

**ANÁLISIS DE ESCENARIOS PARA LA INTEGRACIÓN DE TAXIS ELÉCTRICOS EN EL  
SECTOR PÚBLICO DE BUCARAMANGA.**

**CARLOS EDUARDO SARMIENTO RODRÍGUEZ  
EDWARD ARLEY JERÉZ MONTAÑEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
INGENIERÍA EN ENERGÍA  
BUCARAMANGA  
2019**

**ANÁLISIS DE ESCENARIOS PARA LA INTEGRACIÓN DE TAXIS ELÉCTRICOS EN EL  
SECTOR PÚBLICO DE BUCARAMANGA.**

**AUTORES:  
CARLOS EDUARDO SARMIENTO RODRÍGUEZ  
EDWARD ARLEY JERÉZ MONTAÑÉZ**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**DIRECTOR:  
YECID ALFONSO MUÑOZ MALDONADO Ph.D  
CODIRECTOR:  
CESAR GOVANNI ACEVEDO Ph.D.(C)**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
INGENIERÍA EN ENERGÍA  
BUCARAMANGA  
2019**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma de presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

## Agradecimientos

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión del Phd. Yecid Alfonso Muñoz, el Phd. Cesar Yobany Acevedo Arenas y al Ingeniero Julián Durán Peña por hacer posible la realización de este estudio. Además, agradecer por su paciencia, tiempo y dedicación que tuvieron para que el proyecto se terminara de manera exitosa.

A nuestros padres y seres cercanos por darnos la visa y apoyarnos en todo momento .

## Contenido

Lista de tablas .....	7
Lista de ilustraciones .....	8
Lista de anexos .....	10
Resumen.....	11
Abstract .....	11
Introducción .....	12
1. Marco referencial.....	14
1.1 Marco teórico:.....	14
1.1.1 Historia del vehículo eléctrico.....	14
1.1.2. Vehículo eléctrico.....	14
1.1.3 Vehículo eléctrico de baterías (BEV) .....	15
1.1.4 Batería de Níquel Cobalto Manganeso: .....	16
1.1.5 Baterías Plomo-Ácido .....	16
1.1.6 Baterías Níquel-Acero y Níquel-Cadmio.....	17
1.1.7 Baterías Níquel-Metal Hidruro .....	17
1.1.8 Baterías Sulfuro de Sodio.....	18
1.1.9 Baterías de Litio-Hierro y Litio-Polímero.....	18
1.1.10 Baterías Zinc-Aire y Aluminio-Aire .....	19
1.2 Estado del arte:.....	19
2. Objetivos .....	23
2.1 Objetivo General .....	23
2.2 Objetivos específicos.....	23
3. Metodología .....	24
4. Desarrollo .....	25
4.1 Determinación de barreras para la incorporación de vehículos eléctricos .....	25
4.2 Estudio de tendencia de recorridos de taxis en Bucaramanga.....	29
4.2.1 Planificación de la prueba de recorridos .....	29
4.2.2 Análisis de recorridos.....	35
4.2.3 Determinación de la ruta característica.....	39

<b>4.3 Prueba de autonomía y consumo .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3.1 Selección de vehículos .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3.2 Definición del sistema de medición de combustible y Determinación de autonomías o consumo de combustible .....</b>	<b>42</b>
<b>4.4 Análisis financiero .....</b>	<b>46</b>
<b>4.4.1 Determinación de costos y ahorros.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4.2 Costes de operación y mantenimiento .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3.2 Aplicación del modelo financiero y determinación de indicadores.</b>	<b>60</b>
<b>4.5 Determinación de la infraestructura de recarga .....</b>	<b>71</b>
<b>4.5.1 Análisis de recorridos y sitios de interés de la ciudad .....</b>	<b>71</b>
<b>4.5.2 Ubicación de las electrolineras .....</b>	<b>74</b>
<b>4.6 Recomendaciones de actuaciones políticas y económicas que incentiven la movilidad eléctrica.....</b>	<b>75</b>
<b>4.7 Otros resultados .....</b>	<b>76</b>
<b>4.7.1 Modelo de consumo de gasolina .....</b>	<b>76</b>
<b>4.7.2 Dispositivo de medición .....</b>	<b>77</b>
<b>4.7.3 Levantamiento de datos .....</b>	<b>77</b>
<b>4.7.4 Análisis de datos .....</b>	<b>78</b>
<b>4.7.5 Comparación de datos reales con los del modelo experimental y análisis de resultados .....</b>	<b>80</b>
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>83</b>
<b>7. Recomendaciones.....</b>	<b>84</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>85</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>88</b>

## Lista de tablas

Tabla 1.Vehículos eléctricos mas vendidos en Colombia 2018 .....	28
Tabla 2.Especificaciones técnicas i10 .....	29
Tabla 3.Especificaciones técnicas Kia Picanto .....	30
Tabla 4.Especificaciones técnicas Chevrolet Spark.....	31
Tabla 5.Inventario de taxis Henry Taxis .....	32
Tabla 6.Tramos viales con su respectiva frecuencia .....	36
Tabla 7.Distance promedio de las 10 rutas .....	40
Tabla 8.Especificaciones técnicas de auto en prueba con GNV .....	41
Tabla 9.Especificaciones técnicas de auto en prueba con Gasolina .....	41
Tabla 10.Especificaciones técnicas de auto en prueba con Electricidad .....	42
Tabla 11.Consumo equivalente de energía del V.E en la ruta característica.....	45
Tabla 12.Síntesis de resultados de la ruta característica .....	46
Tabla 13.Proyecciones del costo de la gasolina para un taxi .....	48
Tabla 14.Proyección del costo de la energía eléctrica para un taxi .....	52
Tabla 15.Proyección del precio del kWh por estratos .....	53
Tabla 16.Costos de operación para un taxi a gasolina .....	55
Tabla 17.Costos de mantenimiento de un carro a gas.....	56
Tabla 18.Costos de operación de un carro a gas .....	57
Tabla 19. Costos de mantenimiento de un carro eléctrico .....	58
Tabla 20.Costos de operación de un carro eléctrico .....	58
Tabla 21.Inversión inicial de un vehículo a gasolina, a gas y eléctrico .....	59
Tabla 22.Indicadores para el escenario persona natural .....	61
Tabla 23. Indicadores para reposición de vehículo Henry taxis .....	63
Tabla 24.Indicadores reposición persona natural .....	65
Tabla 25.Indicadores compra de taxi 2026-2035 .....	67
Tabla 26.Indicadores para la reposición de vehículo 2026-2035 .....	68
Tabla 27.Escenario reposición de vehículo para la empresa Henry taxis .....	70
Tabla 28.Resultado de la regresión lineal .....	79
Tabla 29.Combustible usado .....	80

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Concentración promedio anual de PM10 y población 2015.....	12
Ilustración 2. Esquema básico de los componentes de un BEV[5] .....	15
Ilustración 3. Batería Nissan Leaf .....	19
Ilustración 4. Taxi eléctrico de la prueba piloto Bogotá.....	21
Ilustración 5. Taxi eléctrico Medellín .....	22
Ilustración 6. Mapa de asignación de tierras obtenido a través del álgebra del mapa y factores de ponderación en trama.....	23
Ilustración 7. Metodología .....	25
Ilustración 8. Electrolinerías en Colombia.....	27
Ilustración 9. Electrolinería de Bucaramanga .....	28
Ilustración 10. Hyundai i10.....	30
Ilustración 11. Kia Picanto .....	31
Ilustración 12. Chevrolet Spark.....	32
Ilustración 13. Proporción de los taxis de HenryTaxis .....	33
Ilustración 14. Proporción de marcas de la muestra seleccionada .....	33
Ilustración 15. Ruta de prueba de la aplicación .....	34
Ilustración 16. Ruta de un taxi vista en <a href="http://kmlviewer.nsspot.net">http://kmlviewer.nsspot.net</a> .....	35
Ilustración 17. Tramos viales con mayor frecuencia .....	38
Ilustración 18. Ruta característica vista en <a href="https://www.mapsdirections.info/">https://www.mapsdirections.info/</a> .....	39
Ilustración 19. Mapa de calor de las recorridas por los taxistas.....	40
Ilustración 20. Precio y cantidad de GNV consumido en la prueba .....	43
Ilustración 21. Excel entregado por el OBD II después de la prueba.....	44
Ilustración 22. Estado de la Batería del V.E antes de iniciar la prueba.....	44
Ilustración 23. Estado de la batería del V.E al finalizar la prueba .....	45
Ilustración 24. Proyecciones del precio de la gasolina.....	47
Ilustración 25. Proyecciones del precio del gas natural .....	49
Ilustración 26. Proyecciones del costo del gas natural para un taxi.....	50
Ilustración 27. Proyección del precio de kWh de energía eléctrica .....	51
Ilustración 28. Proyección de precios de las baterías .....	60
Ilustración 29. Taxista que desee comprar un taxi a corto plazo (2019-2028).....	62
Ilustración 30. Escenario para la reposición de vehículos Henry taxis .....	64
Ilustración 31. Escenario para persona natural que desee la reposición del vehículo teniendo el cupo 2019-2028. ....	65
Ilustración 32. ESCENARIO PARA PERSONA NATURAL QUE DESEE LA REPOISICION DEL VEHICULO TENIENDO EL CUPO .....	66
Ilustración 33. Escenario para la compra de un taxi más el cupo 2026-2035.....	67
Ilustración 34. Escenario para la reposición de vehículo 2026-2035 .....	69

Ilustración 35.Escenario reposición de vehículos empresa Henry taxis.....	70
Ilustración 36.ESCENARIO DE REPOSICION DE VEHICULO PARA LA EMPRESA DE HENRRY TAXIS .....	71
Ilustración 37.Criterios para la localización de electrolinerías.....	72
Ilustración 38. Mapa de calor de frecuencia vial para los taxis de prueba .....	73
Ilustración 39.Ubicación de las electrolinerías .....	75
Ilustración 40. OBD II.....	77
Ilustración 41.Desarrollo de la regresión.....	78
Ilustración 42.Deltas de combustible reales correspondientes a la ruta característica.....	81
Ilustración 43. Deltas de combustible experimentales correspondiente a la ruta característica.....	82

## Lista de anexos

Anexo 1. Ruta 1	78
Anexo 2. Ruta 2	79
Anexo 3. Ruta 3	80
Anexo 4. Ruta 4	81
Anexo 5. Ruta 5	82
Anexo 6. Ruta 6	83
Anexo 7. Ruta 7	84
Anexo 8. Ruta 8	85
Anexo 9. Ruta 9	86
Anexo 10. Ruta 10	87
Anexo 11. Tabla resumen de recorridos	87

## **Resumen**

La presente tesis desarrolla un análisis de escenarios para la integración de taxis eléctricos en el área metropolitana de Bucaramanga. Para llevar a cabo este análisis, inicialmente se hace una investigación sobre que barreras que afronta en nuestro país la movilidad eléctrica, seguidamente con una muestra de 10 taxis convencionales de una empresa de taxis de la ciudad, se realiza un monitoreo de sus recorridos diarios para determinar las tendencias en los trayectos, obteniendo una ruta característica o significativa de todas las rutas monitoreadas. Siguiendo esta ruta se hace una prueba de autonomía y consumo para un vehículo eléctrico de tal manera que con esta información de desempeño obtenida se desarrolla un análisis financiero que compara el retorno de la inversión en el tiempo para cuando se adquiere un taxi eléctrico, uno a gasolina y uno a gas, teniendo en cuenta costos de operación, mantenimiento, inversión inicial e incentivos propuestos. También se plantea en este estudio dar ubicación a los posibles lugares donde debería ser instalada una electrolinera utilizando un método de superposición de rutas y sitios de interés. Finalmente, como un análisis adicional se plantea un modelo que permite estimar el consumo de combustible para una ruta cualquiera de un taxi en el área metropolitana hecha con los datos de distancia, altura y velocidad de las rutas de los taxis monitoreados y se concluye el trabajo generando recomendaciones de actuaciones políticas y económicas que deberían implementarse para hacer más viable la transición hacia la movilidad eléctrica en el sector transporte.

Palabras clave: Movilidad eléctrica, Taxi eléctrico, autonomía, Ruta característica.

## **Abstract**

This thesis develops an analysis of scenarios for the integration of electric taxis in the metropolitan area of Bucaramanga. To carry out the analysis of these scenarios, an investigation is initially carried out on the barriers that electric mobility faces in our country, followed by a sample of conventional taxis (10 taxis) from a taxi company in the city. its daily routes to determine the trends in the routes, obtaining a characteristic or significant route of all the monitored routes. Following this route, a test of autonomy and consumption for an electric vehicle is made so that with this performance information obtained, a financial analysis is developed that compares the return on investment in time for when an electric taxi is acquired, a gasoline one and one gas, taking into account operating costs, maintenance, initial investment and proposed incentives. To locate the possible places where an electric station should be installed, a method of overlaying routes and sites of interest was used, and finally, as an additional analysis, a fuel consumption model is proposed for any route of a taxi in the area. metropolitan made with the data of distance, height and

speed of the routes of the monitored taxis and concludes the work generating recommendations of political and economic actions that should be implemented to make the transition to electric mobility in the transport sector more viable.

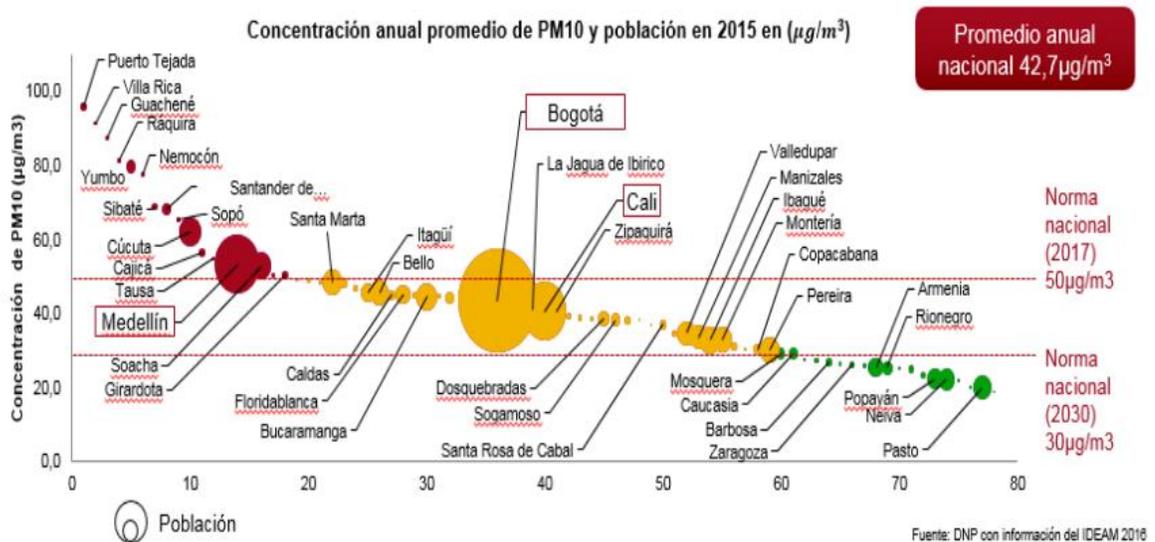
Keywords: Electric mobility, Electric Taxi, Autonomy, Characteristic rote.

## Introducción

El siguiente estudio tiene como objetivo proponer un escenario en donde se incorporen taxis eléctricos en el área metropolitana de Bucaramanga para promover la movilidad cero emisiones, la movilidad eléctrica, la eficiencia energética y generar información respecto a las prestaciones de la tecnología.

La contaminación ambiental es una de la problemática que actualmente aqueja algunas de las principales ciudades de Colombia, como lo son Bogotá y Medellín donde el 79% de la emisiones contaminantes provienen de fuentes móviles y causan por gasto de atender enfermedades respiratorias hasta 1,3 Billones de pesos al estado[1]. No obstante Bucaramanga tiende a seguir subiendo sus niveles de contaminación y así lo demuestra en la ilustración 1, allí se puede observar que se están superando los índices de material particulado en el aire según lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud OMG el cual debe ser inferior a 20[ $\mu\text{g}$ ] por cada metro cubico de aire.[2]

Ilustración 1. Concentración promedio anual de PM10 y población 2015



Fuente: Segundo encuentro de movilidad eléctrica Colombia [2]

Es por estas razones que el trabajo toma sentido y se empieza a desarrollar empezando por comprobar de forma real si esta tecnología aun en desarrollo e investigación cumple con los requerimientos de una industria sobre ruedas como lo es el servicio público particular o taxis públicos.

Para iniciar se debe determinar si la autonomía de un vehículo eléctrico y sus prestaciones como máquina para trabajar son equiparables con las de un vehículo a combustión interna, de forma que se determinó una ruta característica al monitorear 10 taxis convencionales proporcionados por una empresa taxista consolidada del sector con quienes se contactó (Henry Taxis). Estas pruebas se realizaron con una aplicación móvil la cual rastreo estos taxis por dos semanas en donde se obtuvieron tendencias de recorridos con los cuales se elaboró una ruta característica y posteriormente con esta ruta se evaluó la autonomía y desempeño de un vehículo eléctrico facilitado por la empresa Build Your Dreams (BYD), esta prueba se hizo en conjunto con dos vehículos a combustión interna (taxi a gasolina y taxi a GNV) manteniendo condiciones de operación idénticas. Con el fin de obtener la ruta característica se trabajó con mapas de calor, este análisis puede moldear un mapa en donde por la diferencia de tonalidades en los colores se puede representar las variables tomadas en cada una de las rutas a los taxistas (velocidad, frecuencia, combustible). Con este método se puede representar la frecuencia vial de la muestra de taxis en el área metropolitana lo cual sirvió entre otros argumentos como referencia para determinar el sector de la ciudad donde debería instalarse una electrolinera.

El análisis económico hace un comparativo entre cómo se vería en el tiempo la adquisición de un taxi eléctrico, uno a gasolina y uno a gas teniendo en cuenta costos de operación, mantenimiento, inversión inicial y algunos incentivos planteados solo para el vehículo eléctrico por ejemplo la exoneración del pago del cupo para trabajar entre otros incentivos. Se plantea un estudio adicional en donde por medio de un análisis de los datos monitoreados en las rutas (velocidad, distancia, altura sobre el nivel del mar, combustible) se obtuvo una ecuación que moldea la cantidad de combustible consumido para una ruta cualquiera en las condiciones del área metropolitana de Bucaramanga. Finalmente, este trabajo busca promover la movilidad cero emisiones, la movilidad eléctrica, la eficiencia energética y la generación de información con respecto a las prestaciones de la tecnología.

## **1. Marco referencial**

### **1.1 Marco teórico:**

#### **1.1.1 Historia del vehículo eléctrico**

La historia de los EVs data del siglo XIX. El almacenamiento químico de energía eléctrica y los principios del electromagnetismo, desarrollado a principios de siglo por Alessandro Volta y Michael Faraday, sentaron las bases científicas necesarias para su concepción. Sin embargo, no fue sino hasta finales del siglo, después de muchas otras innovaciones en electroquímica y mecánica, que se construyeron los primeros vehículos eléctricos prácticos. Aproximadamente al mismo tiempo, Karl Benz probó el primer vehículo convencional de motor de combustión interna. Los primeros automóviles eléctricos formaron parte de una flota de taxis en ciudades importantes como Londres, Nueva York y París. Las flotas de taxis eran candidatos obvios para empezar la aplicación de los EVs porque las compañías de taxi mantenían las baterías en sus garajes comunes y las distancias recorridas diariamente por los autos estaban dentro del rango de la batería.

Los vehículos eléctricos se volvieron un jugador importante en el mercado automotriz. Se vendieron más que los vehículos de motor de combustión interna de vapor y de gasolina en Estados Unidos en 1990, y sus ventas alcanzaron sus mayores cifras en 1912, con aproximadamente 30,000 unidades vendidas. Sin embargo, los vehículos de motor de combustión interna empezaron a dominar el mercado en esa época, sobre todo con el modelo Ford-T. A pesar de la expansión de la electricidad a los hogares, el establecimiento de estaciones de carga públicas por parte de empresas de suministro de electricidad e innovaciones como sistemas de cambio de batería rápida, vehículos de frenado regenerativo híbridos, los vehículos eléctricos perdieron terreno frente a los vehículos de motor de combustión interna por cuestiones de costo, alcance de recorrido, velocidad y tiempo de recarga.[3]

#### **1.1.2. Vehículo eléctrico**

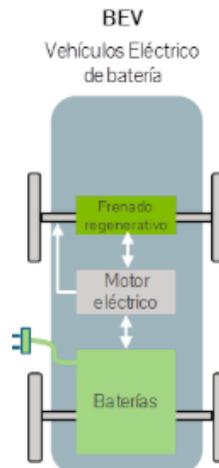
Se entiende por EVs aquel que utiliza uno o varios motores eléctricos para su tracción a partir de la energía eléctrica almacenada en baterías o acumuladores que se recargan desde la red eléctrica, en las baterías se almacena la energía de forma química que se transforma en energía eléctrica y posteriormente, a través del motor eléctrico, se convierte en energía mecánica. Para recargar las baterías, el EVs

necesita conectarse a una toma de corriente eléctrica, ya sea de baja intensidad de corriente (recarga lenta) o de alta intensidad (recarga rápida). Entre sus principales características, el EV se destaca por su nula contaminación en los entornos urbanos. También cabe comentar su inexistente contaminación acústica, así como los menores costos de uso y mantenimiento. [4]

### 1.1.3 Vehículo eléctrico de baterías (BEV)

Estos vehículos son propulsados por electricidad almacenada en una batería, diseñadas especialmente para este tipo de vehículos (Ilustración 2). En general son baterías de Li-Ion o baterías de níquel-hierro. La batería se carga en la red eléctrica convencional o un punto de carga pública. Su principal ventaja es que solo utiliza energía eléctrica como fuente de propulsión. En un vehículo BEV, la configuración es más simple que un sistema de combustión interna y se considera que su mantenimiento es inferior al requerido por un vehículo convencional. Adicionalmente, la vida útil de muchas de las piezas del sistema de tracción supera los 10 años. Otros atributos de los BEV radican en su eficiencia energética, operación a cero emisiones y la posibilidad de incorporar fuentes renovables en la generación de energía eléctrica. Sin embargo, las limitaciones están en su alto costo, propio de una tecnología en desarrollo comercial y autonomía de movilidad para entornos urbanos en función de la carga de las baterías. [4]

Ilustración 2. Esquema básico de los componentes de un BEV [5]



Fuente: Tipología de vehículos eléctricos [5]

#### **1.1.4 Batería de Níquel Cobalto Manganeso:**

Los cátodos de este tipo de baterías son fabricados con química NCM 811 y están formados por el 80% de níquel, el 10% de cobalto y el 10% de manganeso. La principal característica de esta nueva composición es la disminución de la cantidad de cobalto necesaria, uno de los minerales más escasos y complicados de encontrar actualmente, por lo que se abarataría el coste final por debajo de los 100 dólares el kilovatio.

