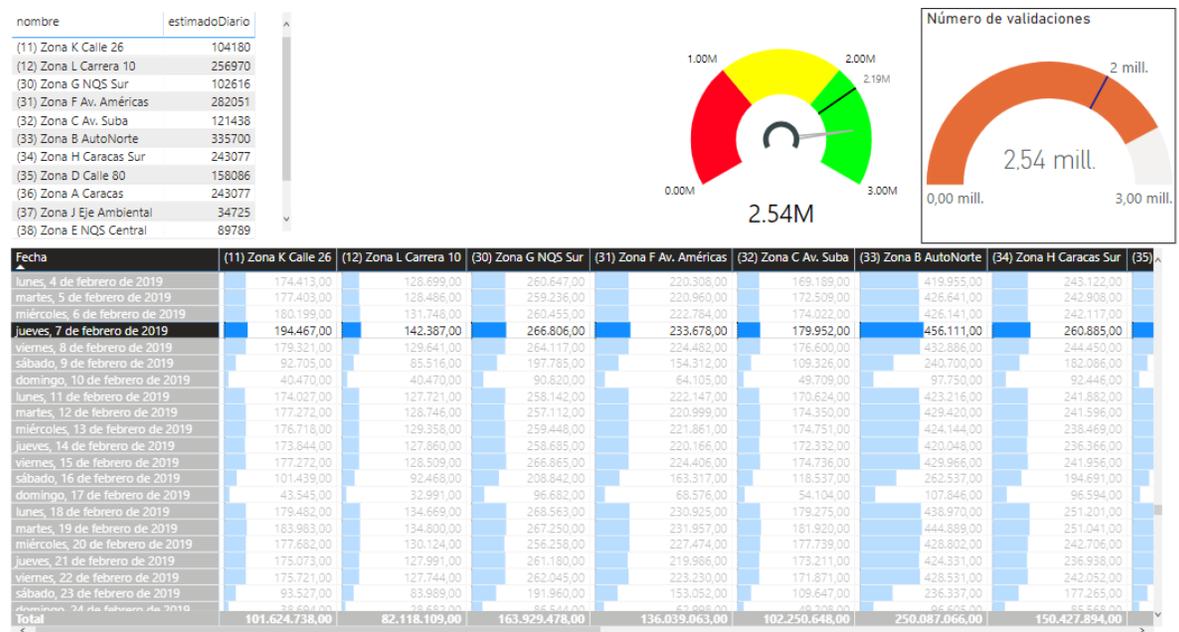
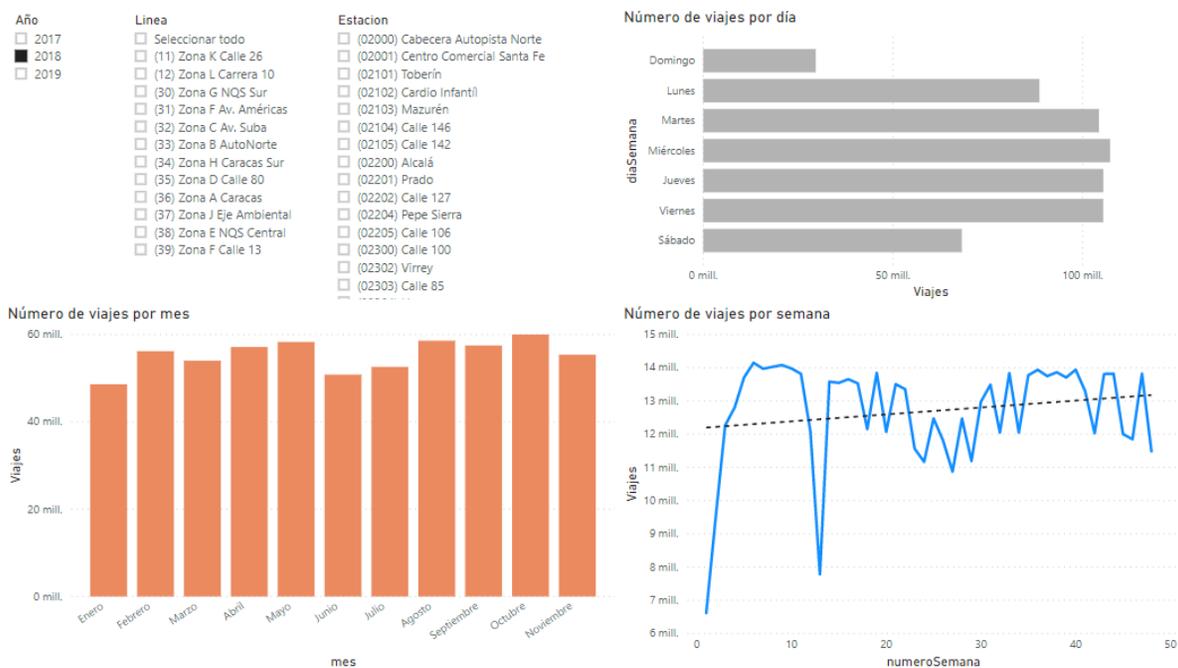


Ilustración 20 - Número de validaciones día sin carro 2019



De acuerdo a las siguientes gráficas podemos concluir que el *miércoles* es el día donde se realizan más validaciones en el sistema para el año 2018. También podemos evidenciar que en Noviembre se utiliza el sistema de una forma más masiva y que los periodos de vacaciones de las instituciones educativas influyen claramente en el uso del sistema(enero,junio,julio y diciembre).

Ilustración 21 - Demanda Transmilenio 2018

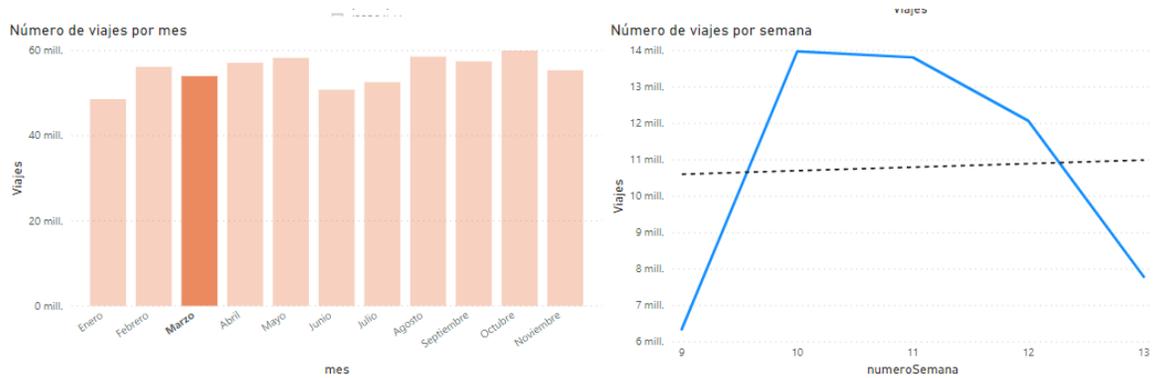


Se observa un punto mínimo la primera semana del año, lo que es muy claro ya que este mes un gran porcentaje de la población de Bogotá se encuentra en vacaciones y se toman este tiempo para salir de la ciudad.

El punto mínimo que se observa en la gráfica en la semana 13 se debe a la celebración de semana santa en el año 2018 donde solo se registraron 7.782.969 validaciones en el transcurso de la semana.

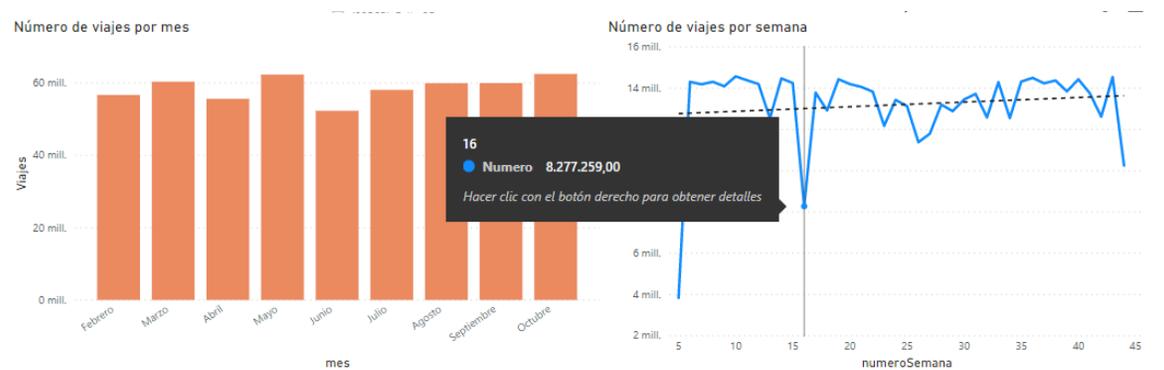
En la siguiente ilustración se observa más claramente el comportamiento del mes de marzo de 2018, donde se ve la caída de validaciones cuando se inicia esta semana santa.

**Ilustración 22 - validaciones semana santa 2018**



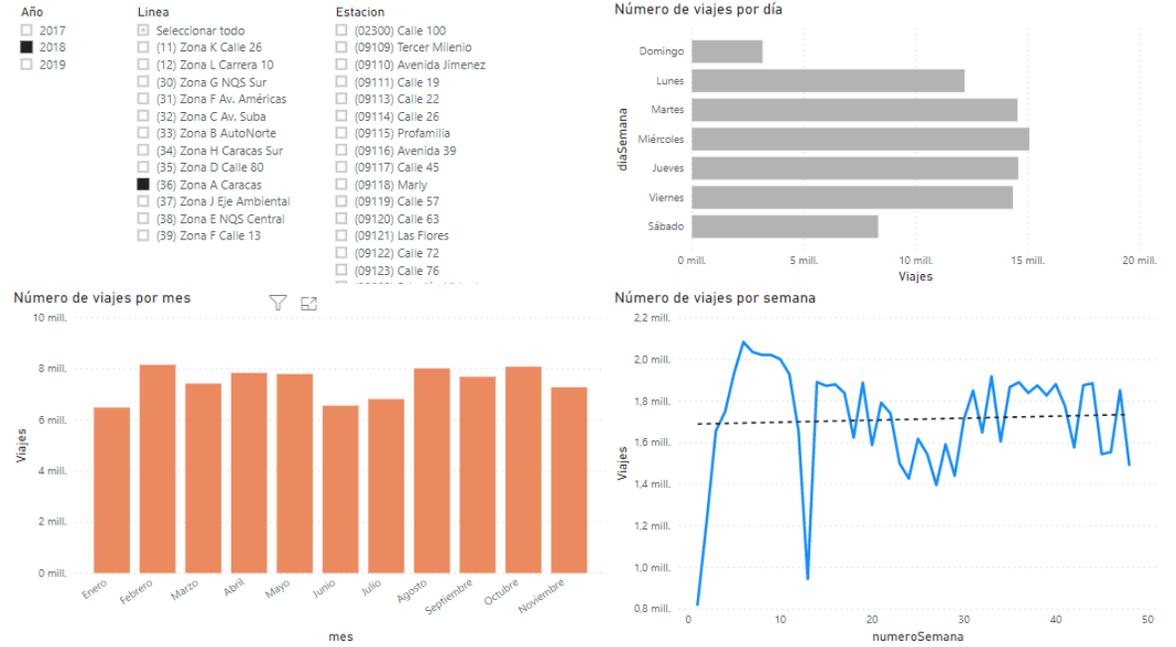
Esta caída se repetirá cada año ya que en Colombia la semana santa siempre serán días festivos.