Otra consecuencia importante de este cambio es el aumento de la densidad energética, lo que permitiría lograr mayores capacidades de batería con el mismo volumen y peso que las actuales. A cambio se aumenta la proporción de níquel, que puede provocar mayor inestabilidad térmica, lo que obligaría a disponer de sistemas activos de refrigeración más sofisticados. En 2020 se espera que estas baterías puedan incorporar la tecnología de electrolito sólido, lo que mejorará todavía más sus características, y les agregará un extra de seguridad, suponiendo una segunda revolución en su desarrollo. Como los muestra la ilustración ... estas son algunas de las baterías más utilizadas y las que tienen mejores prestaciones para la industria automovilística.[6]

#### **1.1.5 Baterías Plomo-Ácido**

Las baterías de plomo-ácido de ciclo profundo son las baterías que más se utilizan en los vehículos eléctricos de hoy en día. Particularmente usada en equipos montacargas, carros de golf y en automóviles eléctricos. Esta es una batería que opera a temperatura ambiente y que utiliza un electrolito acuoso. Las baterías de plomo-ácido son una tecnología barata, de fácil acceso y son altamente reciclables. Sin embargo, estas baterías presentan una baja densidad de energía y una baja energía específica, por esto, para un vehículo eléctrico se necesita un paquete muy grande y pesado de baterías. Es recomendable que las baterías de plomo-ácido sean utilizadas de tal forma de consumir su carga, cuidando de mantener un 20% de su capacidad de almacenamiento, esto se llama profundidad clasificada de descarga (DOD). Cuando se consume más del 80% de su capacidad, la vida útil de la batería se reduce. También existe una batería de plomo-ácido no acuosa, la cual contiene un ácido gelificado, el que corresponde a un gel de electrolito en vez de líquido. Estas baterías no necesitan ser montadas en una posición especial, puesto que no tienen involucradas pérdidas de líquidos. Esto implica que, en caso de accidente, no exista peligro de que el electrolito pueda derramarse. Las baterías de plomo-ácido no acuosas normalmente tienen una vida útil mayor que las baterías

de plomo-ácido acuosas, pero son más costosas. Electrosources, una compañía de Texas, con la ayuda del Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI), desarrolló una batería llamada Horizonte.

Esta nueva batería de plomo-ácido de ciclo profundo tiene una energía específica de 20,4-22,9Wh/lb (45-50 Wh/kg), por lo que se espera que ayude a aumentar la autonomía de un vehículo en aproximadamente 15%-35%. La nueva batería Horizonte tiene los electrodos positivos y negativos unidos a través de una fibra de vidrio, una construcción bipolar, que reduce la resistencia interna de la célula, que permite la carga y descarga de la batería en forma más rápida. Por el contrario, las placas de las baterías de plomo-ácido de ciclo estándar o profundo están montadas horizontalmente, en vez de verticalmente. [7]

### **1.1.6 Baterías Níquel-Acero y Níquel-Cadmio**

Las baterías de Níquel-Acero (células de Edison) y Níquel-Cadmio (NiCad), han sido usadas por muchos años. Ambas baterías tienen una energía específica de alrededor 25Wh/lb (55 Wh/kg), que es más alta que las baterías de plomo-ácido avanzadas. Además, estas baterías tienen un largo ciclo de vida. Ambas baterías son reciclables, es decir, a partir de una de estas baterías desechadas se puede construir parte de una nueva batería. También pueden ser descargadas hasta el 100% DOD sin producir daño. Sin embargo, estas baterías presentan una desventaja importante en costos. Dependiendo de los requerimientos de un vehículo eléctrico, el banco de baterías puede costar entre US\$ 20.000 y US\$60.000. Las baterías duran por lo menos 100.000 millas (160.900 kilómetros) en servicio normal.[7]

### **1.1.7 Baterías Níquel-Metal Hidruro**

Esta batería fue desarrollada originalmente por Ovonic Troy de Michigan. Las baterías de Níquel-Metal hidruro son la mejor generación de baterías conocidas. Tienen una alta energía específica, alrededor 40.8 Wh/lb (90 Wh/kg). Una de las aplicaciones reales de esta batería, la llevó a cabo Solectria Corporation, la cual propuso la construcción del vehículo "Tour de Sol", en 1996. Este vehículo logró una autonomía de 373 millas (600 kilómetros) con una sola carga de las baterías. Según un informe de GAMA, las baterías son benignas para el medio ambiente y son reciclables. Esta batería también tiene una vida útil muy larga, medida en ciclos de recarga. Las baterías del Níquel-Metal hidruro tienen un buen índice de auto-descarga, pierden su carga eléctrica después de períodos largos de tiempo y están comercialmente disponibles como pilas "AA" y "C", para aplicaciones domésticas y

juguetes pequeños. Gran parte de la producción de estas baterías está destinada al uso de automóviles eléctricos, y sólo están disponibles para los fabricantes. [7]

### **1.1.8 Baterías Sulfuro de Sodio**

La empresa estadounidense Ford Motor Company utiliza baterías de Sulfuro de Sodio en su modelo Ecostar, la cual es una Mini-Van que se vende actualmente en Europa. Las baterías de Sulfuro de Sodio están disponibles sólo para los fabricantes de vehículo eléctricos. Esta batería es una batería de alta temperatura, con un electrolito que funciona a temperaturas de 572°F (300°C). Los materiales de esta batería deben ser capaces de soportar las altas temperaturas internas que se generan, por lo tanto, deben soportar también los cambios de temperatura. Esta batería tiene una energía específica muy alta: 50 Wh/lb (110 Wh/kg). En cuanto a seguridad, la batería presenta un riesgo importante, puesto que el Sulfuro explota en contacto con el agua.[7]

### **1.1.9 Baterías de Litio-Hierro y Litio-Polímero**

El USABC considera las baterías de Litio-Hierro como una solución a largo plazo para los vehículos eléctricos. Las baterías tienen una energía específica muy alta: 68 Wh/lb (150 Wh/kg). Tienen un electrolito de sal fundida y muchas de las características de una batería bipolar sellada. Las baterías de Litio-Hierro también se destacan por tener una vida por ciclo muy larga. Estas baterías pueden permitir que, en el futuro, un vehículo tenga rangos de recorrido y aceleraciones comparables con los vehículos convencionales de motor a gasolina. Las baterías de Litio-Polímero eliminan los electrolitos líquidos. Este tipo de baterías pueden ser moldeados en una gran variedad de formas y tamaños (Ilustración 3).[7]

Ilustración 3. Batería Nissan Leaf



Fuente: Sección de innovación revista América Retail

### 1.1.10 Baterías Zinc-Aire y Aluminio-Aire

Estas baterías utilizan el aluminio o el zinc como ánodo sacrificado, llamado así porque la batería produce electricidad disolviendo el ánodo en el electrolito. Cuando el ánodo se disuelve totalmente, uno nuevo se coloca dentro del vehículo. La placa de aluminio o zinc disuelta se saca y se envía al fabricante, ya que el electrolito es fácilmente reciclable. Estas baterías tienen una energía específica sobre 97 Wh/lb (200 Wh/kg) y se han probado en algunas furgonetas postales alemanas.

Las baterías son de 80 kWh de almacenamiento, que entrega una autonomía sobre 13 galones (49.2 litros) de un vehículo a gasolina. En las pruebas hechas en las furgonetas, se alcanzaron 615 millas (990 kilómetros) a 25 millas por hora (40km/h).[7]

### 1.2 Estado del arte:

Dentro de la revisión bibliográfica su puede encontrar proyectos de ley, pruebas pilotos con autos eléctricos y estudios por parte de las ciudades y gobiernos locales e internacionales buscando gestionar la movilidad eléctrica a nivel particular como a nivel público, ejemplo de esto es el diseño del marco regulatorio para la incorporación de vehículos eléctricos elaborado para Colombia el cual ya está en proceso de ser radicado[8] y que tiene por objeto promover el uso de vehículos eléctricos a través de incentivos y beneficios para sus propietarios, de modo que contribuya a la movilidad sostenible y a la reducción de emisiones de gases de

efecto invernadero. Algunos de los incentivos mencionados allí son respecto a los costos de matrícula y revisión técnico-mecánica para vehículos eléctricos, este último incentivo se planeó pensando en que estos vehículos no necesitaran la prueba de gases contaminantes ya que son cero emisiones.

Un estudio en la ciudad de Ambato Ecuador para el 2015, trabajó con varios taxistas del sector quienes respondieron encuestas sobre que perspectiva tenían ellos acerca de los vehículos eléctricos en una primera parte y en una segunda parte del estudio determinaron la factibilidad económica y financiera de la adquisición de vehículo Nissan Leaf por parte de las cooperativas de taxistas a lo que concluyeron que era rentable puesto que se evidenciaron ahorros en el funcionamiento del 50% anual en este tipo de vehículos.[9]

Otro estudio relacionado con la implementación de movilidad eléctrica en el sector público es la “PROPUESTA DE IMPLEMENTACION DE TAXIS HIBRIDOS A GASOLINA Y ELECTRICOS EN CUENCA”, en este proyecto se determinaron los diferentes impactos que podría generar la implementación de taxis híbridos en la ciudad de Cuenca Ecuador y sus benéficos respecto a los vehículos de combustión convencionales, a su vez se realizó un análisis financiero teniendo en cuenta cada uno los costos de operación , mantenimiento e inversión inicial con el fin de determinar la viabilidad económica de los taxis híbridos respecto a los actuales.

En cuanto a la implementación de taxis eléctricos en el ámbito nacional destacan dos proyectos que se llevaron a cabo en las ciudades de Bogotá y Medellín.

El proyecto de Bogotá consistió en la operación de un piloto de taxis con motores de tracción eléctrica, alimentados por baterías internas recargables. Fue autorizada mediante el Decreto 677 de 2011[10], con el cual la Administración Distrital expresó la necesidad de desarrollar instrumentos y herramientas que sustenten y favorezcan la posterior formulación de una política de movilidad eléctrica, dando pasos firmes en la modernización y adopción de tecnologías ecoeficientes en el transporte de Bogotá.

#### Ilustración 4. Taxi eléctrico de la prueba piloto Bogotá



Fuente: Secretaria distrital de Ambiente [11]

Para esta prueba piloto se puso en operación 50 taxis eléctricos modelo e6 (Ilustración 4) de la compañía automotriz china BYD en el año 2013. Según el decreto 677 de 2011 los propietarios de estos vehículos no estaban sujetos a la compra del cupo el cual según el decreto 172 del ministerio de transporte, es el derecho a transportar un vehículo de servicio de transporte taxi en el país, del mismo modo el decreto 677 de 2011 exonera a los vehículos del pico y placa con el fin de incentivar la compra de estos mismos [11].

Por último, se encuentra el proyecto de taxis eléctricos en Medellín este fue presentado el 3 de mayo de 2019 por parte de la alcaldía de Medellín y Empresas Públicas de Medellín (EPM) y cual busca introducir 1500 taxis eléctricos en los próximos tres años a través de la reposición de taxis convencionales que operan con gasolina (Ilustración 5).

## Ilustración 5. Taxi eléctrico Medellín

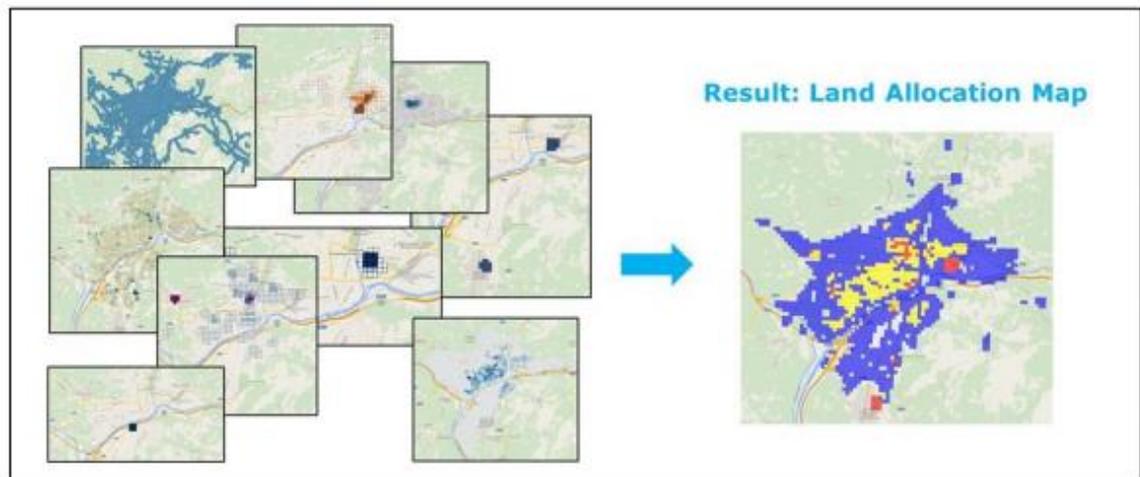


Fuente: Secretaria de movilidad de Medellín [12]

Debido a que la inversión inicial de un vehículo eléctrico es más alta con respecto a los vehículos de combustión interna EPM entregará un incentivo de \$18.300.000 COP de igual manera la Resolución 2019500009417 expedida por la secretaria de Movilidad de Medellín determinó que la tarifa para el transporte público terrestre automotor individual de pasajeros en vehículos eléctricos tendría un valor de \$6.800 COP diferente a los \$5500 COP de tarifa que tienen los taxis convencionales[13]

En cuanto a la distribución de las electrolineras dentro de una área metropolitana o ciudad se encuentran trabajos como Optimal allocation of electric vehicle charging infrastructure in cities and regions[14] el cual describe la metodología para determinar el área óptima para asignar la infraestructura de recarga de EV (Ilustración 6) a nivel de ciudad, regional o ciudad. Dicho estudio fue realizado o centrado a la ciudad de Bolzano/Bozen (Italia) y a nivel de región o nacional en la provincia de Alto Adige/Südtirol (Italia). El principal argumento para ubicar dichas electrolineras fue la densidad poblacional, información que fue facilitada por las autoridades locales obteniendo el siguiente resultado:

Ilustración 6. Mapa de asignación de tierras obtenido a través del álgebra del mapa y factores de ponderación en trama



Fuente: Optimal allocation of electric vehicle charging infrastructure in cities and regions [14]

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Proponer un escenario para la incorporación de taxis eléctricos en el área metropolitana de Bucaramanga; determinando tendencias de operación en los recorridos, su autonomía de funcionamiento, los tiempos de carga en electrolinerías y costos de mantenimiento, teniendo como escenarios base vehículos a gasolina y a gas y así comparar estos resultados.

### 2.2 Objetivos específicos

- Identificar las barreras que pueden afrontar los taxis eléctricos en Bucaramanga.
- Determinar las diferentes autonomías de un taxi convencional a gas y a gasolina y un Vehículo eléctrico para una comparación técnica y económica de estos.
- Analizar la infraestructura requerida para incorporación de taxis eléctricos en Bucaramanga (cantidad de electrolinerías y distribución).

- Generar recomendaciones de actuaciones políticas que puedan incentivar a los taxistas el adquirir este tipo de tecnología.

### **3. Metodología**

#### Fase 1: Determinación de barreras

- Revisión bibliográfica e identificación de barreras

#### Fase 2: Estudio de tendencia de recorridos

- Planificación de la prueba
- Análisis de recorridos
- Determinación de la ruta característica

#### Fase 3: Prueba de autonomía y consumo

- Selección de vehículos
- Definición del sistema de medición de combustible
- Determinación de autonomías o consumo de combustible

#### Fase 4: Análisis financiero

- Determinación de costos
- Determinación de ahorros
- Ampliación del modelo de flujo de caja
- Determinación de indicadores

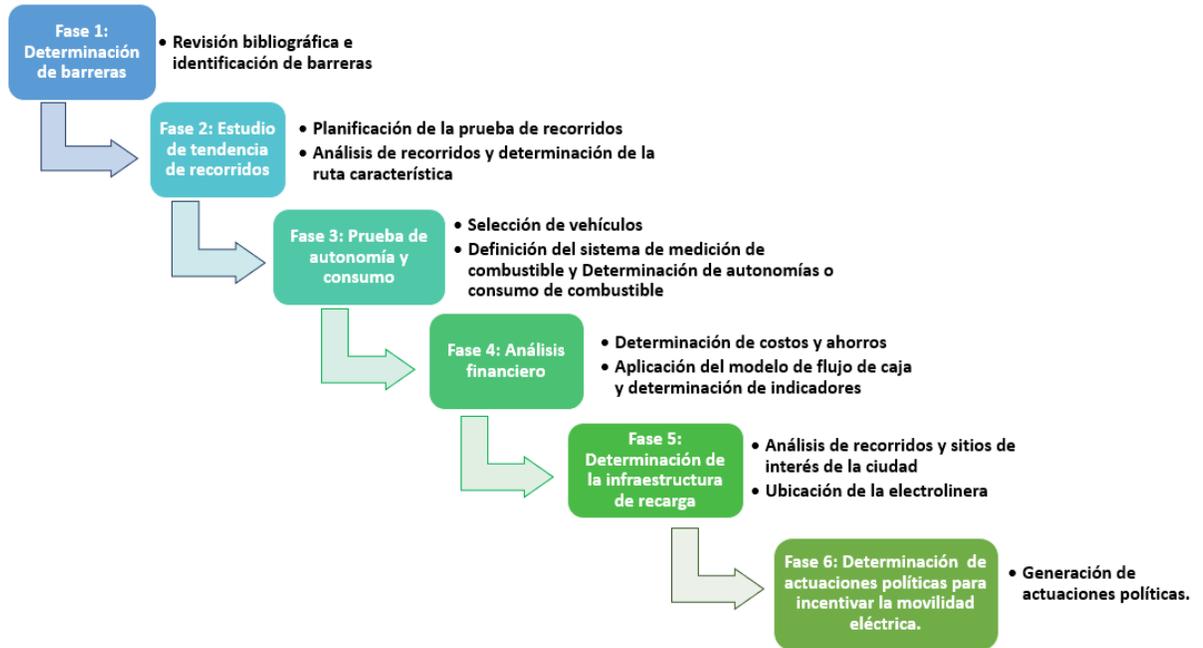
#### Fase 5: Determinación de la infraestructura de recarga

- Análisis de recorridos y sitios de interés de la ciudad
- Ubicación de la electrolinera

#### Fase 6: Determinación de recomendaciones para incentivar la movilidad eléctrica

- Generación de recomendaciones

## Ilustración 7. Metodología



Fuente: Propia

## 4. Desarrollo

### 4.1 Determinación de barreras para la incorporación de vehículos eléctricos

Los VE en Colombia están empezando a entrar al mercado no como se esperaba que fuese ya que aún el país no se organiza tanto en infraestructura y normas que regulen y promuevan la movilidad eléctrica, sin embargo, ciudades como Medellín, Pereira y Cali ya están empezando a trabajar con este tipo de vehículos, iniciando con adquisiciones de estos para el servicio de entidades gubernamentales como la alcaldía y la dirección de tránsito de los municipios, siendo una buena manera de incentivar el cambio hacia la movilidad eléctrica impulsada desde los gobiernos locales. Sin embargo, el número de taxis eléctricos que forman parte de la flota nacional es aún insipiente y para el caso de Bucaramanga es nulo.

Las barreras que afectan la masificación de los taxis eléctricos son:

- Infraestructura (puntos de recarga, talleres especiales para VE)
- Precios (Costos altos de adquisición) y Políticas (IVA, Estructura tributaria).

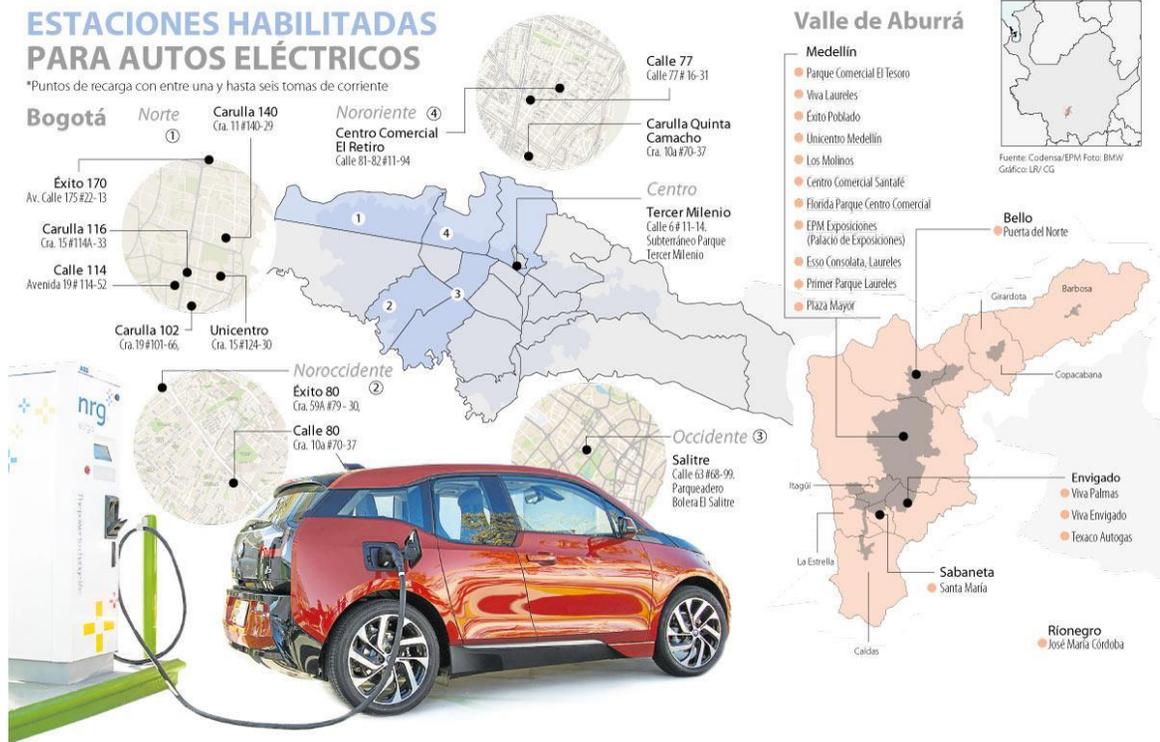
#### 4.1.1 Infraestructura

Los centros de recarga de vehículos eléctricos en el país son bastante escasos pues según el diario La República solo hay 30 estaciones que prestan este servicio en todo el país las cuales se encuentran 17 en el valle de Aburrá y los 13 restantes en Bogotá[15] (Ilustración 8), de forma que se convierte en un problema para quienes quieren adquirir un vehículo eléctrico en la actualidad puesto que es latente el riesgo a quedar inmóviles al no encontrarse una estación de servicio cercana.

En cuanto a los talleres de asistencia técnica para este tipo de vehículos no serán los mismo talleres mecánicos que en la actualidad se conocen ya que la tecnología no es del todo la misma, requiriendo una mano de obra especializada en temas de electrónica y electricidad pues hay que tener en cuenta que son motores eléctricos y baterías la esencia de funcionamiento de estos además se prevé un mayor riesgo para quienes trabajen con estos vehículos puesto que los voltaje de operación pueden llegar a ser de hasta 450 Volts[15]

Los hogares requieren tener sus propios enchufes de carga lenta para los vehículos pues no todo el tiempo se tendrá la disposición de hacer fuera, dicha instalación se debe gestionar con los operadores de red locales pues se necesitará regulación de este consumo de energía.[16] Ejemplo de esto autos como el Renault ZOE traen su propio enchufe de carga lenta a 110V sin embargo, en los garajes se pueden instalar las denominadas Wallbox el cual es una sistema en forma de caja pegado a la pared que puede cargar el auto de una manera más rápida ya que funciona a 220V y puede entregar una potencia de hasta 7,4 kWh según la empresa ercoenergy.[17] [18]

## Ilustración 8. Electrolineras en Colombia



Fuente: Revista la republica [15]

Vale la pena resaltar que en el último año (2019) en la ciudad de Bucaramanga se instaló una electrolinera por parte del operador de red ESSA grupo EPM, con una capacidad de 40,2 kWh en la carrera 21 con calle 45[19](Ilustración9) . Dicha electrolinera está en funcionamiento desde el pasado 26 de marzo y se espera promover en la región la movilidad eléctrica con lo que queda del año con recargas totalmente gratuitas.

## Ilustración 9. Electrolinera de Bucaramanga



Fuente: Página oficial de la ESSA[19]

### 4.1.2 Precios y políticas

En Colombia es relativamente costoso comprar un vehículo eléctrico sin embargo se ha mantenido después de la última reforma tributaria expedida el 28 de diciembre de 2018, que los vehículos eléctricos estén exentos de pagar impuestos arancelarios y se ha dejado un Impuesto al valor agregado (IVA) del 5% [20] (aunque se prometía ser eliminado). Los siguientes son los precios de los vehículos eléctricos más vendidos de Colombia en el periodo comprendido entre el 2011 y el 2018 según la Asociación de vehículos automotores de Colombia:

Tabla 1. Vehículos eléctricos más vendidos en Colombia 2018

Vehículo	Precio COP
BMW I3	164.900.000
Renault Twizy	40.000.000
Renault Zoe	100.000.000
Renault Kangoo Z.E	88.500.000

Fuente: Revista ANDEMOS

Como se puede observar el precio de este tipo de vehículos es muy bajo y se entiende ya que es una tecnología en proceso de masificación que por el momento está empezando en nuestro país. Los propietarios de estos vehículos también

deberán cumplir con una carga tributaria como lo haría cualquier otro propietario de un vehículo convencional, dichas cargas tributarias son la matrícula del vehículo la cual para el 2014 tiene un precio de 304.000 COP y cambios de propietarios por valor de 108.000 COP para el 2014. Los impuestos de estos vehículos por defecto vienen siendo los mismos que aplicarían para un vehículo convencional, puesto que dentro de la ley 488 de 1998[20] no se establecen beneficios especiales para los vehículos eléctricos es decir que estarían pagando entre un 1,5% a un 3,5 % del valor total registrado en la declaración de importación, dicho porcentaje es más alto o más bajo dependiendo del costo de adquisición[20].

Sumado a esto la actual estructura tributaria incentiva el uso de vehículos viejos lo que da como resultado que el parque automotor no se renueva con rapidez y trayendo resultados como que el promedio de edad de los vehículos en Colombia es de 16 años[21] una cifra bastante alta si se le compara con países como Alemania donde el 80% de su parque automotor no tiene más de 5 años[22].

## 4.2 Estudio de tendencia de recorridos de taxis en Bucaramanga

### 4.2.1 Planificación de la prueba de recorridos

Para llevar a cabo esta fase, dadas a la aleatoriedad en los recorridos de los taxis y cantidad de taxis en el área metropolitana de Bucaramanga se optó por definir como objeto de estudio a una empresa de taxis de la ciudad. La empresa a la cual se decidió hacer el muestreo fue a HENRY TAXIS S.A.S, esta empresa cuenta con alrededor de 31 taxis, entre los cuales se distinguen 3 modelos.

- Taxi Hyundai i10

Tabla 2. Especificaciones técnicas i10

Vehículo 1	
Marca	Hyundai
Modelo	i10
Cilindrada	1248[CC]
Potencia a 6000 rpm	87[CV]
Torque a 4000 rpm	120[Nm]
Combustible	Gasolina
Consumo teórico medio	4,9[l/100Km]

Fuente: Página oficial concesionaria Hyundai [23]

Ilustración 10. Hyundai i10



Fuente: Propia

- Taxi Kia Picanto ION

Tabla 3. Especificaciones técnicas Kia Picanto

Vehículo 2	
Marca	Kia
Modelo	Picanto ion
Cilindrada	1250[CC]
Potencia a 6000 rpm	84[CV]
Torque a 4000 rpm	122[Nm]
Combustible	Gasolina
Consumo teórico	4,5-5,8[l/100Km]

Fuente: Página oficial concesionaria Kia [24]

Ilustración 11. Kia Picanto



Fuente: Propia

- Spark

Tabla 4. Especificaciones técnicas Chevrolet Spark

Vehículo 3	
Marca	Chevrolet
Modelo	Spark life
Cilindrada	995[CC]
Potencia a 5400 rpm	66[CV]
Torque a 4200	91[Nm]
Combustible	Gasolina
Consumo teórico	6,0[l/100Km]

Fuente: Página oficial concesionaria de la marca[25]

Ilustración 12. Chevrolet Spark



Fuente: Propia

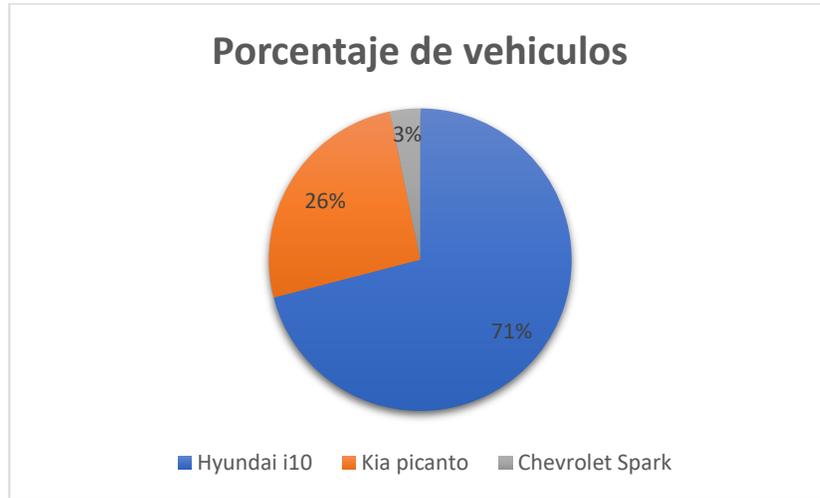
Una vez identificados los modelos se procedió a realizar el cálculo del porcentaje que representaba cada uno de los modelos respecto a la muestra total de la empresa de taxis.

Tabla 5. Inventario de taxis Henry Taxis

MODELO DE TAXI	CANTIDAD
Hyundai i10	23
Kia Picanto	7
Chevrolet Spark	1

Fuente: Propia

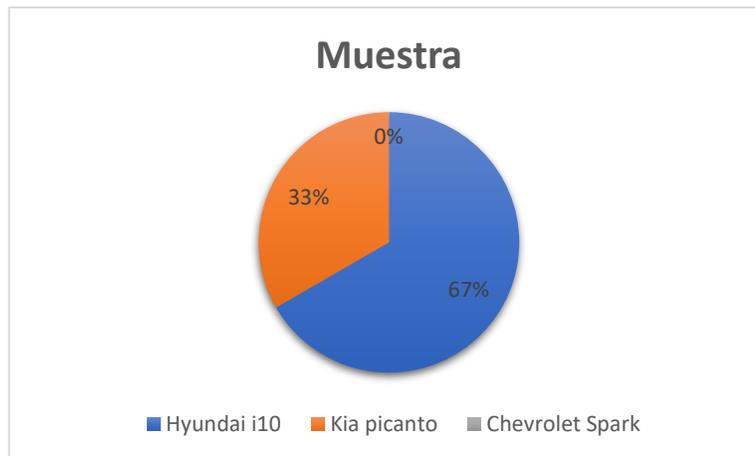
Ilustración 13. Proporción de los taxis de HenryTaxis



Fuente: Propia

Una vez determinado los datos del número de taxis y porcentaje de cada modelo (Ilustración 13), se decidió realizar las pruebas con una muestra total de nueve automóviles los cuales representa el 29% de la empresa, debido a las limitaciones de tiempo y de recursos no se pudo realizar las pruebas con la flota total sin embargo para esa población de taxis de la empresa la muestra estudiada es representativa. Finalmente, los modelos con los que se hicieron la prueba de tendencia en recorridos fueron 6 autos modelo Hyundai i10 y 3 autos modelos Kia Picanto

Ilustración 14. Proporción de marcas de la muestra seleccionada



Fuente: Propia

Se puede apreciar (Ilustración 14) que la representatividad se mantiene para la muestra seleccionada, aunque no se tenga en cuenta el modelo de Chevrolet debido a que solo se cuenta con un ejemplar en toda la flota.

La prueba se llevó a cabo entre el 26 de febrero y 12 de marzo de 2019, en este tiempo el gerente encargado proporcionó los 9 taxis planteados anteriormente para las pruebas.

Cada recorrido se hizo en turnos de aproximadamente 10-12 horas las cuales comprendían entre las 6 AM y 9PM y en días entre semana (de lunes a viernes). La prueba consistió en dejar un dispositivo móvil dentro del carro que contaba con GPS y la aplicación Geotracker, esta aplicación realiza un seguimiento de la ruta mientras el taxi estaba en movimiento y su vez almacenado los datos como velocidad, distancia y elevación sobre el nivel del mar en tiempo real. Cabe aclarar que antes de realizar las pruebas con la aplicación se puso a prueba su funcionamiento con cortos trayectos en automóvil y se determinó que los datos suministrados por la aplicación eran confiables pues las velocidades y las distancias eran medidas en tiempo real y se comparaban con las dadas en la aplicación (Ilustración 15).

Ilustración 15. Ruta de prueba de la aplicación



Fuente: Propia



Para la realización de esta ruta, primero se tomó las vías más importantes de Bucaramanga, Floridablanca y Girón pues al finalizar el total de las pruebas se observó que los taxistas frecuentaban mucho estos municipios del área metropolitana de Bucaramanga (Tabla 6), no se tomó en cuenta el municipio de Piedecuesta debido a que de las 10 rutas que se tenía, solo unas de ellas tenían un recorrido a este municipio, por lo cual no es un destino frecuente para la muestra tomada y se decidió despreciarlo. (Las 10 rutas realizadas por los taxistas en cada una de las pruebas)

Luego se procedió a colocar cada una de las rutas en la página web <http://kmlviewer.nsspot.net> para poder realizar el conteo de las veces que cada taxista paso por los tramos viales que se seleccionaron anteriormente.

Una vez hecho esto, se ordenó la tabla de mayor a menor con respecto a la frecuencia de cada tramo y a su vez se resaltaron aquellas rutas que tuviesen una frecuencia mayor a 15 dando como resultado la siguiente tabla.

Como consideración no se tomó la Carrera 15 entre Avenida quebrada seca y diagonal 15 debido a que es ruta exclusiva para el sistema de transporte masivo Metrolínea.

Tabla 6. Tramos viales con su respectiva frecuencia

Vía	Direccion		N° veces
	Desde	Hasta	
Cra33	Calle 56	Cacique	55
Avenida Floridablanca	Puente provenza	Cañaverál	39
Cra33-Cra 33a	Avn quebradaseca	Calle 34	34
Cra27	Avn quebradaseca	calle 36	33
Bulevar Bolívar	Parque San francisco	Cra 27	32
Avenida Floridablanca	Cañaverál	Papi quiero piña	32
Cra27	Avn La rosita	Avn Gonzalez Vlanecia	30
Avn Gonzalez Valencia	Cra 27	Calle 56	30
Avenida Floridablanca	Calle 67	Puente provenza	30
Cra27	calle 36	Avn La rosita	28
Avn quebradaseca	Cra 30	Cra 27	27
Cra27	Avn Gonzalez Vlanecia	Calle 56	26
Calle 45	Cra 15	Chimita	24
Calle 105	Puente provenza	Puente el Bueno	24
Avn quebradaseca	Cra 33a	Cra 30	23

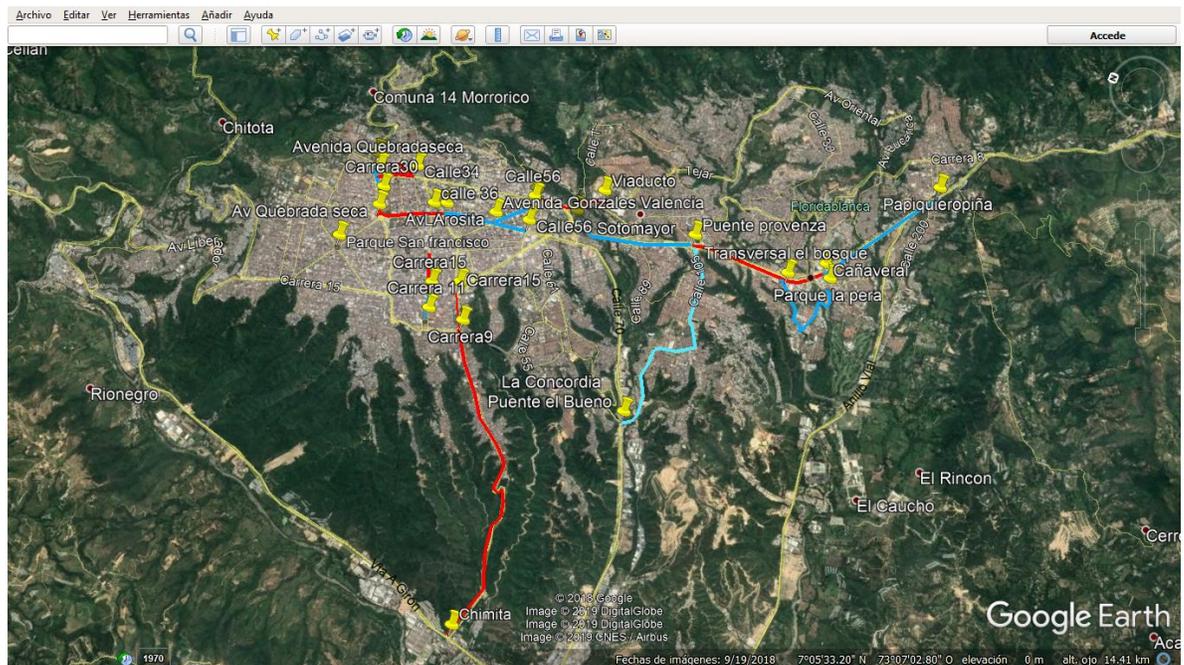
Cra27	Calle 56	calle 67	22
Transversal bosque	Foscal	Parque la pera	22
Diagonal 15	Avenida la rosita	Calle 54	22
Calle 36	Cra 21	Cra 15	21
Diagonal 15	Avenida la rosita	Calle 61	20
Calle 61	Diagonal 15	Avn Bucaros	19
Avn Gonzalez Valencia	Avn La rosita	Cra 27	18
Cra 36	Calle 45	Calle 51	17
Cra33	Calle 34	Calle 36	16
Cra21	Calle 22	Avn quebradaseca	16
Avn quebradaseca	Cra 27	Cra 21	16
Calle 45	Avn Gonzalez valencia	Cra 15	16
Calle 56	Cra 36	Avn Gonzalez valencia	16
Calle 56	Avn Gonzalez valencia	Cra 23	16
Cra27	calle 14	Avn quebradaseca	15
Avn quebradaseca	Cra 21	Cra 15	15
Avn quebradaseca	Cra 15	Cra 9	15
Calle 36	Cra 15	Cra 11	15
Cra21	Parque San francisco	Calle 22	14
Calle 36	Cra 33	Cra 27	14
Calle 36	Cra 27	Cra 21	14
Anillo vial	Papi quiero piña	Rincon de Giron	14
Cra 36	Calle 51	Calle 56	13
Bulevar Santander	Parque San francisco	Cra 15	13
Calle 64-65	Cra 5	Puente el Bueno	13
Calle 70	Puente bueno	Parque principal de giron	13
Cra33	Calle 36	Calle 41	12
Cra33	Calle 51	Calle 56	12
Cra21	Avn quebradaseca	Calle 36	12
Cra 36	Calle 38	Calle 45	12
Avn La rosita	Cra 27	Avn Gonzalez valencia	11
Calle 14	Cra 35	Gloriera INDER	11
Calle 56	Cra 23	Cra 17	11
Cra27	calle 67	Puente bueno	10
Avn La rosita	Cra 32	Cra 27	10
Cra33	Calle 41	Calle 45	9
Cra33	Calle 45	Calle 51	9
Calle 61	Avn Bucaros	Cra 8	9
Cra21	calle 10	Parque San francisco	8

Cra21	Calle 45	Calle 56-diagonal 15	8
Calle 45	Cra 38	Cra 33	8
Calle 56	Cra 17	Cra 14	7
Cra21	Calle 36	Calle 45	6
Cra 36	Calle 34	Calle 38	6
Avn La rosita	Cra 18	Cra 15	6
Calle 14	Gloriera INDER	Cra 27	6
Tejar 104	Viaducto la flora	Calle 48 florida	6
Cra27	calle 9	cale 14	5
Avn La rosita	Avn Gonzalez valencia	Cra 18	5
Bulevar Santander	Calle 14	Parque San francisco	5
Bulevar Bolivar	Cra 15	Parque San francisco	4
Calle 36	Cra 37	Cra 33	3
Calle 14	Cra 27	Cra 24	2
Calle 45	Cra 27	Avn Gonzalez valencia	2
Calle 45	Cra 33	Cra 27	1

Fuente: Propia

Luego se procedió a resaltar los tramos viales en el programa Google Earth para determinar de qué manera se podían unir estas rutas en una sola (Ilustración 17).