**Ilustración 23 - Semana santa 2019**



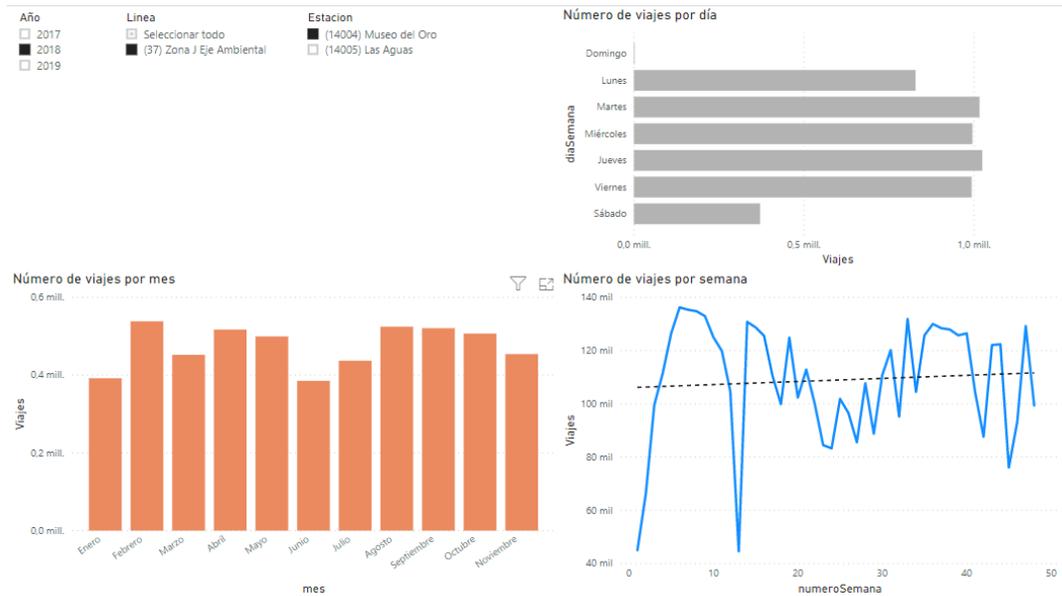
Cuando tomamos por ejemplo la troncal *caracas* donde se encuentran gran parte de las universidades y ubicaciones de trabajo se empieza a visualizar más notablemente que la utilización del sistema en los días hábiles y la baja cantidad de viajes los fines de semana; además, una vez más se mira la influencia de los meses de vacaciones de las instituciones educativas en el número de viajes.

**Ilustración 24 - Número de validaciones - Caracas - 2018**



Para validar nuevamente la influencia de los días hábiles y las vacaciones educativas tomamos por ejemplo la estación Museo del Oro.

**Ilustración 25 - Número de validaciones estación museo del oro 2018**



En la siguiente tabla se evidencia la meta diaria de validaciones por corredor troncal, con la cual podemos realizar mediciones para determinar cuál corredor es más eficiente.

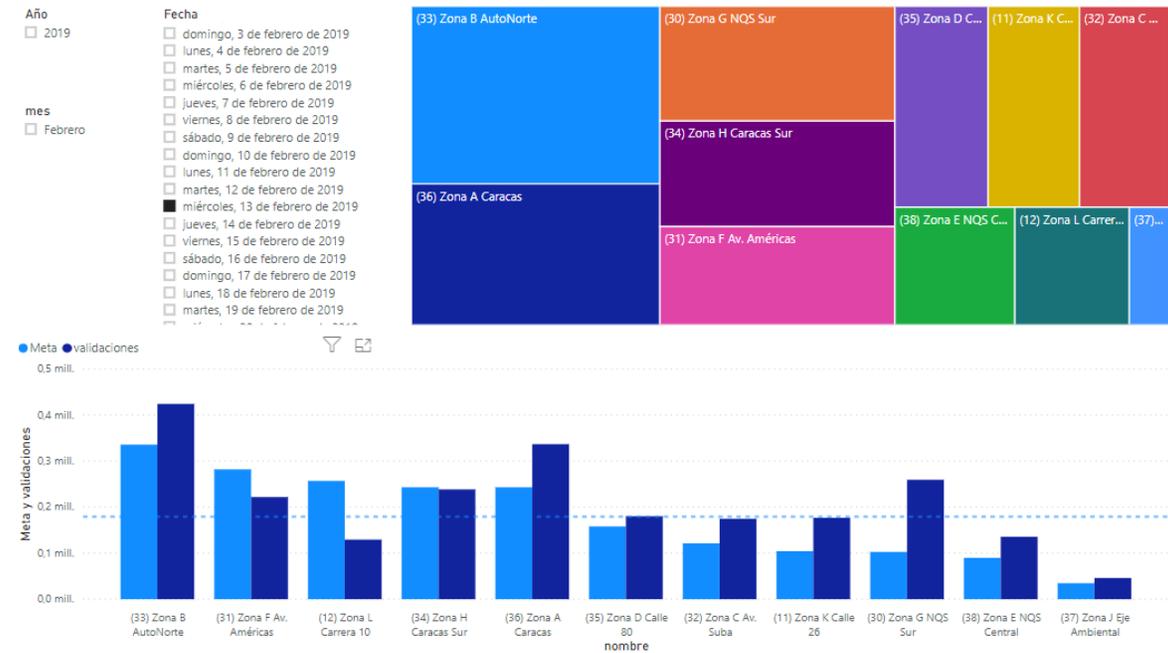
*Tabla 11 - Demanda diaria por corredor Transmilenio*

Corredor	Demanda diaria de viajes
Calle 80	158.086
Caracas	243.077
Caracas Sur	243.077
Eje Ambiental	34.725
Norte	335.700
Américas	282.051
NQS Central	89.789
NQS Sur	102.616
Suba	121.438
Calle 26	104.180
Carrera 10	256.970

Fuente:(BRDATA,2019)

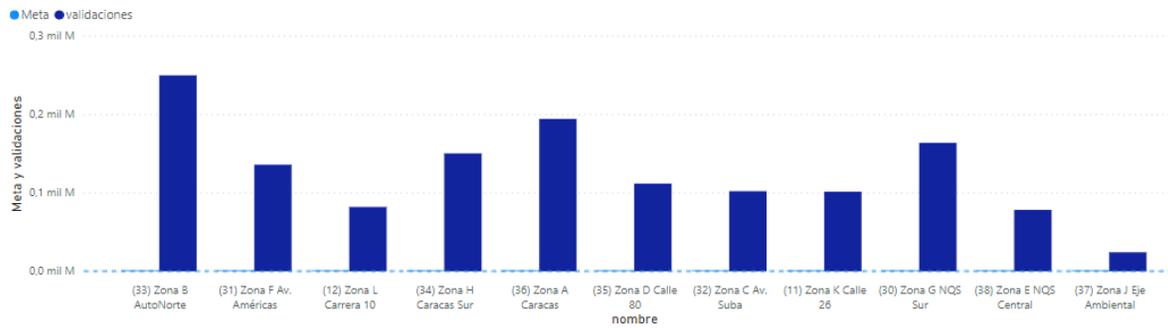
Con los datos de la tabla anterior y realizando validaciones en los tableros, podemos deducir que el corredor más eficiente es *Caracas* seguido por *AutoNorte* con 93.643 y 88.444 viajes por encima de la meta respectivamente.

Ilustración 26 - Demanda por línea 13 de febrero de 2019



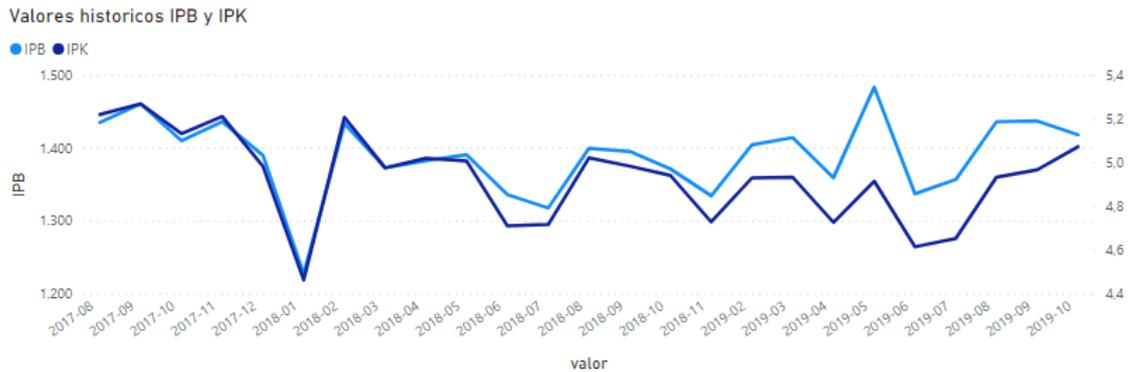
También podemos evidenciar que estos dos corredores son los que más validaciones registran entre 2017 y 2019.

Ilustración 27 - Demanda por línea total



Por último, podemos deducir que IPK y el IPB tienen una relación directa y sufren de los mismos picos mínimos que las validaciones, como lo es el mes de enero.

Ilustración 28 – Valores históricos IPK y IPB



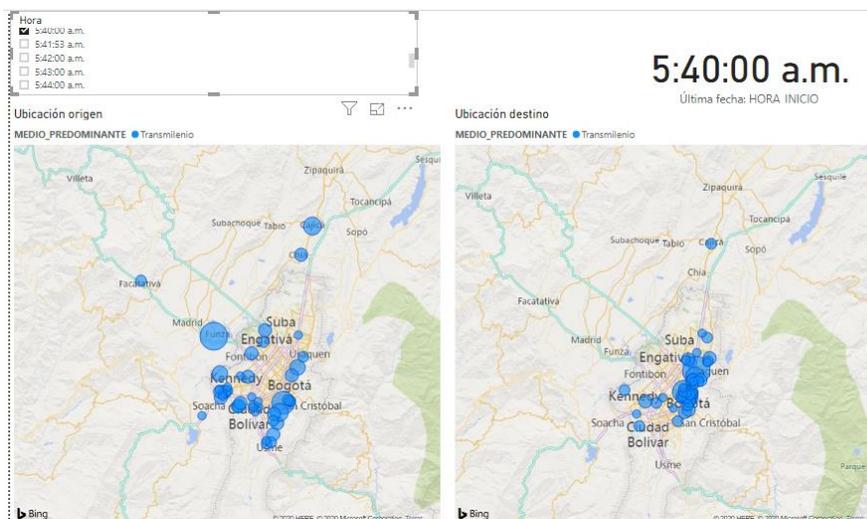
## 4.5.2 Motivo de uso del sistema

### Tablero encuestas

La visualización consta de 3 tableros:

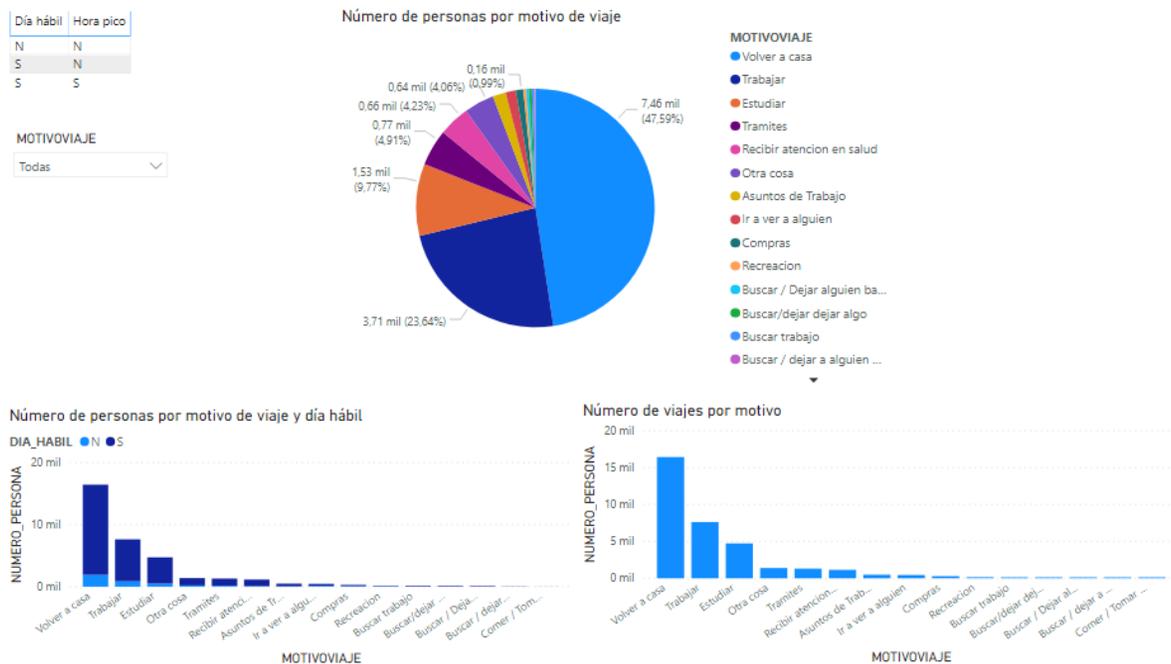
- El primer tablero tiene como finalidad poner en evidencia la ubicación origen y destino de las personas filtrado por horas.

Ilustración 29 – Visualización de pantalla “Ubicación”



- a. Filtro fecha: nos permite filtrar por una o más horas del día.
  - b. Última fecha: Nos muestra la última fecha seleccionada en el filtro.
  - c. Ubicación origen: En este mapa podemos ver la ubicación origen de las personas encuestadas, haciendo más grande el círculo cuando es más concurrido el punto.
  - d. Ubicación destino: En este mapa podemos ver la ubicación destino de las personas encuestadas, haciendo más grande el círculo cuando es más concurrido el punto.
- b) En el segundo tablero podemos ver los motivos de viajes de las personas encuestadas.

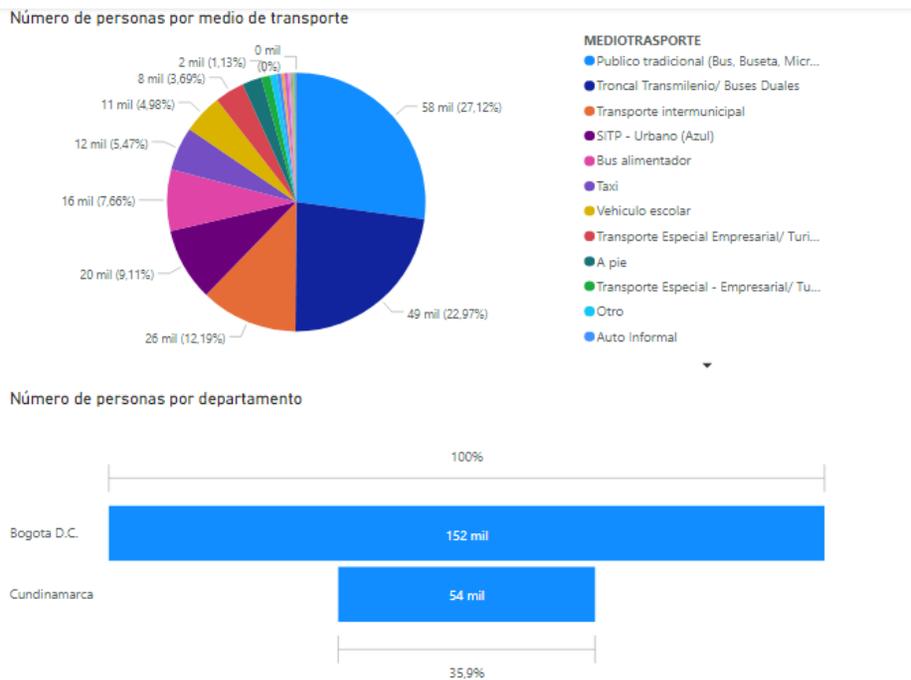
*Ilustración 30 – Visualización pantalla “Motivo de viajes”*



- a. Filtros: Por medio de 2 filtros es posible realizar la búsqueda:
  - i. Filtro día hábil: Permite revisar los datos por día hábil y hora pico.

- ii. Filtro motivo de viaje: Permite revisar los datos por motivo de viaje específico.
  - b. Número de personas por motivo de viaje: En este gráfico circular se puede evidenciar el porcentaje de uso del sistema por motivo de viaje.
  - c. Número de viajes: En estos gráficos de columnas apiladas podemos ver el número de viajes por motivo diferenciados en día hábiles y no hábiles.
- c) En el tercer tablero podemos visualizar los medios de transporte usados por las personas encuestadas.