Ilustración 17. Tramos viales con mayor frecuencia



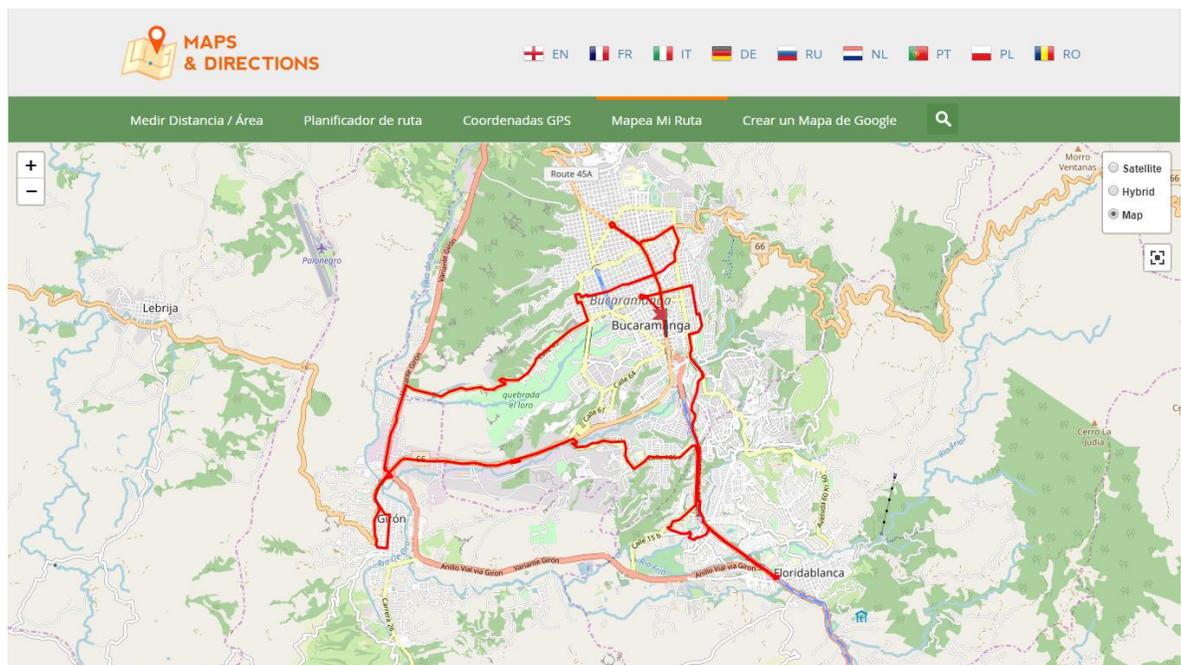
Fuente: Propia

### 4.2.3 Determinación de la ruta característica

Finalmente, por medio de la página <https://www.mapsdirections.info/> se realizó lo que sería la ruta característica (Ilustración 18) y por la cual se realizara las pruebas de autonomía con los otros vehículos.

Esta comprende de tramos residenciales tramos urbanos y autopistas para abarcar todos los tipos de vías del área metropolitana de Bucaramanga y los municipios adyacentes como Floridablanca y Girón.

Ilustración 18. Ruta característica vista en <https://www.mapsdirections.info/>



Fuente: Propia

Otra forma de tratar los datos para obtener la ruta característica de forma más exacta e ingenieril es utilizando el complemento del programa Excel llamado Mapa 3D (Ilustración19) en donde las coordenadas de cada una de las rutas se pueden cargar en un mapa pero antes se -debe hacer un tratamiento de dichos datos puesto que la aplicación Geotraker permite exportar los datos en formato KML, una vez en este formato se tendría que convertir en formato JPX ya que con este formato se puede abrir en el software MapSource y tener los datos de cada coordenada se

pueden observar a detalle y en forma de listas de datos numéricos para finalmente tratarlos en Excel.

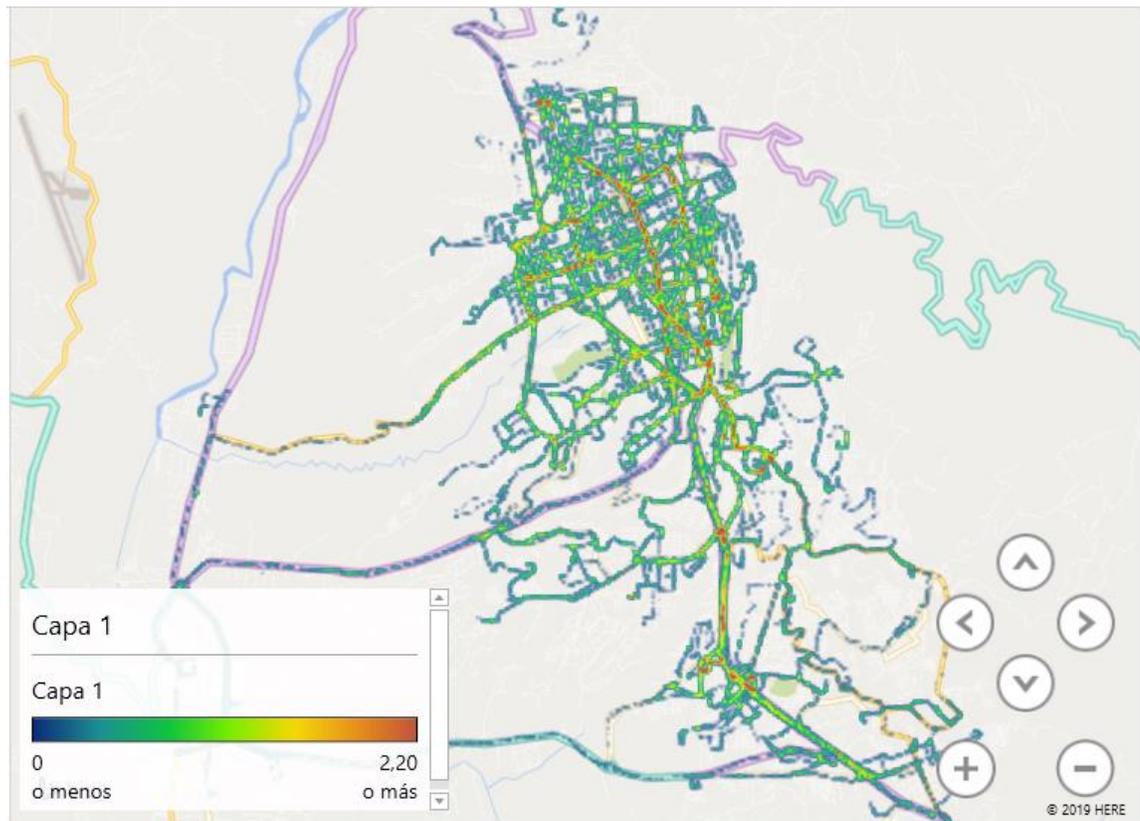
Teniendo ya el mapa de calor es mucho más fácil observar cada punto registrado (Ilustración 19) por la aplicación puesto que las ilustraciones permiten de forma colorida diferenciar variables como frecuencia y promedios de los datos cargados al mapa. Dichos datos cargados en el siguiente mapa fueron los de las 10 rutas registradas por la aplicación, dando un total de 55.747 coordenadas diferentes y con la información obtenida de cada ruta determinar la distancia que recorre en promedio cada taxi (Tabla 7).

Tabla 7. Distancia promedio de las 10 rutas

Total		
Variable	Valor	Unidades
Tiempo recorrido promedio	12,6602	[h]
Distancia promedio recorrida	179,4	[Km]

Fuente: Propia

Ilustración 19. Mapa de calor de las recorridas por los taxistas



Fuente: Propia

Se puede observar que los datos graficados son mas intensos en ciertos puntos del area que en otros y esto se debe a cuantas veces pasaron los taxis por ese lugar. Tambien se puede ver la ruta caracteristica abarca los lugares con mas frecuencia de recorrido según el mapa anterior.

### 4.3 Prueba de autonomía y consumo

#### 4.3.1 Selección de vehículos

Teniendo la ruta característica se procede a realizar la prueba de autonomía con los tres diferentes autos en estudio, estos vehículos fueron los siguientes:

Tabla 8. Especificaciones técnicas de auto en prueba con GNV

Vehículo 1	
Marca	Hyundai
Modelo	i10
Cilindrada	1245[CC]
Potencia a 6000 rpm	87[CV]
Torque a 4000 rpm	120[Nm]
Combustible	GNV

Fuente: Propia

Tabla 9. Especificaciones técnicas de auto en prueba con Gasolina

Vehículo 2	
Marca	Hyundai
Modelo	I10
Cilindrada	1000[CC]
Potencia a 6000 rpm	84[CV]
Torque a 4000 rpm	122[Nm]
Combustible	Gasolina
Consumo teórico de Gas	4,9[l/100Km]

Fuente: Propia

Tabla 10. Especificaciones técnicas de auto en prueba con Electricidad

Vehículo 3	
Marca	BYD
Modelo	e5
Capacidad de batería	60[kWh]
Potencia 3000-10000 rpm	160[CV]
Torque a 3000	310[Nm]
Combustible	Electricidad
Autonomía NEDC	400 [Km]

Fuente: Propia

#### 4.3.2 Definición del sistema de medición de combustible y Determinación de autonomías o consumo de combustible

Dicha prueba empezó a las 8.30am en la electrolinera de la ciudad de Bucaramanga ubicada en la Carrera 21 haciéndose de modo caravana, es decir, un carro detrás del otro de tal forma que se garantizaran las mismas condiciones de operación en el recorrido.

Finalmente se obtuvieron los siguientes datos de autonomía para cada tipo de vehículo:

El vehículo a gas contaba con un tanque de almacenamiento de 8 [m<sup>3</sup>] el cual fue llenado en su totalidad antes de iniciar la prueba por lo que al terminar se volvió a llenar este tanque y de esta forma saber cuánto combustible habría consumido durante la ruta dando como resultado 2.94 [m<sup>3</sup>] de GNV consumidos el cual tuvo un costo de 4.425 COP (Ilustración 20), prueba de ellos es la siguiente imagen de la estación de servicio en donde se hizo la compra:

Ilustración 20. Precio y cantidad de GNV consumido en la prueba



Fuente: Propia

El vehículo a gasolina por su parte fue monitoreado por un dispositivo llamado OBD II (On Board Diagnostics) el cual es un sistema de diagnóstico vehicular, como sus siglas en inglés lo indican, incorporado al vehículo y que tiene la función de controlar y monitorear tanto al motor como algunos otros dispositivos, para esta prueba se interesaba monitorear el nivel de combustible en el tanque por lo que esta variable fue habilitada para ser supervisada durante todo el recorrido, resultando que el costo de gasolina del recorrido fue de unos 9.753 COP con un costo del galón de gasolina de 9.100 COP, prueba de ello es la siguiente imagen de los datos arrojados por el OBD II en formato de tabla de Excel.(Figura 21)

Ilustración 21.Excel entregado por el OBD II después de la prueba

GPS Time	Device Time	Longitude	Latitude	GPS Speed (Horizontal)	Altitude	Bearing	G(x)	G(y)	G(z)	G(calibrated)	Fuel used (trip)(gal)	Fu
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-7.311.992.006	7.116.462.942	0	8	974	0	130.124.867	479.319.191	883.460.426	0.05396373	1,0712148	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-7.311.992.006	7.116.462.942	0	10	974	0	0.93014735	492.726.707	859.159.279	0.02868851	1,0712616	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-7.311.992.006	7.116.462.942	0	10	974	0	190.099.621	573.052.168	752.736.998	0.01432555	1,0713283	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-7.311.992.006	7.116.462.942	0	10	974	0	260.369.444	624.168.396	769.137.287	0.06301922	1,0713972	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-7.311.992.006	7.116.462.942	0	9	974	0	-0.20829555	365.714.312	841.442.204	0.01457883	1,0714467	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-7.311.992.006	7.116.462.942	0	8	974	0	0.8762778	49.691.658	862.870.312	0.02637032	1,0715129	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-7.311.993.264	7.116.472.414	0.03	8	973	326.1	-0.19393034	329.442.143	950.258.636	0.04116875	1,0715742	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-7.311.993.121	7.116.475.515	0.17	10	972	326.1	-0.2693477	329.202.724	915.901.852	0.01149809	1,0716413	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-7.311.992.803	7.116.476.186	0.14999999	9	972	326.1	-0.2621651	322.858.095	941.639.519	0.03408247	1,0717080	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-731.199.266	7.116.478.491	0	8	973	0	-0.02274492	330.040.693	923.323.917	0.02304041	1,0717577	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-731.199.266	7.116.478.491	0	9	973	0	-0.21787235	336.505.055	927.394.009	0.02996429	1,0718213	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-731.199.266	7.116.478.491	0	9	973	0	0.1376666	338.659.835	942.477.512	0.02871851	1,0718213	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-731.199.266	7.116.478.491	0	9	973	0	-0.07900865	329.083.014	913.866.806	0.00915766	1,0718213	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-731.199.266	7.116.478.491	0	9	973	0	-122.702.837	410.246.468	994.671.059	0.1593896	1,0718213	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-731.199.266	7.116.478.491	0	7	973	0	0.2645593	721.013.832	59.292.407	0.00750886	1,0718213	-
Thu Apr 25 11:25-Apr-2019	-731.199.266	7.116.478.491	0	8	973	0	0.9540894	794.755.268	530.195.951	0.0126756	1,0718213	-
							Precio de Gasolina	9.100	COP			
							Consumo	9.753,57				

Fuente: Propia

El vehículo eléctrico por su parte cuenta con tecnología más sofisticada y el monitoreo de su consumo de energía basto con solo registrar fotográficamente el panel de instrumentos del auto puesto que allí se puede ver el estado de la batería, un estimado de autonomía, la regeneración de las baterías por el frenado, entre otras características de rendimiento del o funcionamiento del vehículo. Este mismo inicialmente se encontraba con el 100% de su batería como se puede ver en la siguiente imagen:

Ilustración 22.Estado de la Batería del V.E antes de iniciar la prueba



Fuente: Propia

En cuanto la prueba terminó el vehículo contaba con un estado de batería del 87% y un estimado de autonomía de 346 km (Ilustración 23), también se puede ver que recorrió 44,2 km la cual es la distancia de la ruta característica y haciendo su equivalencia en costo de energía sabiendo que tiene una batería de 60 kWh cargada al 100% y tomando el precio de la energía a 500 COP/kWh, el carro consumió lo siguiente:

Tabla 11. Consumo equivalente de energía del V.E en la ruta característica

Energía consumida kWh	Precio de la energía COP/kWh	Costo
7.8 kWh	500	3900 COP

Fuente: Propia

Ilustración 23. Estado de la batería del V.E al finalizar la prueba



Fuente: Propia

## 4.4 Análisis financiero

### 4.4.1 Determinación de costos y ahorros

Para la realización del modelo económico se empieza por definir el costo de los energéticos en Colombia, para ello se buscó las proyecciones del precio de la gasolina, el gas y la electricidad.

Al realizar las pruebas con la ruta característica al mismo tiempo y a las mismas condiciones fue posible determinar el consumo de cada uno de los energéticos en un trayecto que tenía como longitud 44km y posteriormente se extrapolo estos consumos a 200km con el fin de conocer los valores aproximados de combustible que tendrán que asumir sus propietarios.

Tabla 12. Síntesis de resultados de la ruta característica

Variables	Valores		
Modelo	Taxis Atos 1000	Grand i10 1000	BYD e5
Energético	Gas Natural	Gasolina	Electricidad
Consumo	2.95 [m <sup>3</sup> ]	1.045[gal]	7.86[kW]
Costo de combustible	1499[COL\$/m <sup>3</sup> ]	9385[COL\$/gal]	502[COL\$/W]
Distancia	44.6[Km]	44.6[Km]	44.6[Km]
Velocidad Promedio	20[km/h]	20[km/h]	20[km/h]
Altura promedio	848[m]	848[m]	848[m]
Costo de combustible en la ruta (44 [Km])	4422.05[COL\$]	9807.325[COL\$]	3522.032[COL\$]
Distancia [Km]	200	200	200
Consumo extrapolado a 200km	13.228[m <sup>3</sup> ]	4.52[gal]	31.4618[kW]
Precio de recorrido 200km [\$/COP]	\$ 19,829	\$ 41,860	\$ 15,794
Costo de combustible al mes [\$/COP]	\$ 515,548	\$ 1,088,360	\$ 473,815
Costo anual de combustible 2019 [\$/COP]	\$ 6,186,577	\$ 13,060,320	\$ 5,685,776

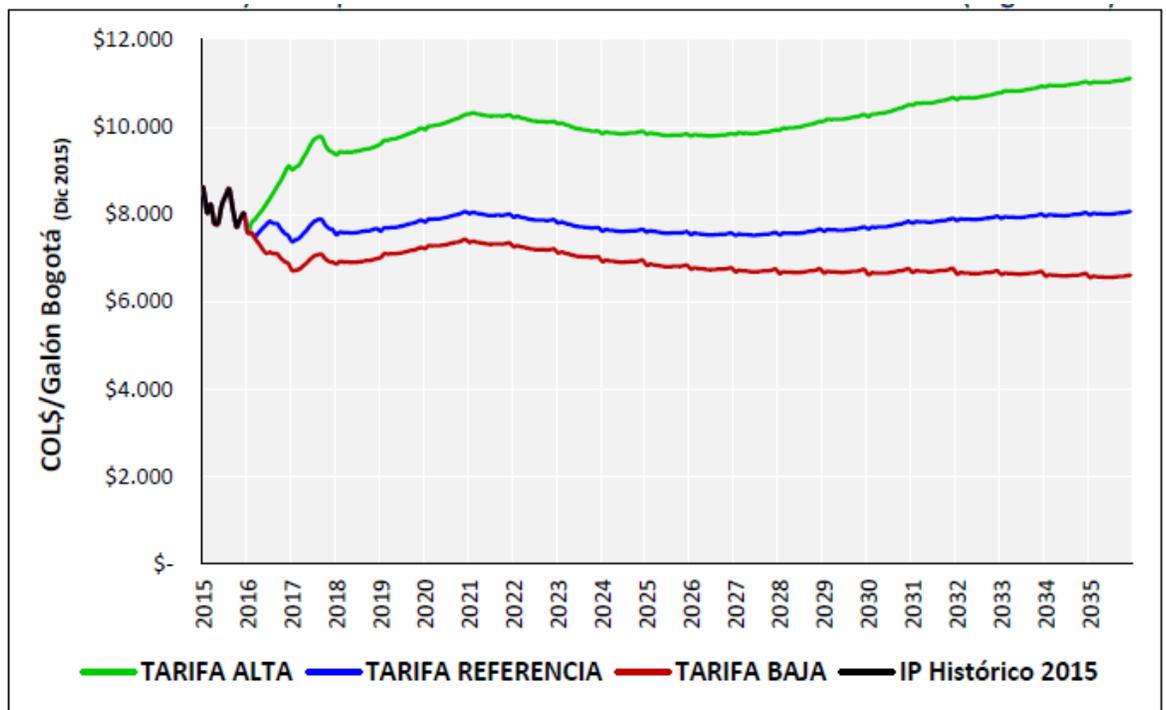
Fuente: Propia

Seguidamente, se mostrará cómo se definió los costos de cada energético a partir de proyecciones encontradas en diferentes estudios:

- **Gasolina**

Para definir el coste de la gasolina en Colombia se tomó como referencia el documento de la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) el cual lleva por título PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA ENERO 2016 – DICIEMBRE 2035 en este documento se muestra las proyecciones de la gasolina en las estaciones de servicio en Bogotá hasta el año 2035[26]

Ilustración 24. Proyecciones del precio de la gasolina



Fuente: Unidad de Planeación minero energética UPME [26]

Puesto que fue un documento publicado en el año 2015 se tenía que elegir entre una de las tres líneas de tendencia, para este caso se tomó la TARIFA ALTA debido a que al año en que se está realizando este documento (2019) el precio de la gasolina en las estaciones de servicio en Bogotá ronda en 9499 aproximándose así a ese escenario (Ilustración 24).[27]

Para obtener los precios promedios año a año de manera exacta se decidió usar el software GetData Graph Digitizer el cual es un programa para digitalizar los

datos de una gráfica a partir de la imagen donde se encuentra. Una vez usado el software se generó una serie de puntos con sus respectivas coordenadas. Por último, a cada uno de los precios se le resto un 2.097% pues esa es la diferencia de precio entre el precio que hay en Bogotá respecto a Bucaramanga a su vez se multiplico el precio anual de la gasolina por el consumo diario de un taxi en Bucaramanga (4.52gal), obtenido de la tabla 10 y este a su vez se multiplico por los días que trabaja un taxista al año (312), dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 13. Proyecciones del costo de la gasolina para un taxi

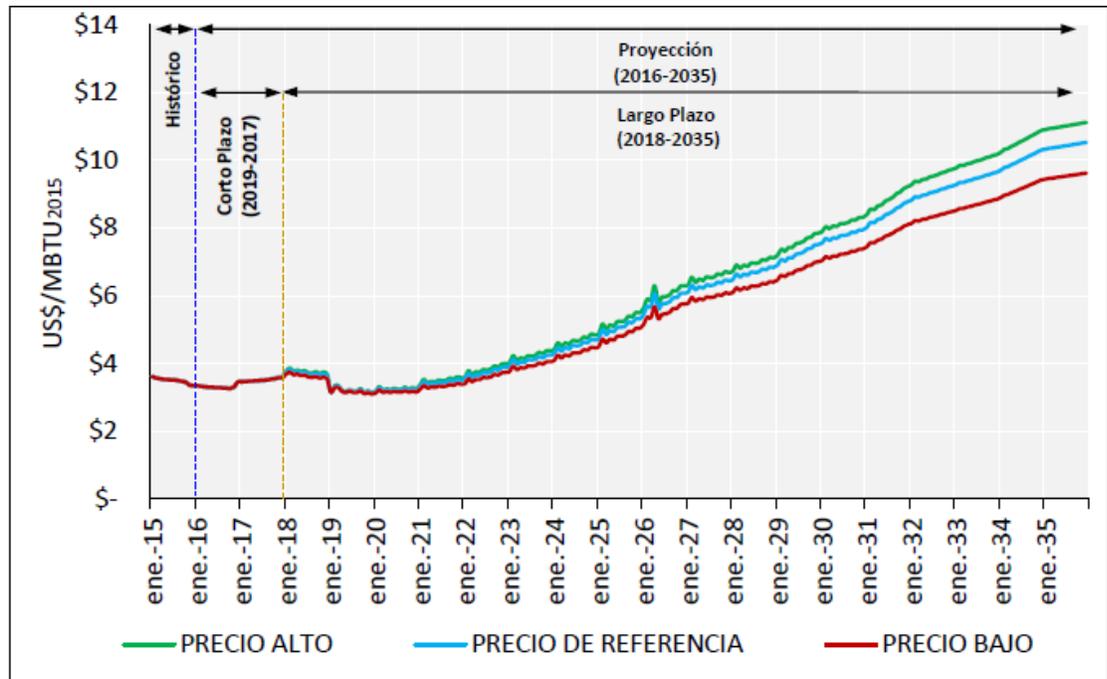
Proyección \$COP/gal de Gasolina			
Año	Precio gasolina [gal]	Costo al día	Costo anual
2019	\$ 9,385	\$ 42,420	\$ 13,235,076
2020	\$ 9,752	\$ 44,079	\$ 13,752,523
2021	\$ 10,097	\$ 45,640	\$ 14,239,788
2022	\$ 10,021	\$ 45,293	\$ 14,131,544
2023	\$ 9,867	\$ 44,599	\$ 13,914,917
2024	\$ 9,675	\$ 43,732	\$ 13,644,237
2025	\$ 9,675	\$ 43,732	\$ 13,644,237
2026	\$ 9,637	\$ 43,558	\$ 13,590,101
2027	\$ 9,637	\$ 43,558	\$ 13,590,101
2028	\$ 9,752	\$ 44,079	\$ 13,752,523
2029	\$ 9,944	\$ 44,946	\$ 14,023,299
2030	\$ 10,059	\$ 45,467	\$ 14,185,666
2031	\$ 10,328	\$ 46,682	\$ 14,564,659
2032	\$ 10,443	\$ 47,202	\$ 14,727,164
2033	\$ 10,558	\$ 47,723	\$ 14,889,530
2034	\$ 10,712	\$ 48,417	\$ 15,106,157
2035	\$ 10,789	\$ 48,764	\$ 15,214,401

Fuente: Propia

- **Gas Natural**

Para el caso del gas natural se usó el mismo procedimiento usado con el de gasolina se tomó como referencia el mismo documento realizado por la UPME; “PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA ENERO 2016 – DICIEMBRE 2035” en este documento se tomó en cuenta la siguiente gráfica.[26]

Ilustración 25. Proyecciones del precio del gas natural



Fuente: Propia

En esta grafica (Ilustración 25) se puede observar las proyecciones del Gas Natural en US\$/MBTU que se tendrán en el interior del país.” Se puede observar que Entre el año 2017 y 2020 se espera una estabilidad de los precios entre los US\$ 3,5/MBTU y US\$ 4/MBTU constantes de diciembre de 2015, los cuales no afectarán los precios nacionales debido a que los niveles de importación son bajos” .[26]

Pero una vez se empiecen a importar más gas habrá un alza de precio en el mismo. Pará nuestro caso de estudio se decidió tomar como proyección el PRECIO DE REFERENCIA o escenario medio “En este escenario, se utiliza el análisis Net-back del gas natural de Trinidad y Tobago puesto en el mercado suramericano cuyo valor promedio en diciembre de 2015 llegó a US\$5,47/MBTU y posteriormente se le sumó el costo de transporte de Trinidad y Tobago al

puerto de Cartagena de US\$0,18/MBTU y la regasificación de US\$0,4/MBTU, acumulando un total de US\$6,05/MBTU”[26].