*Ilustración 31 - Visualización de pantalla "medio transporte"*



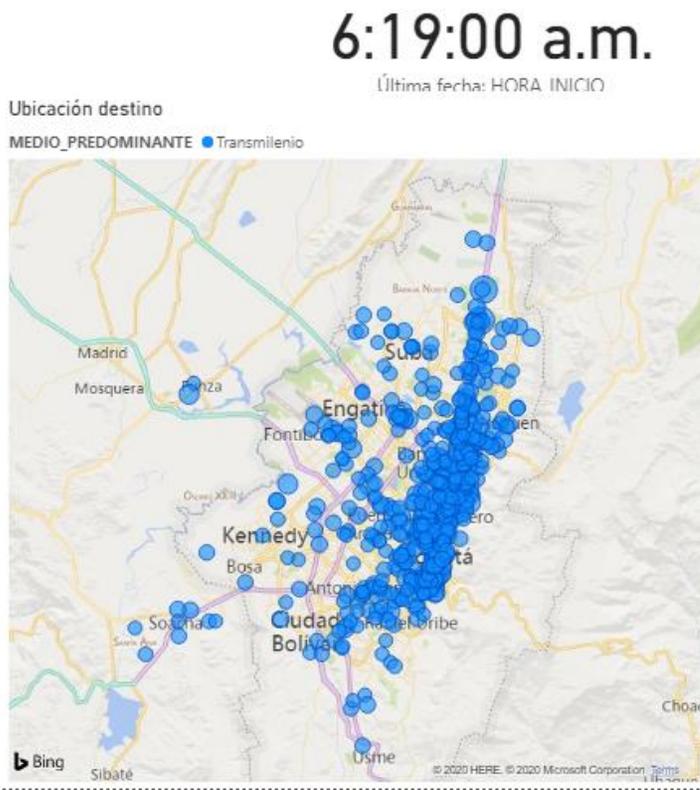
- a. Número de personas por medio de transporte: En este gráfico circular podemos ver el porcentaje de personas por medio de transporte.

- b. Número de personas por departamento: En este embudo podemos ver el número de personas que utilizan un medio de transporte por departamento.

### Análisis

En la siguiente gráfica podemos visualizar que la mayor cantidad de personas se dirigen hacia las partes centrales de la ciudad, por lo que una de las líneas más utilizadas es la Caracas.

Ilustración 32 - Ubicación destino viajes 6 am



## 5 Evaluación

### 5.1 Comparaciones con otros sistemas BRT

Tabla 12 - resumen indicadores generales Transmilenio

Indicador	Valor	Fecha
Producto Interno Bruto per cápita (US\$)	5,806	2016
Población, ciudad	8.181.047	2018
Población, área metropolitana	9.155.100	2014
Densidad poblacional, región metropolitana	3.347,4	2014
Partición modal % transporte público	59,0	2010
Partición modal % transporte privado	26,0	2010
Partición modal % transporte no motorizado	15,0	2010
Corredores	11	2014
Tarifa normal (US\$)	0,67	2016
Recaudo tarifario anual (US\$ millones)	308,42	
Demanda pico (pasajeros por hora por dirección)	49	2018
Demanda diaria (pasajeros por día)	2.192.009	2018
Demanda anual (pasajeros por año)	657.602.700	2018
Productividad del capital (abordajes por autobús por día)	1,293	2012
índice de pasajeros kilómetro (IPK)	4,30	2018
Longitud del sistema (km)	112,90	2014

Estaciones	139	2018
Frecuencia en la hora pico (autobuses por hora)	320	
Flota, articulado	1,435	2018
Antigüedad media, articulado	6,5	2011
Flota, biarticulado	310	2018
Antigüedad media, biarticulado	1,9	2011
Calificación de los usuarios	Bueno	2010
Marca y logo	Sí	2013
Identidad visual de los autobuses del sistema	Sí	2013

Fuente: (BRDATA, 2019)

En el Anexo 2 podemos ver una matriz donde comparamos diferentes BRTs en Latinoamérica y podemos evidenciar que Transmilenio es uno de los más grandes con una tarifa bastante baja y con gran demanda diaria, lo que nos hace concluir que es un BRT con una eficiencia muy alta.

También podemos visualizar el IPK entre estos sistemas BRT, donde se evidencia que Transmilenio posee el más alto al lado de SÃO PAULO, con 4,9 y 3,4 respectivamente. Siendo ciudades con características similares y que son referentes en este tipo de sistemas.

Ilustración 33 - Indicadores generales Transmilenio 2017-2019



En la anterior gráfica podemos evidenciar lo hablado y los cambios que tiene el sistema en cuanto a oferta y demanda entre los días hábiles, festivos y sábados; Sin embargo, podemos ver que el IPK se mantiene “constante” lo que nos muestra la buena planeación que se tiene en el sistema.

## 5.2 Conclusiones

En este trabajo, se realizó una revisión de literatura que permitió desarrollar un modelo para medir la eficiencia del BRT, relacionando los conceptos y características claves de estos sistemas y las mediciones de eficiencia realizadas a cualquier sistema de transporte.

En una etapa posterior se seleccionaron los indicadores de eficiencia más relevantes para el sistema de transporte BRT. Estos indicadores incluyen la relación entre oferta y demanda y los puntos claves que se encontraron en diferentes modelos de medición. Se presenta una propuesta de arquitectura para poder medir los indicadores, desde la selección de los datos relevantes hasta la visualización de estos en tableros interactivos, en todo el proceso se tuvo en

cuenta conceptos de inteligencia de negocios y analítica de datos para lograr un modelo preciso y completo.

Mientras se generaba la arquitectura del modelo, fue notoria la necesidad del proceso para lograr las mediciones y la relación que tienen, ya que nos permitió tener un punto de partida claro para realizar la validación con un sistema BRT.