Una vez tenido el grafico se usó el software Graph Digitizer para obtener los precios del gas natural al año en US\$/MBTU. Sin embargo, precio del gas natural vehicular en las estaciones de servicio nacionales se dan en m<sup>3</sup> de forma que para obtener los precios en \$COP/m<sup>3</sup> se tomó en cuenta el precio actual del metro cubico en dichas estaciones (1499\$COP/ m<sup>3</sup>). A medida que el precio del gas natural en US\$/MBTU aumenta el precio del gas natural en \$COP/ m<sup>3</sup> también lo hará, incrementando a la misma medida. Al igual que el caso de la gasolina, para obtener el costo anual que un taxista asumirá se multiplica el coste del gas por el consumo diario (13.228 m<sup>3</sup>) y se multiplica por 312 los cuales son los días que el taxista trabajará.

Con lo dicho anteriormente, se obtuvo la siguiente tabla:

Ilustración 26. Proyecciones del costo del gas natural para un taxi

Proyección \$COP/m <sup>3</sup> de Gas natural					
Año	Precio US\$/MBTU	Precio del gas [\$COP/ m <sup>3</sup> ]	Costo al día \$COP	Costo anual \$COP	
2019	\$ 3.21	\$ 1,499	\$ 19,829	\$ 6,186,577	
2020	\$ 3.11	\$ 1,454	\$ 19,228	\$ 5,999,109	
2021	\$ 3.31	\$ 1,544	\$ 20,430	\$ 6,374,064	
2022	\$ 3.50	\$ 1,635	\$ 21,631	\$ 6,749,000	
2023	\$ 4.03	\$ 1,885	\$ 24,936	\$ 7,780,093	
2024	\$ 4.38	\$ 2,044	\$ 27,039	\$ 8,436,250	
2025	\$ 4.86	\$ 2,271	\$ 30,044	\$ 9,373,609	
2026	\$ 5.44	\$ 2,544	\$ 33,649	\$ 10,498,436	
2027	\$ 6.22	\$ 2,907	\$ 38,456	\$ 11,998,218	
2028	\$ 6.51	\$ 3,043	\$ 40,258	\$ 12,560,641	
2029	\$ 7.05	\$ 3,293	\$ 43,563	\$ 13,591,734	
2030	\$ 7.58	\$ 3,543	\$ 46,868	\$ 14,622,827	
2031	\$ 8.07	\$ 3,770	\$ 49,872	\$ 15,560,186	
2032	\$ 8.90	\$ 4,156	\$ 54,980	\$ 17,153,702	
2033	\$ 9.33	\$ 4,361	\$ 57,684	\$ 17,997,327	
2034	\$ 9.77	\$ 4,565	\$ 60,388	\$ 18,840,952	
2035	\$ 10.45	\$ 4,883	\$ 64,594	\$ 20,153,285	

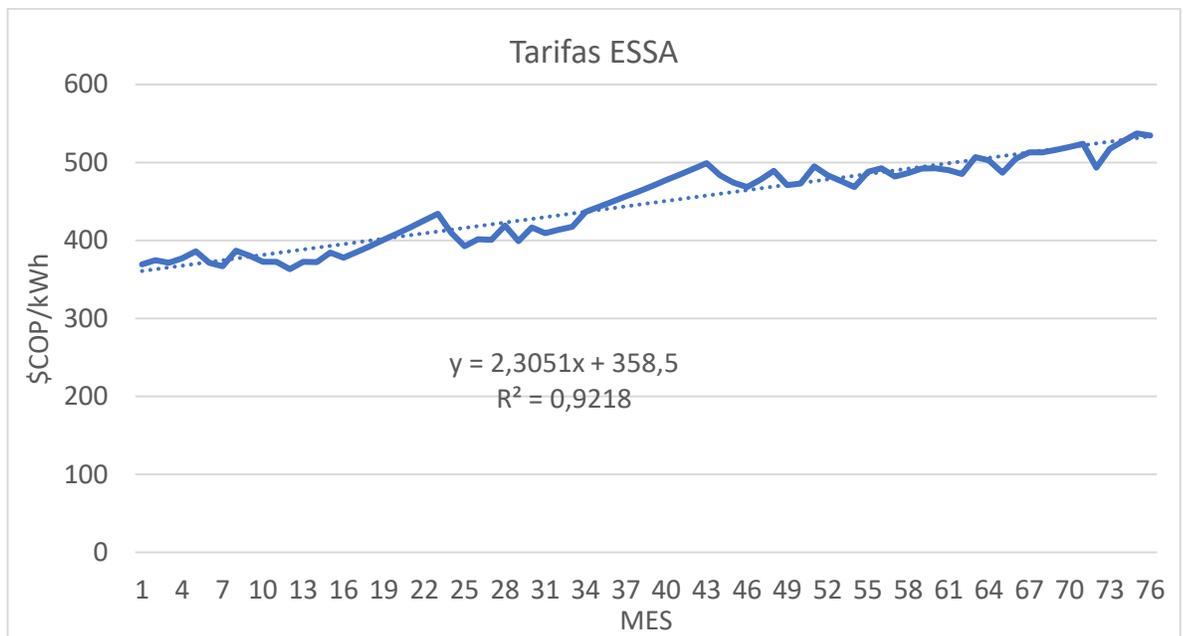
Fuente: Propia

- **Electricidad**

Para las proyecciones de la electricidad se utilizó una metodología diferente, para realizar las proyecciones de este energético se comenzó por tabular los históricos del \$COP/kWh mes a mes, estos datos se encuentran en la página oficial de la ESSA, allí se encuentran los precios del kWh desde enero del 2013 hasta abril del 2019 del departamento de Santander departamento donde se encuentra ubicada la ciudad de Bucaramanga.

Una vez tabulados los datos se procedió a graficar los datos, dando como resultado la siguiente gráfica.

Ilustración 27. Proyección del precio de kWh de energía eléctrica



Fuente: Comportamiento del precio del kWh siguiendo datos historicos de la ESSA[28]

Se tomó como referencia el mes 1 como enero de 2013 ya que es donde comienzan los precios históricos. Por medio de Excel se obtuvo la ecuación que describe mes a mes el costo del \$COP/kWh y a su vez el Coeficiente de determinación( $R^2$ ). el coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo.

Como se puede observar en la Ilustración 27 este coeficiente de determinación es del 0.92 teniendo en cuenta que el máximo posible es 1, de manera que es posible realizar de forma confiable una regresión lineal y obtener los históricos a partir de la ecuación generada por medio de la tendencia lineal de Excel.

$$y = 2,301x + 358,5 \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde  $x$  representa el mes a evaluar

Una vez determinada la ecuación se obtuvo las proyecciones del kWh hasta diciembre de 2035, para proyectar el costo anual se promedió los costos de enero hasta diciembre del año en cuestión. Al finalizar se multiplicó el costo del kWh por la cantidad de energía que requiere el vehículo para recorrer 200km al día, este se obtiene de la tabla 10 el cual corresponde a 31.46[kWh], después se multiplica por los 312 días que trabaja un taxista al año.

Tabla 14. Proyección del costo de la energía eléctrica para un taxi

AÑO	Precio [kWh]	Costo Diario[\$COP]	Costo anual [\$COP]
2019	\$ 539.4504	\$ 16,972.08	\$ 5,295,289
2020	\$ 567.1116	\$ 17,842.35	\$ 5,566,813
2021	\$ 594.7728	\$ 18,712.62	\$ 5,838,338
2022	\$ 622.4340	\$ 19,582.89	\$ 6,109,862
2023	\$ 650.0952	\$ 20,453.16	\$ 6,381,387
2024	\$ 677.7564	\$ 21,323.43	\$ 6,652,912
2025	\$ 705.4176	\$ 22,193.71	\$ 6,924,436
2026	\$ 733.0788	\$ 23,063.98	\$ 7,195,961
2027	\$ 760.7400	\$ 23,934.25	\$ 7,467,485
2028	\$ 788.4012	\$ 24,804.52	\$ 7,739,010
2029	\$ 816.0624	\$ 25,674.79	\$ 7,739,010
2030	\$ 843.7236	\$ 26,545.06	\$ 8,282,059
2031	\$ 871.3848	\$ 27,415.33	\$ 8,553,584
2032	\$ 899.0460	\$ 28,285.60	\$ 8,825,108
2033	\$ 926.7072	\$ 29,155.88	\$ 9,096,633
2034	\$ 954.3684	\$ 30,026.15	\$ 9,368,158
2035	\$ 982.0296	\$ 30,896.42	\$ 9,368,158

Fuente: Propia

También se elaboró otra tabla en donde se dan los precios del kWh por estrato socioeconómico del 1 al 3 ya que si bien sabemos el precio del kWh cambia según este factor. Para ello se le aplicó el subsidio del 58% para estratos 1, del 48% para estrato 2 y del 15% para el estrato 3.[29]

Tabla 15. Proyección del precio del kWh por estratos

AÑO	Precio	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
2019	\$ 539.45	\$ 226.57	\$ 280.51	\$ 458.53
2020	\$ 567.11	\$ 238.19	\$ 294.90	\$ 482.04
2021	\$ 594.77	\$ 249.80	\$ 309.28	\$ 505.56
2022	\$ 622.43	\$ 261.42	\$ 323.67	\$ 529.07
2023	\$ 650.10	\$ 273.04	\$ 338.05	\$ 552.58
2024	\$ 677.76	\$ 284.66	\$ 352.43	\$ 576.09
2025	\$ 705.42	\$ 296.28	\$ 366.82	\$ 599.60
2026	\$ 733.08	\$ 307.89	\$ 381.20	\$ 623.12
2027	\$ 760.74	\$ 319.51	\$ 395.58	\$ 646.63
2028	\$ 788.40	\$ 331.13	\$ 409.97	\$ 670.14
2029	\$ 816.06	\$ 342.75	\$ 424.35	\$ 693.65
2030	\$ 843.72	\$ 354.36	\$ 438.74	\$ 717.17
2031	\$ 871.38	\$ 365.98	\$ 453.12	\$ 740.68
2032	\$ 899.05	\$ 377.60	\$ 467.50	\$ 764.19
2033	\$ 926.71	\$ 389.22	\$ 481.89	\$ 787.70
2034	\$ 954.37	\$ 400.83	\$ 496.27	\$ 811.21
2035	\$ 982.03	\$ 412.45	\$ 510.66	\$ 834.73

Fuente: Propia

#### 4.4.2 Costes de operación y mantenimiento

Una vez determinado los costos de cada uno de los energéticos se procedió a consultar los costos de operación y mantenimiento que tienen cada uno de los vehículos pues este costo depende en medida del combustible que usan, aunque hay otros tipos de costos que tienen en común.

La información de los costos de mantenimiento y de operación fue otorgada por el empresario Omar González el cual posee un total de 7 taxis, 5 gasolina y dos de gas. Teniendo en cuenta los datos obtenidos, se obtuvo como resultado la siguiente tabla.

- Gasolina

Tabla 16. Costos de mantenimiento taxi a gasolina

MATENIMIENTOS GASOLINA					
Tipo de mantenimiento	Costo	Tiempo	Unidad de tiempo	Equivalencia en años	Costo anual
Forros	\$ 180,000	4	años	0.25	\$ 45,000
Correa de tiempos	\$ 120,000	9	meses	1.3333333333	\$ 160,000
Aceite de motor	\$ 80,000	1	mes	12	\$ 960,000
Graduación de frenos	\$ 5,000	3	meses	4	\$ 20,000
Manijas de techo	\$ 40,000	1	año	1	\$ 40,000
Tornillos rotos	\$ 30,000	1	año	1	\$ 30,000
Calibración taxímetro	\$ 20,000	1	año	1	\$ 20,000
Pastillas frenos	\$ 35,000	3	meses	4	\$ 140,000
Cremallera subir bajar vidrios	\$ 48,000	10	años	0.1	\$ 4,800
Embrague	\$ 160,000	10	meses	1.2	\$ 192,000
Piñón guaya velocímetro	\$ 30,000	3	años	0.3333333333	\$ 10,000
arreglo luces	\$ 25,000	6	meses	2	\$ 50,000
Arreglo de suspensión	\$ 80,000	2	años	0.5	\$ 40,000
Batería	\$ 210,000	10	meses	1.2	\$ 252,000
Llantas	\$ 420,000	14	meses	0.857142857	\$ 360,000
Arreglo de frenos	\$ 56,000	5	años	0.2	\$ 11,200
Alineación de llantas	\$ 25,000	4	meses	3	\$ 75,000
Bomba de gasolina	\$ 90,000	10	meses	1.2	\$ 108,000
Discos	\$ 100,000	4	años	0.25	\$ 25,000
Bandas	\$ 80,000	3	años	0.3333333333	\$ 26,667
Reparación de motor	\$ 3,000,000	10	años	0.2	\$ 300,000
<b>Total anual</b>					<b>\$ 2,869,667</b>

Fuente: Propia

Tabla 17. Costos de operación para un taxi a gasolina

OPERACIÓN					
Ítem Operacional	Costo	Tiempo	Unidad de tiempo	Equivalencia anual	Costo anual
Administración mensual	\$ 55,000	1	mes	12	\$ 660,000
Seguro	\$ 70,000	1	mes	12	\$ 840,000
Tecno mecánica	\$ 198,100	1	año	1	\$ 198,100
Soat	\$ 394,000	1	año	1	\$ 394,000
Tarjeta de operación	\$ 200,000	1	año	1	\$ 200,000
<b>Total Anual</b>					<b>\$ 2,292,100</b>

Fuente: Propia

- **Gas**

Según los propietarios al convertir los vehículos a gas el costo de mantenimiento se eleva solo en la reparación del motor, ya no será cada 10 años como ocurre en los vehículos a gasolina sino la reparación será en un periodo de cada 5 años, pero del resto de tipos de mantenimiento son los mismos que se requerirán si el vehículo fuese a gasolina, en cuanto los gastos operacionales son los mismos para ambos vehículos.

Tabla 18. Costos de mantenimiento de un carro a gas

MATENIMIENTOS VEHICULO A GAS					
Tipo de mantenimiento	Costo	Tiempo	Unidad de tiempo	Equivalencia en años	Costo anual
Forros	\$ 180,000	4	años	0.25	\$ 45,000
Correa de tiempos	\$ 120,000	9	meses	1.333333333	\$ 160,000
Aceite de motor	\$ 80,000	1	mes	12	\$ 960,000
Graduación de frenos	\$ 5,000	3	meses	4	\$ 20,000
Manijas de techo	\$ 40,000	1	año	1	\$ 40,000
Tornillos rotos	\$ 30,000	1	año	1	\$ 30,000
Calibración taxímetro	\$ 20,000	1	año	1	\$ 20,000
Pastillas frenos	\$ 35,000	3	meses	4	\$ 140,000
Cremallera subir bajar vidrios	\$ 48,000	10	años	0.1	\$ 4,800
Embrague	\$ 160,000	10	meses	1.2	\$ 192,000
Piñón guaya velocímetro	\$ 30,000	3	años	0.333333333	\$ 10,000
arreglo luces	\$ 25,000	6	meses	2	\$ 50,000
Arreglo de suspensión	\$ 80,000	2	años	0.5	\$ 40,000
Batería	\$ 210,000	10	meses	1.2	\$ 252,000
Llantas	\$ 420,000	14	meses	0.857142857	\$ 360,000
Arreglo de frenos	\$ 56,000	5	años	0.2	\$ 11,200
Alineación de llantas	\$ 25,000	4	meses	3	\$ 75,000
Bomba de gasolina	\$ 90,000	10	meses	1.2	\$ 108,000
Discos	\$ 100,000	4	años	0.25	\$ 25,000
Bandas	\$ 80,000	3	años	0.333333333	\$ 26,667
Reparación de motor	\$ 3,000,000	5	años	0.2	\$ 600,000
Total anual					\$ 3,169,667

Fuente: Propia

Tabla 19. Costos de operación de un carro a gas

OPERACIÓN					
Ítem Operacional	Costo	Tiempo	Unidad de tiempo	Equivalencia anual	Costo anual
Administración mensual	\$ 55,000	1	mes	12	\$ 660,000
Seguro	\$ 70,000	1	mes	12	\$ 840,000
Tecno mecánica	\$ 198,100	1	año	1	\$ 198,100
Soat	\$ 394,000	1	año	1	\$ 394,000
Tarjeta de operación	\$ 200,000	1	año	1	\$ 200,000
Total, Anual					\$ 2,292,100

Fuente: Propia

- **Electricidad**

Para determinar los costos de electricidad se optó por buscar los costos de mantenimiento por medio de literatura, a su vez se corrobore esta misma información por medio de un asesor de BYD. A diferencia de los vehículos de combustión los vehículos eléctricos poseen menos partes móviles y no requieren alguno de los mantenimientos que requieren algunas partes del motor de combustión, puesto que los vehículos eléctricos no poseen esas partes como puede ser el caso de reparación de embrague o cambio de correa de tiempos. Algunos cambios como el aceite o las pastillas se realizan en un tiempo mayor debido a que se usan menos comparado con los vehículos de combustión.

Para el tema de los costos operacionales, solo se tomó en cuenta el proyecto de ley radicado por el congreso, el cual dice que la revisión tecno mecánica tendrá un descuento de 50%.

Por último, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 20. Costos de mantenimiento de un carro eléctrico

Tipo de mantenimiento	Costo[\$COP]	Tiempo	Unidad	Equivalencia en años	Costo anual [\$COP]
Forros	\$ 180,000	4	años	0.250	\$ 45,000
Filtro de aire	\$ 64,400	3	meses	4.000	\$ 257,600
Líquido Refrigerante	\$ 120,000	2	años	0.500	\$ 60,000
Graduación de frenos	\$ 5,000	3	meses	4.000	\$ 20,000
Manijas de techo	\$ 40,000	1	año	1.000	\$ 40,000
Tornillos rotos	\$ 30,000	1	año	1.000	\$ 30,000
Calibración taxímetro	\$ 20,000	1	año	1.000	\$ 20,000
Pastillas frenos	\$ 35,000	57	meses	0.211	\$ 7,368
arreglo luces	\$ 25,000	6	meses	2.000	\$ 50,000
Arreglo de suspensión	\$ 80,000	2	años	0.500	\$ 40,000
Batería	\$ 210,000	10	meses	1.200	\$ 252,000
Llantas	\$ 420,000	14	meses	0.857	\$ 360,000
Arreglo de frenos	\$ 56,000	5	años	0.200	\$ 11,200
Alineación de llantas	\$ 25,000	4	meses	3.000	\$ 75,000
Discos	\$ 200,000	4	años	0.250	\$ 50,000
<b>Total, anual</b>					<b>\$ 1,322,968</b>

Fuente: Propia

Tabla 21. Costos de operación de un carro eléctrico

OPERACIÓN					
Ítem Operacional	Costo Costo[\$COP]	Tiempo	Unidad	Equivalencia anual	Costo anual[\$COP]
Administración mensual	\$ 55,000	1	Mes	12	\$ 660,000
Seguro	\$ 70,000	1	Mes	12	\$ 840,000
Tecno mecánica 50%	\$ 99,050	1	Año	1	\$ 99,050
Soat	\$ 394,000	1	Año	1	\$ 394,000
Tarjeta de operación	\$ 200,000	1	Año	1	\$ 200,000
<b>Total, Anual</b>					<b>\$ 2,193,050</b>

Fuente: Propia

### Costo de inversión inicial

Para este costo se consultó a varias empresas de compra y ventas de taxis una de ellas es la empresa con la que se ha hecho el estudio, Henry taxis, esta empresa vende taxis a gasolina con su respectivo cupo.

Para el taxi que funciona con gas, es necesario agregar el valor de la conversión a este energético, puesto ninguna concesionaria local vende vehículos que funcionen de fábrica con este combustible, de igual manera el costo del cupo metropolitano es el mismo que el de los autos a gasolina

Por último, el costo de inversión inicial del vehículo eléctrico se consultó con los asesores de la marca china BYD, pues son única marca de vehículos eléctricos en Colombia que por el momento tienen la homologación para servicio público, estos vehículos poseen un costo más alto que sus equivalentes a combustión, pero suponen ahorros en combustible y en mantenimientos mucho mayores. El valor del cupo tendría el mismo valor que el de un taxi convencional.

Tabla 22. Inversión inicial de un vehículo a gasolina, a gas y eléctrico

COSTOS DE ADQUISIÓN O INVERSIÓN INICIAL GASOLINA	
Cupo metropolitano	\$ 90,000,000
Taxi Grand i10	\$ 52,000,000
Total	\$ 142,000,000

COSTOS DE ADQUISIÓN O INVERSIÓN INICIAL GAS	
Cupo metropolitano	\$ 90,000,000
Taxi Grand i10	\$ 52,000,000
Conversión a Gas	\$ 2,504,000
Total	\$ 144,504,000

COSTOS DE ADQUISIÓN O INVERSIÓN INICIAL ELECTRICO	
Cupo metropolitano	\$ 90,000,000
Taxi BYD e5	\$ 107,000,000
Total	\$ 197,000,000

Fuente: Propia

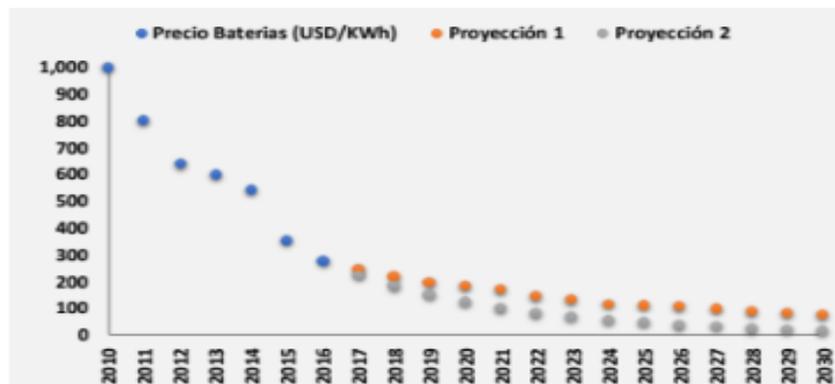
### 4.3.2 Aplicación del modelo financiero y determinación de indicadores

Una vez determinado cada uno de los costos, se procedió a realizar el estudio económico mediante un modelo de flujo de caja y determinar así la viabilidad del taxi eléctrico en Bucaramanga. Para ello se hicieron varios escenarios.

Cada uno de ellos compartirán los siguientes criterios

- Una vida útil de proyecto de 10 años.
- Inversión inicial del 100% sin financiamiento bancario
- Para el tema de los costos futuros de Mantenimiento y operación se usó un IPC (Índice de Precios al Consumidor) del 4.46% tomando como promedio los históricos otorgados por el DANE que comprenden un rango que va del 2003 hasta el 2018.[30]
- Se asume una tasa de descuento para cada una de las proyecciones del 15% puesto que empresas como Henry taxis manejan un 10% por encima del DTF(Deposito a Terminio Fijo) para proyectos que impliquen riesgo de inversión.
- Para los escenarios futuros que compren los años de 2026 a 2035 los precios de las baterías irán decreciendo según la siguiente grafica

Ilustración 28. Proyección de precios de las baterías



Fuente: BloombergNEF

De este modo los escenarios propuestos fueron los siguientes:

- **ESCENARIO PARA PERSONA NATURAL QUE DESEE COMPRAR UN TAXI 2019-2028**

- Para este primer escenario se consideró que el inversionista se dedique a trabajar como taxista sin necesidad de solicitar los servicios de un conductor.
- En cuanto los ingresos anuales, se consideró que el taxista tendrá un producido diario neto de 150,000 \$COP este dato fue calculado de los promedios en los producidos que realizaron cada uno de los taxistas en los diez recorridos.
- Los costos de operación y mantenimiento serán asumidos por la empresa de taxis.

Al mismo tiempo se tomó en consideración la política que existió en Bogotá, donde los taxistas que se acogieron en el proyecto piloto de taxis eléctricos fueron exonerados de pagar el costo del cupo metropolitano y se modeló en el flujo de caja.

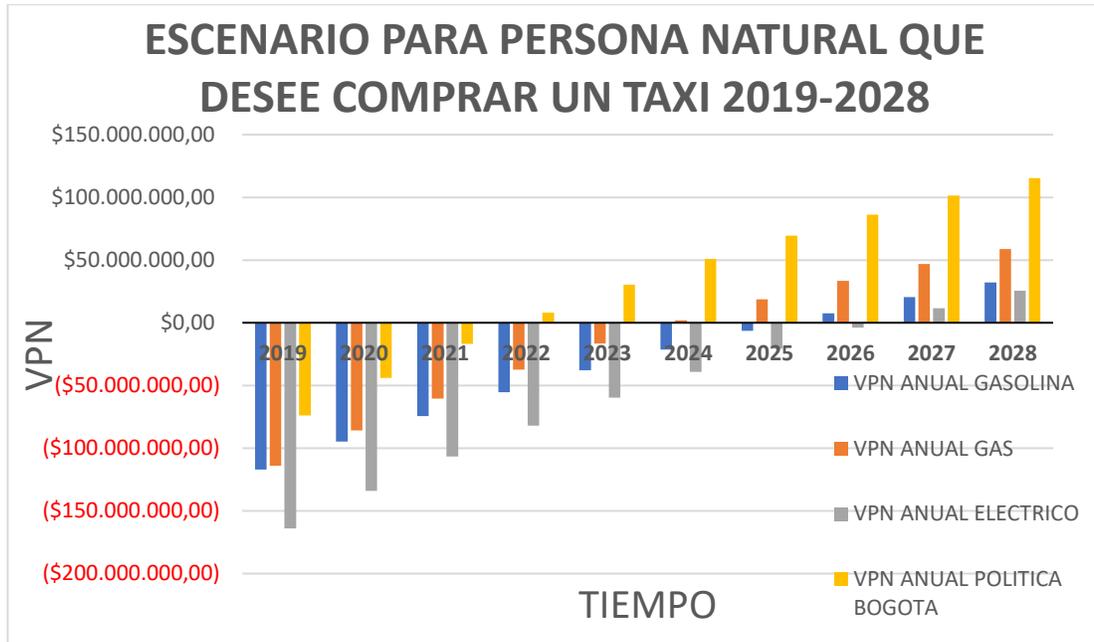
Las siguientes tablas resumen los indicadores económicos de este escenario.

Tabla 23. Indicadores para el escenario persona natural

RESULTADOS TAXI A GASOLINA		RESULTADOS TAXI A GAS	
INDICADOR ECONOMICO	VALOR	INDICADOR ECONOMICO	VALOR
TASA	15.00%	TASA	15.00%
TIR	20%	TIR	24%
TIR MODIFICADA	17%	TIR MODIFICADA	19%
VPN	\$ 32,155,840.09	VPN	\$ 58,767,210.83
RESULTADOS TAXI ELECTRICO		RESULTADOS TAXI ELECTRICO POLITICA BOGOTA	
INDICADOR ECONOMICO	VALOR	INDICADOR ECONOMICO	VALOR
TASA	15.00%	TASA	15.00%
TIR	18%	TIR	38%
TIR MODIFICADA	16%	TIR MODIFICADA	24%
VPN	\$ 69,694,544.77	VPN	\$ 115,466,594.15

Fuente: Propia

Ilustración 29. Taxista que desee comprar un taxi a corto plazo (2019-2028)



Fuente: Propia

En el siguiente gráfico (Ilustración 29) se observa como el VPN del taxi eléctrico en un plazo de 10 años sin ninguna política o incentivo es menor con respecto a un taxi que tengan como energético gas o gasolina, esto se debe a que los vehículos eléctricos actualmente son un 39% más costosos que los vehículos a combustión y aunque los costos de mantenimiento y de combustible en vehículos eléctricos sean menores, no son suficientes para generar un VPN mayor a los taxis convencionales. Del mismo modo se observa como una política como la usada en Bogotá mediante el decreto 677 de 2011 la cual consistía en la exoneración del pago del cupo esta medida puede generar un VPN mucho mayor con respecto al de los taxis convencionales ya que no se haría una inversión inicial de \$197.000.000 COP, sino que al no pagar el cupo este valor sería de unos \$107.000.000 COP

- **ESCENARIO PARA REPOSICIÓN DE VEHICULOS HENRY TAXIS 2019-2028**

Para este escenario se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones

a). La empresa recibe actualmente una tarifa al día de \$80000 COP por taxi, el cual incrementará cada año conforme al IPC.

b). Los costos de combustible son asumidos por el conductor del taxi. .

c). En cuanto la inversión inicial no se tomó en cuenta el cupo metropolitano del taxi puesto que la empresa cuenta con estos.

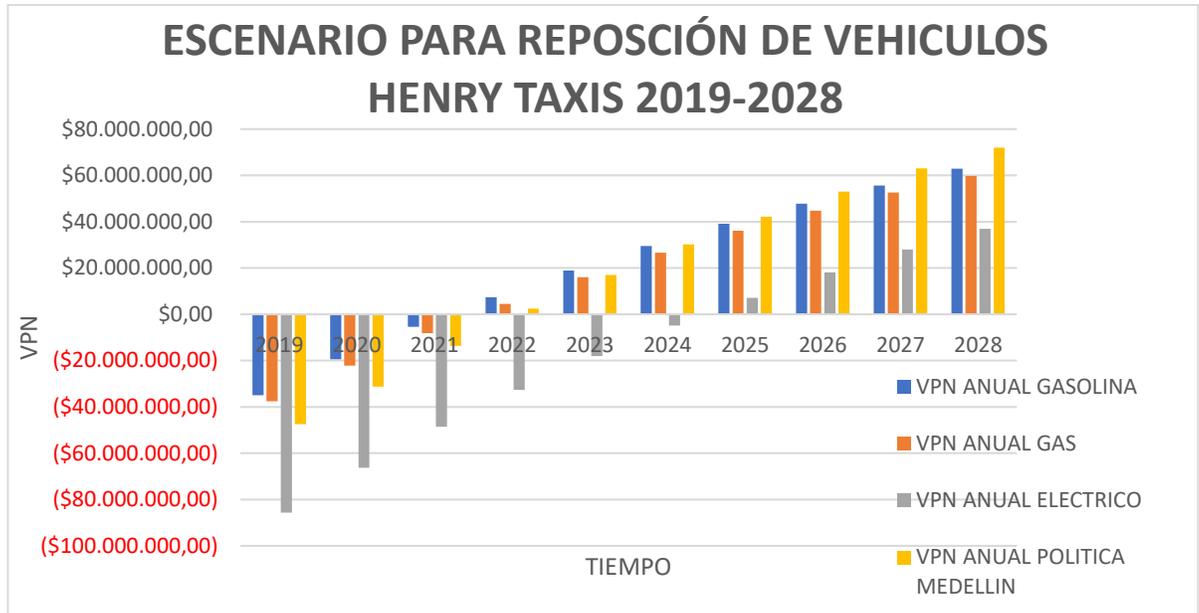
d). Al igual que el anterior escenario, se tomó en cuenta otra política puesta en marcha en Colombia. Dicha política fue aplicada en Medellín, allí los taxistas interesados en reponer sus taxis a combustión por taxis eléctricos tendrán un incentivo de \$18000000 COP y a su vez el vehículo que actualmente cuesta unos \$10700000 COP tendrá un valor de \$90000000 COP.

Tabla 24. Indicadores para reposición de vehículo Henry taxis

RESULTADOS TAXI A GASOLINA		RESULTADOS TAXI A GAS	
INDICADOR ECONOMICO	VALOR	INDICADOR ECONOMICO	VALOR
TASA	15.00%	TASA	15.00%
TIR	59%	TIR	69%
TIR MODIFICADA	30%	TIR MODIFICADA	31%
VPN	\$ 122,155,840.09	VPN	\$ 148,767,210.83
RESULTADOS TAXI ELECTRICO		RESULTADOS TAXI ELECTRICO POLITICA MEDELLIN	
INDICADOR ECONOMICO	VALOR	INDICADOR ECONOMICO	VALOR
TASA	15.00%	TASA	15.00%
TIR	38%	TIR	56%
TIR MODIFICADA	24%	TIR	29%
VPN	\$ 115,466,594.15	VPN	\$ 151,246,213.67

Fuente: Propia

Ilustración 30. Escenario para la reposición de vehículos Henry taxis



Fuente: Propia

Se puede observar (Ilustración 30) que la reposición a taxis eléctricos sin incentivo alguno es la opción con poca generación de VPN con respecto a los taxis a gas y gasolina. Para este escenario los taxis que funcionan con gasolina generan 41% más VPN que los taxis eléctricos, esto debido a que el valor inicial del vehículo eléctrico es un 39% más costoso que sus homólogos de gas y gasolina.

Pero con actuaciones como las propuestas aplicadas en Medellín pueden ayudar la masificación del vehículo eléctrico, debido a que generan un 15% más rentabilidad que los taxis de gasolina y gas.

- **ESCENARIO PARA PERSONA NATURAL QUE DESEE LA REPOSICION DEL VEHÍCULO TENIENDO EL CUPO 2019-2028.**

Para este escenario se tomó las siguientes consideraciones

- Tenencia del cupo
- La inversión inicial será el precio del vehículo
- El inversionista se dedique a trabajar como taxista sin necesidad de solicitar los servicios de un conductor

d). En cuanto los ingresos anuales, se consideró que el taxista tendrá un producido diario neto de 150,000 \$COP este dato fue calculado de los promedios en los producidos que realizaron cada uno de los taxistas en los diez recorridos.

e). Se tomó en cuenta otra política puesta en marcha en Colombia. Dicha política fue aplicada en Medellín, allí los taxistas interesados en reponer sus taxis a combustión por taxis eléctricos tendrán un incentivo de \$18000000 COP y a su vez el vehículo que actualmente cuesta unos \$10700000 COP tendrá un valor de \$90000000 COP.

Los resultados de estos escenarios fueron los siguientes

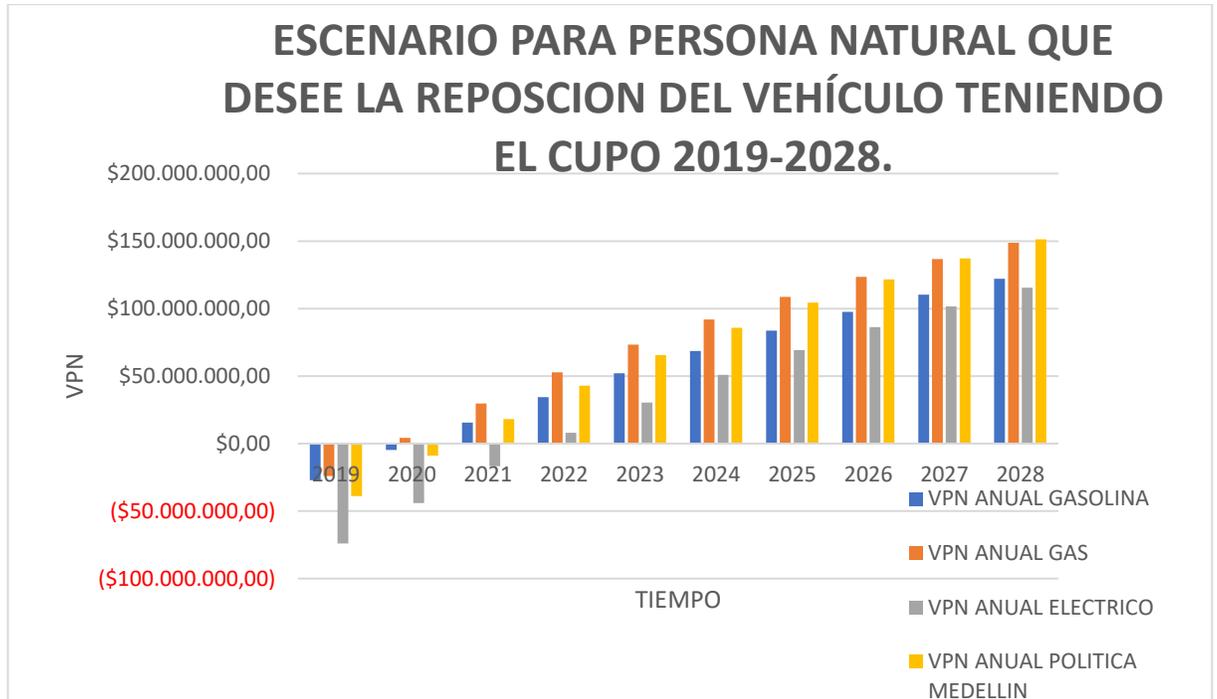
Tabla 25. Indicadores reposición persona natural

RESULTADOS TAXI A GASOLINA		RESULTADOS TAXI A GAS	
INDICADOR ECONOMICO	VALOR	INDICADOR ECONOMICO	VALOR
TASA	15.00%	TASA	15.00%
TIR	40%	TIR	38%
TIR MODIFICADA	24%	TIR MODIFICADA	24%
VPN	\$ 62,836,822.82	VPN	\$ 59,746,867.85
RESULTADOS TAXI ELECTRICO		RESULTADOS TAXI ELECTRICO POLITICA MEDELLIN	
INDICADOR ECONOMICO	VALOR	INDICADOR ECONOMICO	VALOR
TASA	15.00%	TASA	15.00%
TIR	23%	TIR	36%
TIR MODIFICADA	18%	TIR MODIFICADA	23%
VPN	\$ 36,961,997.45	VPN	\$ 71,961,997.45

Fuente: Propia

Ilustración 31. Escenario para persona natural que desee la reposición del vehículo teniendo el cupo 2019-2028.

Ilustración 32..ESCENARIO PARA PERSONA NATURAL QUE DESEE LA REPOISCION DEL VEHICULO TENIENDO EL CUPO



Fuente: Propia

En la siguiente grafica (Ilustración 32) se observa como un taxista que posea un cupo de taxi y quiera realizar la reposición de su vehículo en el 2019, le es más rentable optar por un taxi a gas que un taxi eléctrico pues estos vehículos a gas generan un 22,3% más de VPN que los vehículos eléctricos, del mismo modo que el anterior escenario, implementar incentivos como los usados en Medellín hacen más competente el uso vehículos eléctrico pudiendo generar un 1% más de VPN que los vehículos a Gas.