El modelo generado fue validado con Transmilenio en Bogotá, donde como primer punto se solicitó la información necesaria para realizar las mediciones de los indicadores posibles dentro de los generados en el modelo, es bueno resaltar que el proceso sería más eficiente si se contara con un proceso de extracción de información dentro de la organización que pudiera ser usado. Después de esto se realizó un proceso de limpieza de datos donde encontramos factores a ser corregidos, como lo son registros duplicados, información errónea o incompleta, entre otros. En todo modelo de medición este es un paso crítico, ya que, si no se obtienen los datos correctos y precisos, es muy probable que se generen indicadores erróneos. Para validar nuestra información se tomaron valores generados por reportes de Transmilenio y se compararon con los generados por el modelo.

Un punto importante de este trabajo fue la generación de una base de datos en la nube con la información procesada de oferta y demanda de Transmilenio entre 2017 y 2019, con esto, podemos tener disponible la información en cualquier plataforma y cualquier cambio se vería reflejado en las visualizaciones en tiempo real.

Las visualizaciones generadas, nos permiten revisar los indicadores de una manera gráfica y dinámica que se adapta a las diferentes posibilidades dadas en los tableros, con estos, pudimos evidenciar diferentes puntos importantes como lo son:

- El impacto que tienen los días festivos y las vacaciones de los estudiantes sobre la demanda en las estaciones, y como el sistema debe adaptarse a estos escenarios para cumplir con la demanda diaria.
- La gran disminución de uso del sistema en semana santa, mostrando un pico en cada año.
- La relación directa entre IPK y el IPB, los cuales sufren de los mismos picos mínimos, como lo es el mes de enero.

- El modelo puso en evidencia que el corredor más eficiente es “*caracas*”, dando consistencia ya que es uno de los más antiguos y usados por los usuarios; además, nos mostró que el corredor menos eficiente es *las Américas*, donde se debe trabajar más, debido a la gran cantidad de demanda.
- Fue posible determinar que noviembre es el mes con más movimiento en el sistema, y los miércoles es el día de más afluencia.

Lo anterior nos recalca porqué Transmilenio es un referente mundial en el sistema BRT, se observa que este medio de transporte masivo con todas las carencias que presenta es un sistema público muy eficiente para una ciudad del tamaño de Bogotá.

### **5.3 Trabajos futuros**

Como trabajos futuros, se podrían incluir datos del sistema BRT durante la pandemia por el COVID-19, lo que nos mostraría información interesante generada por esta situación mundial. Evaluando los nuevos picos de demanda en diferentes periodos de tiempo.

Adicionalmente, se podrá comparar la eficiencia de diferentes sistemas BRT y hacer un análisis con mayor profundidad teniendo en cuenta la situación de cada país; además, si se agregaran mecanismos que permitan medir cuantas personas abordan un bus podrían generarse análisis más precisos sobre los indicadores.

Por otra parte, el análisis presentado en este trabajo puede ser realizado para otro tipo de indicadores relevantes para los sistemas de transporte. Con lo anterior, se lograría ir sumando una gran base de información para tener el panorama completo del sistema BRT.

Para el caso concreto de Transmilenio se podrían automatizar los procesos de extracción y limpieza de datos para actualizar la información en tiempo real, sin largos tiempos de procesamiento; adicionalmente, sería interesante incluir la medición de eficiencia en horas, para llegar a un periodo más específico y ampliar las conclusiones que se pueden obtener de los tableros y, por último, se podría ampliar la base de datos con variables relevantes y con un número más alto de años de información.

## 6 Bibliografía

- Arzubi, A., & Berbel, J. (2020). Determinación de índices de eficiencia mediante DEA en explotaciones lecheras de Buenos Aires. 103-123.
- Benevolo, C., Dameri, R. P., & D'Auria, B. (2015). Smart Mobility in Smart City.
- BRDATA. (2019). *BOGOTÁ, COLOMBIA - TRANSMILENIO*. Obtenido de [http://brtdata.org/location/latin\\_america/colombia/bogota](http://brtdata.org/location/latin_america/colombia/bogota)
- Bueno, E. (2000). Perspectivas sobre dirección del conocimiento y capital intelectual.
- Bueno, E. (2008). La Sociedad del Conocimiento: una realidad inacabada. 25-55.
- Cervero, R. (2013). Bus Rapid Transit (BRT): An Efficient and Competitive Mode of Public Transport. *UC Berkeley: Institute of Urban and Regional Development*. . Obtenido de <https://escholarship.org/uc/item/4sn2f5wc>
- Curto Diaz, J. (2010). *Introducción al Business Intelligence*. Obtenido de [https://books.google.com.co/books/about/Introducci%C3%B3n\\_al\\_Business\\_Intelligence.h%20%20tml?id=iU3RAXYQXMkC&printsec=frontcover&source=kp\\_read\\_button&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books/about/Introducci%C3%B3n_al_Business_Intelligence.h%20%20tml?id=iU3RAXYQXMkC&printsec=frontcover&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- D. Gallego, C. O. (2004). *Conocimiento y gestión*. Obtenido de Pearson Education.
- Deutsch, D. (2011). *The Beginning of Infinity: Explanations That Transform the World*. Penguin Publishing Group.
- DIRECCION GENERAL DE TRANSPORTE POR CARRETERA. (s.f.). Manual de Apoyo para la Implantación de la Gestión de la Calidad Según Norma UNE-EN 13816. España – Madrid.
- E. Ahumada-Tello, R. Z.-V. (2012). Modelo de competitividad basado en el conocimiento: el caso de las pymes del sector de tecnologías de información en Baja California. *Revista International Administración & Finanzas*, 12-27.
- Equipo Editorial. (25 de 09 de 2018). *La integración de datos ETL para el bi*. Obtenido de <https://reportedigital.com/cloud/integracion-datos-etl->