- **ESCENARIO PARA LA COMPRA DE UN TAXI CON CUPO (2026-2035)**

Para este escenario se usaron las siguientes recomendaciones

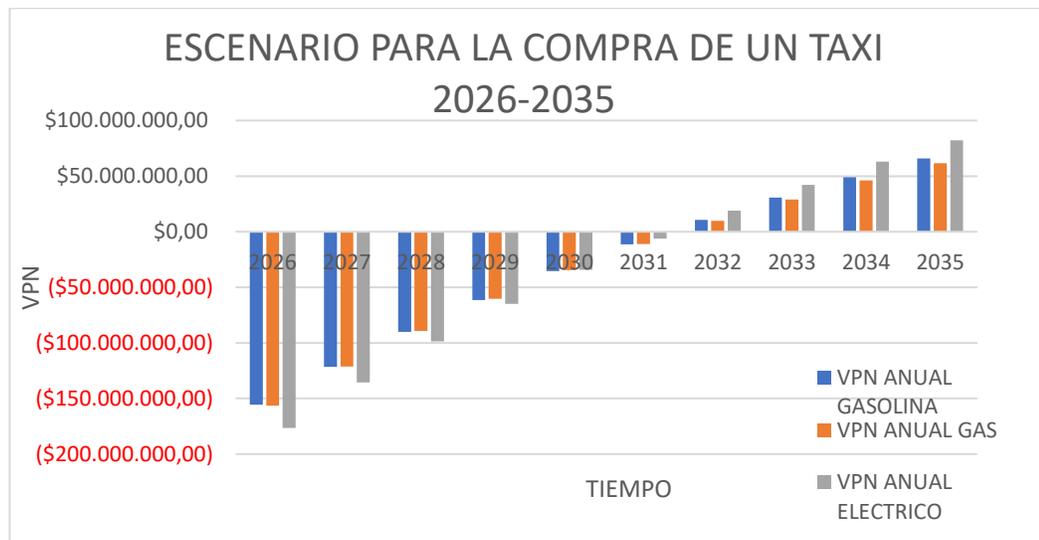
- a.) Para este escenario se consideró que el inversionista se dedique a trabajar como taxista sin necesidad de solicitar los servicios de un conductor.
- b.) En cuanto los ingresos anuales, se consideró que el taxista tendrá un producido diario neto de \$203583 COP para el año 2026 este tomando en cuenta que los ingresos actuales de \$150000 serán incrementados anualmente por el IPC

Tabla 26.Indicadores compra de taxi 2026-2035

RESULTADOS TAXI A GASOLINA		RESULTADOS TAXI A GAS	
INDICADOR ECONOMICO	VALOR	INDICADOR ECONOMICO	VALOR
TASA	15.00%	TASA	15.00%
TIR	23%	TIR	22%
TIR MODIFICADA	18%	TIR MODIFICADA	18%
VPN	\$ 65,858,298.11	VPN	\$ 61,728,689.97
RESULTADOS TAXI ELECTRICO			
INDICADOR ECONOMICO	VALOR		
TASA	15.00%		
TIR	23%		
TIR MODIFICADA	19%		
VPN	\$ 82,308,300.32		

Fuente: Propia

Ilustración 33.Escenario para la compra de un taxi más el cupo 2026-2035



Como se puede apreciar el taxi eléctrico generará un mayor VPN 20% con respecto a los taxis a combustión esto debido a que la diferencia entre los precios de la gasolina y el Gas Natural con respecto a la energía eléctrica será más amplia en el tiempo. Del mismo modo el vehículo eléctrico será más económico para el 2026 debido a la baja de precio de las baterías provocando de esta manera que estos sean más rentables que sus homólogos a combustión

- **ESCENARIO PARA LA REPOSICION DE VEHICULO (2026-2035)**

Para este escenario se tomó las siguientes consideraciones

- Tenencia del cupo
- La inversión inicial será el precio del vehículo
- El inversionista se dedicará a trabajar como taxista sin necesidad de solicitar los servicios de un conductor
- En cuanto los ingresos anuales, se consideró que el taxista tendrá un producido diario neto de \$203583 COP para el año 2026 este tomando en cuenta que los ingresos actuales de \$150000 serán incrementados anualmente por el IPC

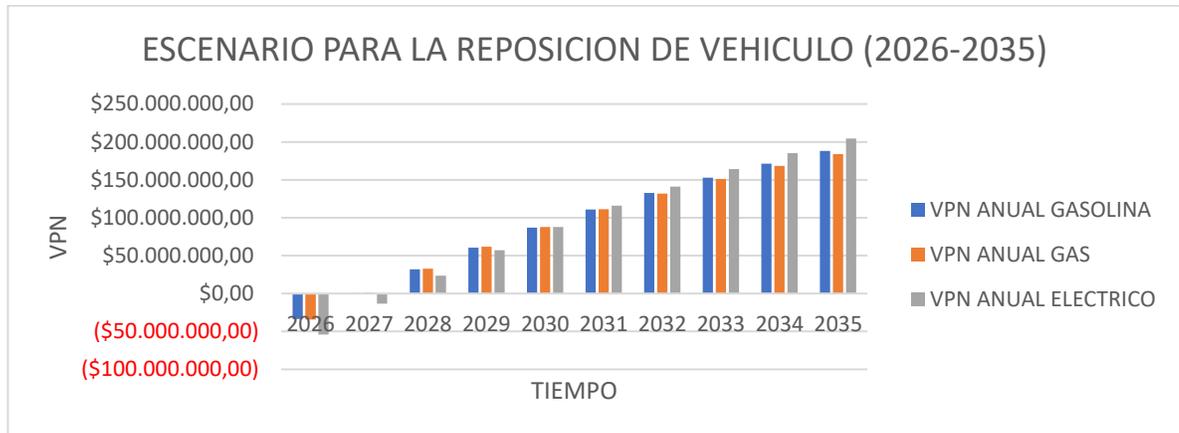
Tabla 27.Indicadores para la reposición de vehículo 2026-2035

RESULTADOS TAXI A GASOLINA		RESULTADOS TAXI A GAS	
INDICADOR ECONOMICO	VALOR	INDICADOR ECONOMICO	VALOR
TASA	15.00%	TASA	15.00%
TIR	29%	TIR	27%
TIR MODIFICADA	21%	TIR MODIFICADA	20%
VPN	\$ 46,168,407.25	VPN	\$ 42,110,510.80
RESULTADOS TAXI ELECTRICO			
INDICADOR ECONOMICO	VALOR		
TASA	15.00%		
TIR	25%		

TIR MODIFICADA	19%
VPN	\$ 48,554,926.68

Fuente: Propia

Ilustración 34. Escenario para la reposición de vehículo 2026-2035



Fuente: Propia

Se observa como al igual que el anterior escenario, el VPN de un taxi eléctrico será un 20% mayor con respecto a los taxis a gasolina, debido a que la diferencia de precios entre la gasolina y el gas natural con respecto a la electricidad es mayor con el tiempo

- **ESCENARIO REPOSICION DE VEHICULOS PARA LA EMPRESA DE HENRY TAXIS (2025-2035)**

Para este escenario se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones

- La empresa recibirá una tarifa al día ajustada a la inflación del año
- Los costos de combustible serán asumidos por el conductor del taxi.
- Los costos de operación y mantenimiento serán asumidos por la empresa de taxis.
- En cuanto la inversión inicial no se tomó en cuenta el cupo metropolitano del taxi puesto que la empresa cuenta con estos.

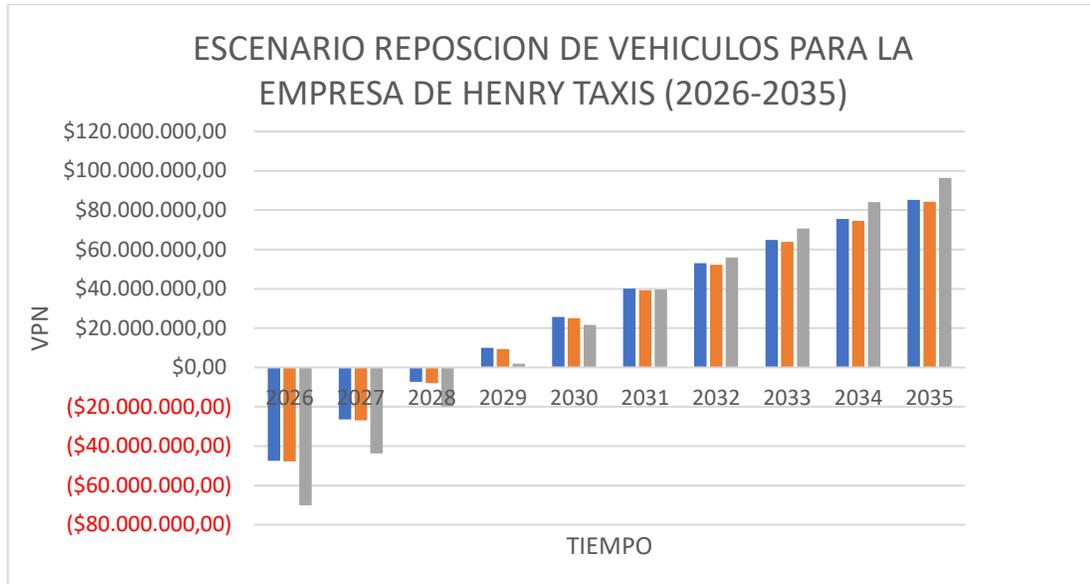
Tabla 28. Escenario reposición de vehículo para la empresa Henry taxis

RESULTADOS TAXI A GASOLINA		RESULTADOS TAXI A GAS	
INDICADOR ECONOMICO	VALOR	INDICADOR ECONOMICO	VALOR
TASA	15.00%	TASA	15.00%
TIR	29%	TIR	27%
TIR MODIFICADA	21%	TIR MODIFICADA	20%
VPN	\$ 46,168,407.25	VPN	\$ 42,110,510.80
RESULTADOS TAXI ELECTRICO			
INDICADOR ECONOMICO	VALOR		
TASA	15.00%		
TIR	25%		
TIR MODIFICADA	19%		
VPN	\$ 48,554,926.68		

Fuente: Propia

Ilustración 35. Escenario reposición de vehículos empresa Henry taxis

Ilustración 36. ESCENARIO DE REPOSICION DE VEHICULO PARA LA EMPRESA DE HENRRY TAXIS



Fuente: Propia

Se puede observar en la gráfica que un taxi eléctrico generara un 11% más de VPN que un taxi a gasolina esto se debe a que al haber una reducción en la inversión inicial para el año 2026 de los vehículos eléctricos, los ahorros de operación y mantenimiento son suficientes para poder generar un VPN mayor que los vehículos convencionales

#### 4.5 Determinación de la infraestructura de recarga

##### 4.5.1 Análisis de recorridos y sitios de interés de la ciudad

Para dar cumplimiento a este objetivo específico se hizo una búsqueda a fondo en la literatura encontrándose trabajos como Optimal allocation of electric vehicle charging infrastructure in cities and regions[14] el cual describe la metodología para determinar el área óptima para asignar la infraestructura de recarga de . También documentos como A review of spatial localization methodologies for the electric vehicle charging infrastructure hacen una recopilación de las diferentes metodologías que se han implementado y propuesto en el mundo, dejando en evidencia que países como China y Estados Unidos son quienes más han trabajado en este tema con más de 161 y 146 publicaciones respectivamente[10]. También se

puede observar en este trabajo una síntesis de argumentos para la ubicación de estas encontrándose factores como la densidad de tráfico.

Ilustración 37. Criterios para la localización de electrolineras

Reviewed literature	User/destination orientation				Route orientation						
	Demand density	Distance user—CS	Distance destinat.—CS	Dwell time	Trip length	Traffic density	Travel time	Queuing	EV range (SOC)	CS range	Finance cost
Ahn and Yeo (2015)					x	x					x
Andrenacci et al. (2016)						x				x	
Asamer et al. (2016)						x				x	
Baouche et al. (2014)					x						x
Böhm (2013)					x		x				x
Brooker and Qin (2015)	x	x		x							
Cai and Shu (2014)	x			x							
Cavadas et al. (2014)	x		x	x							x
Chung and Kwon (2015)						x					
Cruz-Zambrano, Corchero, Iguualada-Gonzalez, and Bernardo (2013)	x										x
Dong et al. (2014)				x	x					x	x
Efthymiou et al. (2012)	x		x								
Eisel, Schmidt, and Kolbe (2014)				x	x	x					
Frade et al. (2011)	x	x	x	a							
Gao and Lu (2015)	x				x						
Gkatzoflias, Drossinos, and Zambelli (2016)	x		x		b						
Guo and Zhao (2015) <sup>c</sup>											
Han et al. (2016)						x	x	x	x		x
He et al. (2016)	x	x		a							
Hidalgo et al. (2016)						x			x		x
Huang et al. (2016)			x			x				x	x
Islam, Shareef, and Mohamed (2016)						x					x
Islam, Mohamed and Shareef (2015)	x										x
Jia, Hu, Liang, Lang, and Song (2014)	x										x
Kameda and Mukai (2011)					x		x				
Kang, Feinberg, and Papalambros (2016)							x	x	x		x
Li et al. (2015)							x	x			
Li et al. (2016)					x						
Li and Huang (2014)							x	x			
Liu, Zhang, Ji, and Li (2012)						x					x
Luo, Huang, and Gupta (2015) and Luo, Huang, and Gupta (2016)	x									d	
Namdeo et al. (2014)	x										
Rajabi-Ghahnavieh and Sadeghi-Barzani (2016)	x										
Rastegarfar, Kashanizadeh, Vakilian, and Barband (2013)											x

Fuente: A review of spatial localization methodologies for the electric vehicle charging infrastructure[10]

Aspectos como la densidad poblacional, la densidad de tráfico, los sitios de interés son de los ítems más recurrentes para dar razón de ubicación a una electrolinera, sin embargo documentos como el Charging infrastructure planning for promoting battery electric vehicles: An activity-based approach using multiday travel data, utilizan herramientas de conversión, suma de estadísticas de bloque, así como diferentes métodos de agrupación para buscar una ubicación eficiente de la electrolinera.[31]

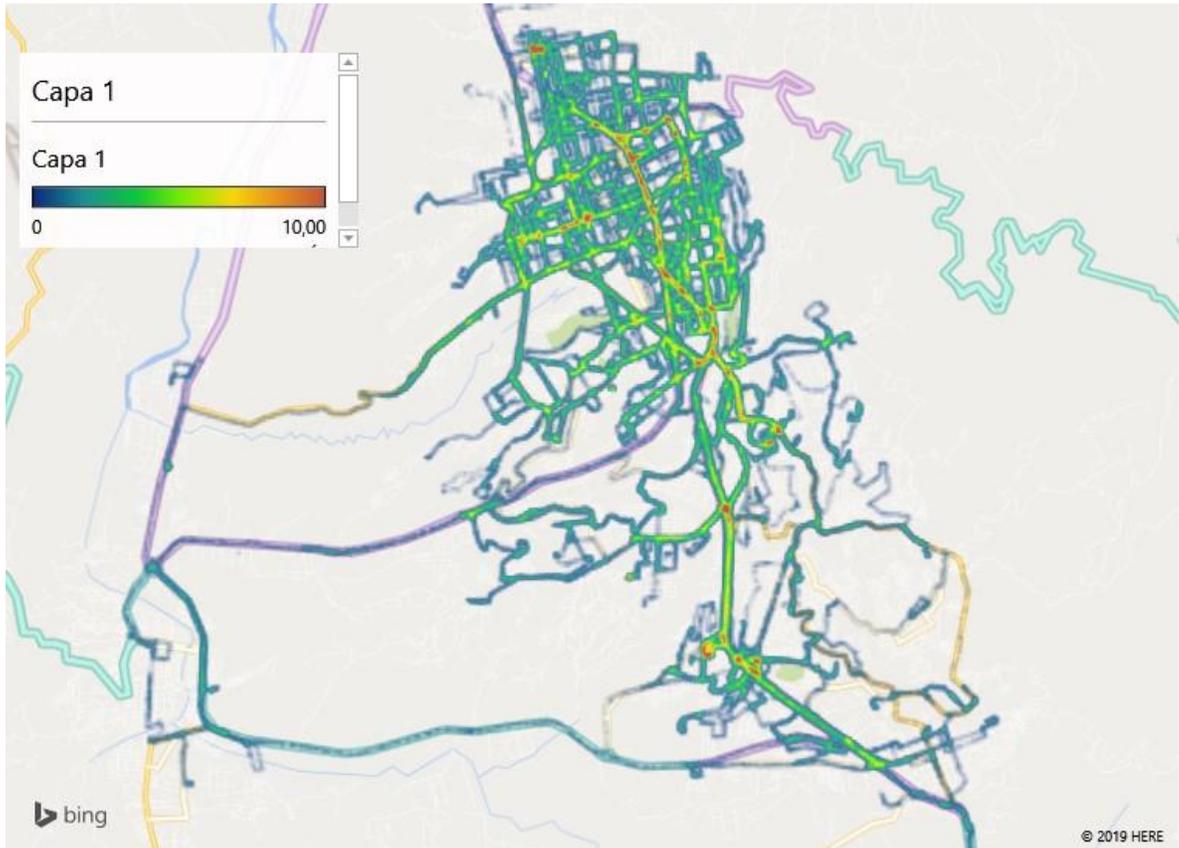
De esta forma la ubicación de las electrolineras para este trabajo, estarán ubicadas bajo los siguientes argumentos:

- Densidad de tráfico según las rutas de los taxis
- Sitios de interés de la ciudad

Densidad de tráfico según las rutas de los taxis

En cuanto a la densidad de tráfico arrojada por las diez pruebas realizadas en los taxis, se puede ver mediante la herramienta de mapas 3D de Excel que estos puntos están resaltados en una tonalidad más roja que en donde no se tiene tanta densidad de tráfico, como lo muestra la siguiente imagen.

Ilustración 38. Mapa de calor de frecuencia vial para los taxis de prueba



Fuente. Propia

#### Sitios de interés de la ciudad

Se tienen los puntos en donde más hay densidad de tráfico en el área metropolitana se procede a revisar cuales son los sitios de interés que están aledaños a estos puntos rojos, entendiéndose como sitios de interés lugares que frecuentan las personas con mucha regularidad, es decir, centros comerciales, centros de Salud, universidades, parques entre otros. De esta manera los sitios encontrados en la ciudad aledaños a estos puntos de calor o densidad de tráfico son los siguientes:

- Centro Comercial Caracolí
- Centro comercial cañaveral

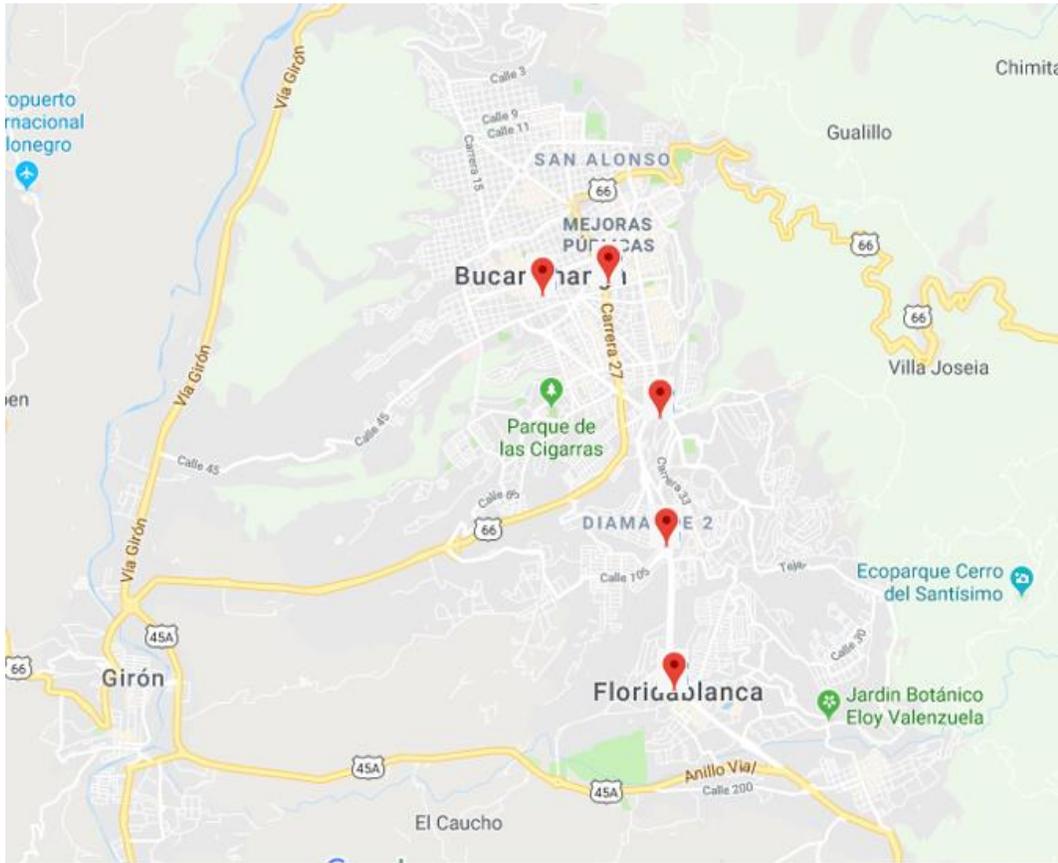
- Centro comercial la florida
- Centro comercial Cacique
- Universidad autónoma de Bucaramanga sede el bosque
- Centro de salud Foscal
- Neomundo centro de convenciones
- Parque los niños
- Hospital universitario los Comuneros
- Centro comercial Mega mall
- Catedral metropolitana la sagrada familia

Un sitio que no es catalogado como de interés pero que se da una gran densidad de tráfico es el Puente Provenza ya que por su facilidad de conectar la ciudad de florida con Bucaramanga se convierte en un espacio bastante transitado.

#### **4.5.2 Ubicación de las electrolineras**

Finalmente, ya teniendo definidos nuestros argumentos, la ubicación de estas electrolineras quedaría de la siguiente forma:

Ilustración 39. Ubicación de las electrolinerías



Fuente: propia



Ubicación de la electrolinería

Ubicadas de Sur a norte las electrolinerías estarían en cañaveral, Puente Provenza, Cacique, parque Santander, y parque los niños.

#### 4.6 Recomendaciones de actuaciones políticas y económicas que incentiven la movilidad eléctrica.

- Reducción de costos por norma (tecnología mecánica, e impuestos anuales).
- Según quedó estipulado en el Consejo Superior de Política Fiscal actualmente todo V.E que se compre en Colombia debe pagar un IVA del 5%, sin embargo, si se redujera este impuesto hasta 0% el precio de estos

vehículos se vería beneficiado en gran medida haciéndola más competente con sus homologados a combustión interna.

- Crear una sobre tasa que sea aplicada a cada automotor por el nivel de contaminación que genere con el fin de desincentivar la tenencia de vehículos viejos que contaminan más.
- Carriles exclusivos del Metrolínea para la movilidad eléctrica, sería un tipo de incentivo que tendrían quienes quieran adquirir esta tecnología ya que se evitarían gran parte de los trancones de la ciudad.
- Exonerar a los vehículos del costo de matrícula para vehículos eléctricos sea exonerada y funcione como un incentivo hacia la transición a esta tecnología.
- Mantener sin restricción de pico y placa a los vehículos eléctricos.
- Desarrollar infraestructura para carga en los parqueaderos de exterior, como es el caso de los ubicados en conjuntos de apartamentos o viviendas, esta puede ser por ejemplo puesta en postes de luz.
- Parqueaderos gratuitos para vehículos eléctricos.