- MinTic. (s.f.). *Gestión de Información*. Obtenido de <https://www.mintic.gov.co/gestion-ti/Gestion-IT4+/Gestion-de-Informacion/>
- Ortega, O. D., & Melo Vázquez, A. (2017). Eficiencia del transporte público en la ciudad de Morelia, Michoacán (México) en el año 2015: un análisis de la envolvente de datos. *Revista Facultad De Ciencias Económicas*, 25(2), 7-23.
- Pablo D. Lemoine, Olga L. Sarmiento, Jose David Pinzón, Jose D. Meisel, Felipe Montes, Dario Hidalgo, . . . Juan Manuel Zambrano. (2016). TransMilenio, a Scalable Bus Rapid Transit System for Promoting Physical Activity. *Journal of Urban Health*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11524-015-0019-4>
- Piccirillo, J. M. (2012). *Qué es un BRT, o la implementación del Metrobús en ciudad de Buenos Aires, Argentina*. Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36157/1/FAL-312-WEB\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36157/1/FAL-312-WEB_es.pdf)
- Rojas, F. &. (2005). El transporte público colectivo en Curitiba y Bogotá. *Revista UIS Ingenierías*, 106-115.
- Rouse, M. (2012). *Análisis de datos*. Obtenido de TechTarget: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Analisis-de-Datos>
- Sancho, J. (2003). La evaluación de la eficiencia en las Universidades Públicas Españolas.
- Secretaría Distrital de Movilidad. (2015). *Encuesta de movilidad de Bogotá 2015 – Caracterización etapas – Origen/Destino*.
- Sherman, R. (2010). *Business Intelligence Guidebook: From Data Integration to Analytics*.
- T. Davenport, L. P. (2001). *Conocimiento en acción. Cómo las organizaciones manejan lo que saben*.
- Transmilenio S.A. (2020 de 01 de 2020). *Historia de Transmilenio*. Obtenido de <https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/146028/historia-de-transmilenio/>
- Woodman. (1985). Information management in large organizations. *Information management from strategies to action*.

ZAMORA – COLIN U., C. –A.–M. (2013). Bus Rapid Transit (BRT) en ciudades de América Latina, los casos de Bogotá (Colombia) y Curitiba (Brasil). *Quivera*, 15(2013-1), 101-118.

Zapata-Cantú, L. (2004). Las determinantes de la generación y la transferencia del conocimiento en pequeñas y medianas empresas del sector de tecnologías de información en Barcelona [tesis doctoral].

## Anexos

### 6.1 Anexo 1. Abreviaciones

BRT	Bus de transito rápido (Bus Rapid Transit)
ICT	Tecnologías de la información y comunicación (Information and Communications Technology)
ITDP	Institute for Transportation and Development Policy
C3T	Centro Tecnológico de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial
AVL	Localización Automática de Vehículos
KPI	Key performance indicator
IPK	índice de pasajeros por kilometro
IPB	índice de pasajeros por bus
IKB	índice de kilómetros por bus
ETL	Extracción, transformación y carga
ERP	Enterprise Resource Planning
CRM	Customer Relationship Management

## 6.2 Anexo 2. Comparación BRTs

Indicador\BRT	Transmilenio		Rede Integrada de Transporte		Metrobus-Q		SÃO PAULO		BRT Rio		Metrobús	
	Valor	Fecha	Valor	Fecha	Valor	Fecha	Valor	Fecha	Valor	Fecha	Valor	Fecha
Pais	Colombia		Brasil		Ecuador		Brasil		Brasil		México	
Ciudad	Bogotá		Curitiba		Quito		SÃO PAULO		Rio de Janeiro		México D.F	
Población, ciudad (información general)	8.181.047	2018	1.879.355	2015	1.619.791	2010	11.967.825	2015	6.476.631	2015	8.851.080	2010
Población, área metropolitana (información general)	9.155.100	2014	3.168.707	2010	2.151.994	2010	20.128.227	2013	12.229.867	2014	19.152.258	2005
Partición modal % transporte público (información general)	59	2010	46		62	2009	36,8	2012	48,7	2012	77,9	2007
Corredores (información del sistema)	11	2014	7		3		12		17		7	
Índice de pasajeros por kilómetro (IPK)	4,9	2019	1,99	2014	4,74	2016	3,44	2018	1,5	2015		
Año de inauguración del sistema (información del sistema)	2000		1974		1995		1980		2011		2005	
Tarifa normal (US\$) (información del sistema)	0,67	2016	1,3	2016	0,25	2015	1,21	2016	1,03	2016	0,32	2016
Demanda diaria (pasajeros por día) (información del sistema)	2.192.009	2018	566.500	2016	745.000	2011	3.300.034	2018	3.178.600		1.240.000	2018
Demanda anual (pasajeros por año) (información del sistema)	657.602.700	2018	169.950.000		223.500.000	2017	990.010.200	2018	953.580.000		372.000.000	2018
Longitud del sistema (km) (información adicional)	112,9	2014	74,10	2016	71,4	2017	135,02	2017	168	2017	140	2018
Calificación de los usuarios (imagen del sistema)	Bueno						Bueno					

Población que usa transporte público según participación modal	6.373.036	1.464.018	1.261.817	9.322.936	5.045.296	6.894.991
Población área metropolitana que usa transporte público según participación modal	5.401.509	1.457.605	1.334.236	7.407.188	5.955.945	14.919.609
Porcentaje de viajes realizados respecto a la población que usa transporte público en el área metropolitana (Demanda diaria vs población área metropolitana vs participación)	40,6	38,9	55,8	44,6	53,4	8,3
Porcentaje de viajes realizados respecto a la población que usa transporte público (Demanda diaria vs población vs participación)	34,4	38,7	59,0	35,4	63,0	18,0