#### **4.7 Otros resultados**

Como análisis adicional se plantea una ecuación que relacione los datos altura, velocidad y distancia que se tomaron a cada uno de los taxis en prueba, de manera que se plantea lo siguiente:

##### **4.7.1 Modelo de consumo de gasolina**

Un aporte extra que se decidió realizar al trabajo fue el desarrollo de una ecuación que permitiera mostrar el uso de combustible de un taxi, más específicamente del Hyundai i10 el cual es el vehículo más representativo de nuestra muestra

Para definir el modelo se plantearon tres tipos de variables que influyen en el consumo de gasolina y determinar su relación con el flujo de combustible

- Delta de altura: El cual se describe como el cambio de altura de un punto A a un punto B, y está relacionado con la altitud la cual se denomina la distancia vertical que existe entre cualquier punto de la Tierra en relación al nivel del mar.
- Velocidad Promedio: Esta se define como la relación entre desplazamiento que realiza un cuerpo y el tiempo que le llevo en realizarlo
- Distancia: Es la longitud total recorrida por un objeto móvil en su trayectoria.

Una vez definidas las variables a tener en cuenta, se optó por realizar una prueba en condiciones reales de conducción y medir el uso de combustible junto con las

variables anteriormente mencionadas. Para ello se optó realizar la prueba con la ruta característica debido a se encuentran las vías más usadas por los taxis a los cuales se les realizaron la prueba.

#### 4.7.2 Dispositivo de medición

Para poder medir el consumo y las variables planteadas en tiempo real, se optó por usar un OBD (On Board Diagnostics) este es un sistema de diagnóstico a bordo el cual se conecta al puerto OBD del automóvil. Este puerto tiene acceso a la información de sensores y a su vez funciona con un dispositivo GPS, esto le permite recolectar los datos de altitud, velocidad, distancia y flujo de combustible en tiempo real, cada uno de los datos es tomado cada un segundo y gracias una aplicación móvil llamada CAR SCANNER permite tomar y guardar la data recolectada por el dispositivo OBD.[32]

Ilustración 40. OBD II



Fuente: Manual OBD II [32]

#### 4.7.3 Levantamiento de datos

La ruta se realizó el 4 de abril de 2019 alrededor de las 9:45AM horario en el cual puede operar los vehículos de la empresa de taxis (Henry Taxis), el vehículo usado fue un taxi Hyundai i10 particular, se conectó el dispositivo OBD y se comenzó a realizar la ruta que consistió en un recorrido de 44 km y tuvo una duración aproximada de 2 horas.

Una vez terminado el recorrido, se retiró el dispositivo OBD del vehículo y se procedió a analizar los datos obtenidos. La aplicación que se sincroniza con el

dispositivo genero un archivo en formato .CSV que es compatible con EXCEL para poder visualizar los datos recolectados.

#### 4.7.4 Análisis de datos

El archivo que genero el OBD consistió en una secuencia de puntos con información de velocidad, consumo de combustible, distancia y altura tomados en tiempo real.

El combustible usado en galones era medido cada segundo, pero para determinar la relación del uso de combustible con las anteriores variables, se decidió tomar los deltas de combustible entre cada punto , de esta manera se define como

$$Combustible\ usado_{puntofinal} - Combustible\ usado_{puntoinicial} = \Delta Combustible$$

En cuanto la velocidad promedio que hay entre cada punto se usó la ecuación

$$\frac{(V_{Puntofinal} + V_{Puntoinicial})}{2} = V_{Prom}$$

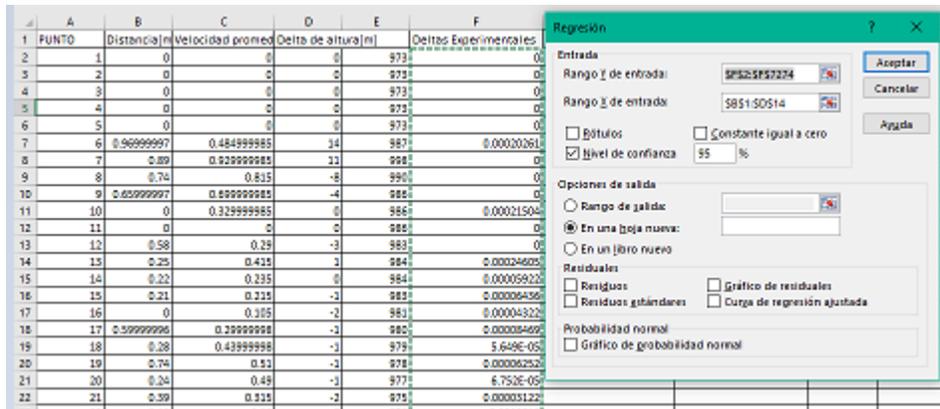
Para determinar el delta de altura o la distancia vertical se define como

$$Altitud_{puntofinal} - Altitud_{puntoinicial} = \Delta h$$

Por último, la distancia que hay entre cada punto, es entregada por el mismo OBD

Ya definido los valores de las variables se procedió a realizar una regresión de datos este es un procedimiento estadístico que permite estimar las relaciones que hay entre una variable dependiente con respecto a una o más variables independientes. Para realizar lo anteriormente dicho se usó la herramienta de regresión de Excel

Ilustración 41. Desarrollo de la regresión



Fuente: Propia

Como se puede observar como rango de entrada se seleccionan los datos correspondientes a la variable dependiente, para este estudio son los deltas experimentales de combustible y en cuanto a los rangos de salida corresponden a cada una de las variables independientes, en este caso son La distancia, velocidad promedio y delta de altura.

El análisis de regresión dio como resultado la siguiente tabla

Tabla 29.Resultado de la regresión lineal

Variables	Coficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	7.92279E-05	1.6548E-06	47.8786067	0	7.59841E-05	8.24717E-05	7.59841E-05	8.24717E-05
Variable X 1(distancia)	0.0001058	3.9434E-06	26.8294196	2.817E-151	9.80694E-05	0.00011353	9.80694E-05	0.00011353
Variable X 2(Velocidad Prom.)	-9.42631E-05	3.9499E-06	-23.8647133	2.982E-121	0.000102006	8.65202E-05	0.000102006	8.65202E-05
Variable X 3( $\Delta h$ )	2.37043E-05	1.3784E-06	17.1970774	5.329E-65	2.10022E-05	2.64063E-05	2.10022E-05	2.64063E-05

Para determinar si entre las variables independientes y la variable dependiente existe una correlación, la casilla de probabilidad debe tener un valor igual o menor del 5% o 0.05, dado que se seleccionó un nivel de confianza de 95% al momento de realizar la regresión.

Cada uno de los coeficientes obtenidos se multiplica por la variable que representan cada una.

Por último, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\Delta \text{Combustible} = 0.0001058 * d - 9.42631 \times 10^{-5} * V_{prom} + 2.37043 \times 10^{-5} * \Delta h + 7.92279 \times 10^{-5}$$

Donde:

$d$  = Distancia entre cada punto

$V_{prom}$  = Velocidad promedio

$\Delta h = \text{Delta de altura}$

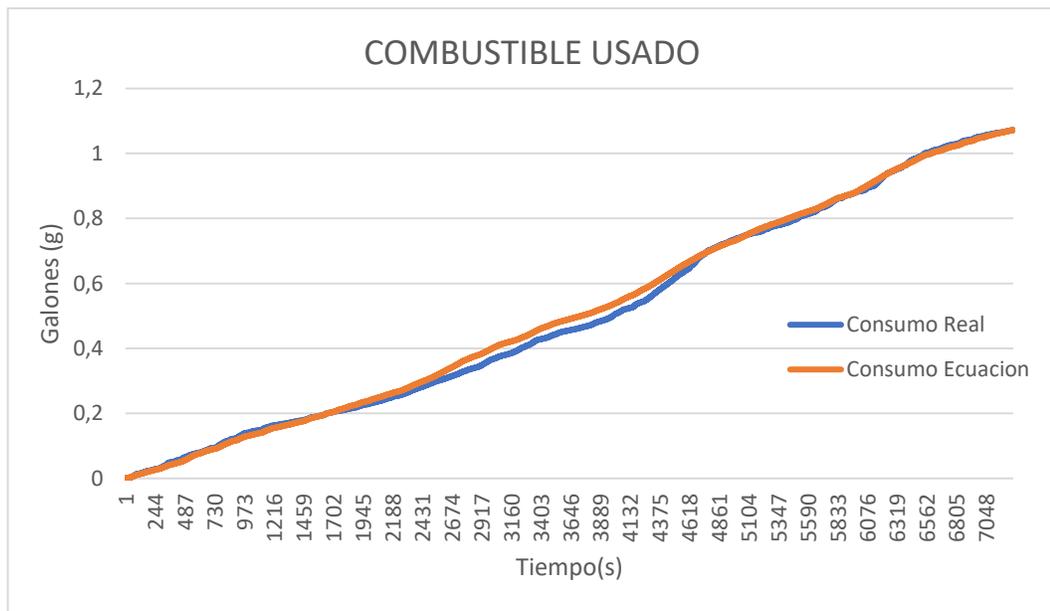
$\Delta \text{Combustible} = \text{Delta de combustible}$

#### 4.7.5 Comparación de datos reales con los del modelo experimental y análisis de resultados

Para poder realizar estas comparaciones se obtuvieron los deltas de combustible experimentales por medio de la ecuación del modelo ya una vez hecho este proceso se determinó el uso de combustible mediante la suma de los deltas de combustible.

Al final se graficó el uso de combustible respectó al tiempo

Tabla 30. Combustible usado



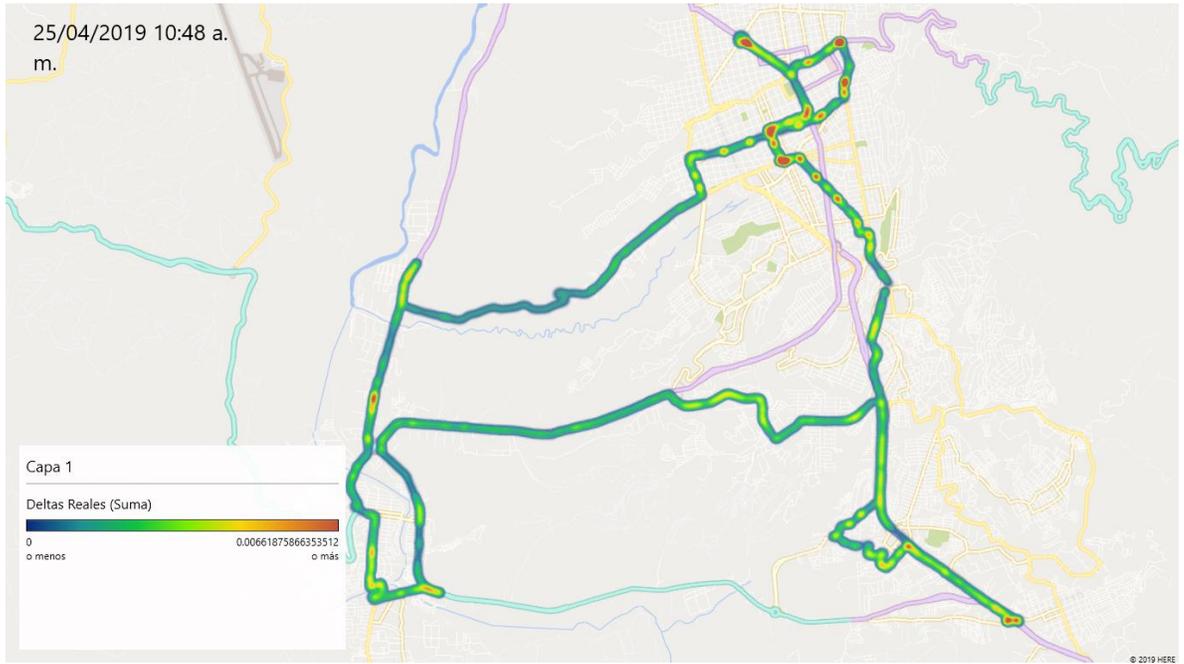
Fuente: propia

Como se puede observar el combustible usado, que fue realizado por medio del modelo matemático tiene un comportamiento y una tendencia similar al consumo real el cual fue obtenido mediante OBD.

Para una mejor interpretación de los datos obtenidos se trasladaron cada uno de los datos a un mapa, con el fin de analizar los datos obtenidos.

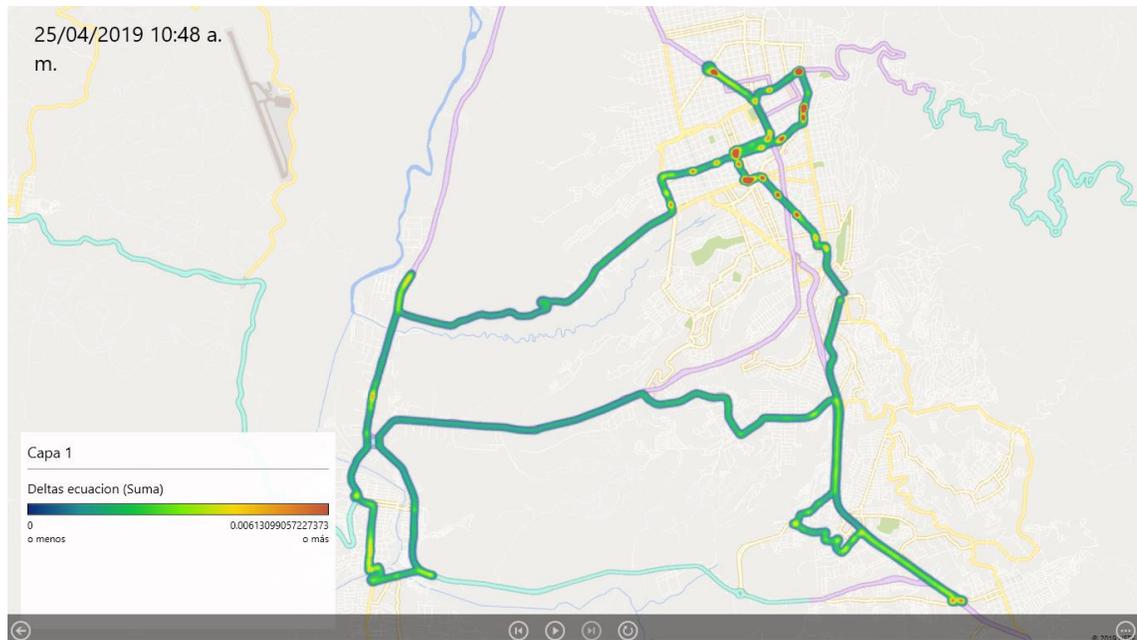
Para ello se usó la herramienta de Mapas en EXCEL, tabulando los datos de Latitud, Longitud y la información de cada punto, para nuestro caso de estudio los deltas reales y los experimentales de combustible.

Ilustración 42. Deltas de combustible reales correspondientes a la ruta característica



Fuente: Propia

Ilustración 43. Deltas de combustible experimentales correspondiente a la ruta característica



Fuente: Propia

Como se puede observar los deltas de combustible experimentales tienen un mismo comportamiento en ciudad, como los deltas de combustible reales. Un ejemplo de ello es que los deltas de combustible tanto experimentales como reales son mayores en zonas urbanas como los municipios de Bucaramanga Girón y Piedecuesta debido a que el frenar y acelerar debido a cruces o semáforos implica un mayor gasto de gasolina, contrario lo que pasa en vías extraurbanas, en la cual se suele llevar altas velocidades y pocas paradas esto se puede observar en las gráficas anteriormente mostradas donde las autopistas tienen un color más claro comparado con las zonas urbanas indicando menor consumo de gasolina en esos tramos viales

## 6. Conclusiones

- Se observa que, en el panorama nacional, no hay una masificación de vehículos eléctricos en el sector público, debido a los altos costos de adquisición, comparado con los vehículos a combustión interna, el hecho de que no existe una infraestructura de recarga eléctrica que proporcione un respaldo a quienes deseen adquirir este tipo de tecnología, así como la falta de infraestructura y experiencia en mantenimiento, que se suman a las incipientes políticas que incentiven y viabilicen su uso.
- La autonomía teórica bajo el ciclo de conducción europeo NEDC del vehículo eléctrico e5, usado en la prueba de recorrido, es de unos 400 km; sin embargo, bajo las condiciones de tráfico y topografía del área metropolitana de Bucaramanga, para la ruta característica seleccionada en este estudio, es del orden de los 340 km, lo cual refleja la pertinencia de validar las autonomías presentadas por los fabricantes en condiciones reales de uso.
- r en el presente proyecto. Siendo este un aspecto imperativo para definir técnicamente la factibilidad el uso del vehículo.
- Actualmente, adquirir un taxi eléctrico sin ningún tipo de incentivos, resulta poco atractivo para su adquisición, debido a que los vehículos a combustión interna proyectan un VPN mayor que eléctrico en un período de 10 años.
- Según el análisis proyectado, si se adquiriese un taxi eléctrico dentro de 5 años, el retorno de la inversión y las utilidades serían mucho más altas que si se adquiriese un taxi a combustión interna, puesto que las proyecciones de los precios de los vehículos eléctricos tenderán a bajar y la diferencia entre el precio de la energía eléctrica respecto a los combustibles fósiles será más amplia.
- Se consideró como principal criterio para la propuesta de ubicación de electrolinerías, la frecuencia vehicular que, para el caso del área metropolitana de Bucaramanga, concuerda con el criterio de sitios de interés, lo que hace que la selección de los puntos de recarga propuestos, sea más acertada.
- Según las consultas realizadas a los taxistas, e inversionistas del sector, la exención de pico y placa es un motivante para adquirir el vehículo eléctrico, por cuanto pueden operar más días a la semana. Sin embargo, es necesario incluir medidas como la exención en pago del cupo del taxi, deducción del IVA y otros impuestos, que viabilicen económicamente la inversión de estos vehículos, siendo estas algunas de las medidas adoptadas en las ciudades de Medellín y Bogotá, y hacen viable económicamente la inversión, según los modelos económicos desarrollados en este estudio.

## 7. Recomendaciones

- Se recomienda para un futuro proyecto, tener en cuenta empresas de taxis de los municipios aledaños (Girón Floridablanca y Piedecuesta) con el objetivo de que esta muestra de taxis represente toda el área metropolitana.
- Para futuros estudios de electrolinerías en el área metropolitana de Bucaramanga se recomienda tener otros criterios para la ubicación de electrolinerías tales como demanda energética costos de financiación y distancia entre electrolinerías.
- Como se observó en el estudio, solo fue hecho para sectores urbanos de la ciudad mas no se tiene conocimiento de su comportamiento en carretera intermunicipales con este fin se podría generar un estudio similar para taxis dedicados a transporte extraurbano.
- Es importante dar a conocer este tipo de propuestas en nuestra ciudad puesto que el tema de los taxis eléctricos no está muy desarrollado habiendo desconocimiento del tema. Pará ello se debería presentar este tipo de estudios a instituciones tales como alcaldía, cámara de comercio o la secretaria de movilidad.

## 8. Bibliografía

- [1] U. N. Proyecto *et al.*, “CONVENIO DE ASOCIACIÓN No. 335 DE 2016 SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE-SIGAIRES.”
- [2] “MOVILIDAD SOSTENIBLE POLÍTICAS E INCENTIVOS. Septiembre de 2018 Ana María Ferreira. Segundo Encuentro Internacional de Movilidad Eléctrica - PDF.” [Online]. Available: <https://docplayer.es/98981583-Movilidad-sostenible-politicas-e-incentivos-septiembre-de-2018-ana-maria-ferreira-segundo-encuentro-internacional-de-movilidad-electrica.html>. [Accessed: 11-May-2019].
- [3] J. Gómez-Gélvez, C. Mojica, V. Kaul, and L. Isla, “La Incorporación De Los Vehículos Eléctricos En América Latina,” p. 48, 2016.
- [4] B. Q.-U. N. de Colombia, B. DC, and undefined 2014, “Modelo de masificación de vehículos eléctricos en Bogotá DC,” *core.ac.uk*.
- [5] ENERGÍA Y SOCIEDAD, “4.1. ¿Por qué el vehículo eléctrico? | Energía y Sociedad,” 2018. [Online]. Available: <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/>. [Accessed: 10-Mar-2019].
- [6] “La autonomía de las baterías aumentará un 25% gracias a la química NCM 811 - Tecnología - Híbridos y Eléctricos | Coches eléctricos, híbridos enchufables.” [Online]. Available: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/lg-chem-aumentara-autonomia-baterias-25-gracias-quimica-ncm-811/20181116102441023207.html>. [Accessed: 21-Apr-2019].
- [7] J. Alfonso Martínez Gutiérrez, “VEHÍCULO ELÉCTRICO: VEHÍCULO ELÉCTRICO: VEHÍCULO ELÉCTRICO: VEHÍCULO ELÉCTRICO: ANALISIS Y PROSPECTI ANALISIS Y PROSPECTI ANALISIS Y PROSPECTI ANALISIS Y PROSPECTIVA VA VA VA DE FACTORES TECNOLÓG DE FACTORES TECNOLÓG DE FACTORES TECNOLÓG DE FACTORES TECNOLÓGICOS Y ECONÓMICOS ICOS Y ECONÓMICOS ICOS Y ECONÓMICOS ICOS Y ECONÓMICOS.”
- [8] “PROYECTO DE LEY No. “POR MEDIO DE LA CUAL SE PROMUEVE EL USO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN COLOMBIA Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES.” [Online]. Available: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8K4OxnHpl\\_AJ:fenalco.com.co/file/2081/download%3Ftoken%3DQYZqMEHz+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8K4OxnHpl_AJ:fenalco.com.co/file/2081/download%3Ftoken%3DQYZqMEHz+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co). [Accessed: 28-Apr-2019].
- [9] M. E. R. Guajala, H. S. L. Zurita, M. C. M. Martínez, and S. I. L. Jurado, “Inserción de vehículos eléctricos en las cooperativas de taxis de la ciudad de Ambato. Ecuador,” *Rev. Eniac Pesqui.*, vol. 4, no. 2, p. 112, 2016.
- [10] R. Pagany, L. R. Camargo, and W. Dorner, “A review of spatial localization

methodologies for the electric vehicle charging infrastructure,” *Int. J. Sustain. Transp.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–17, 2018.

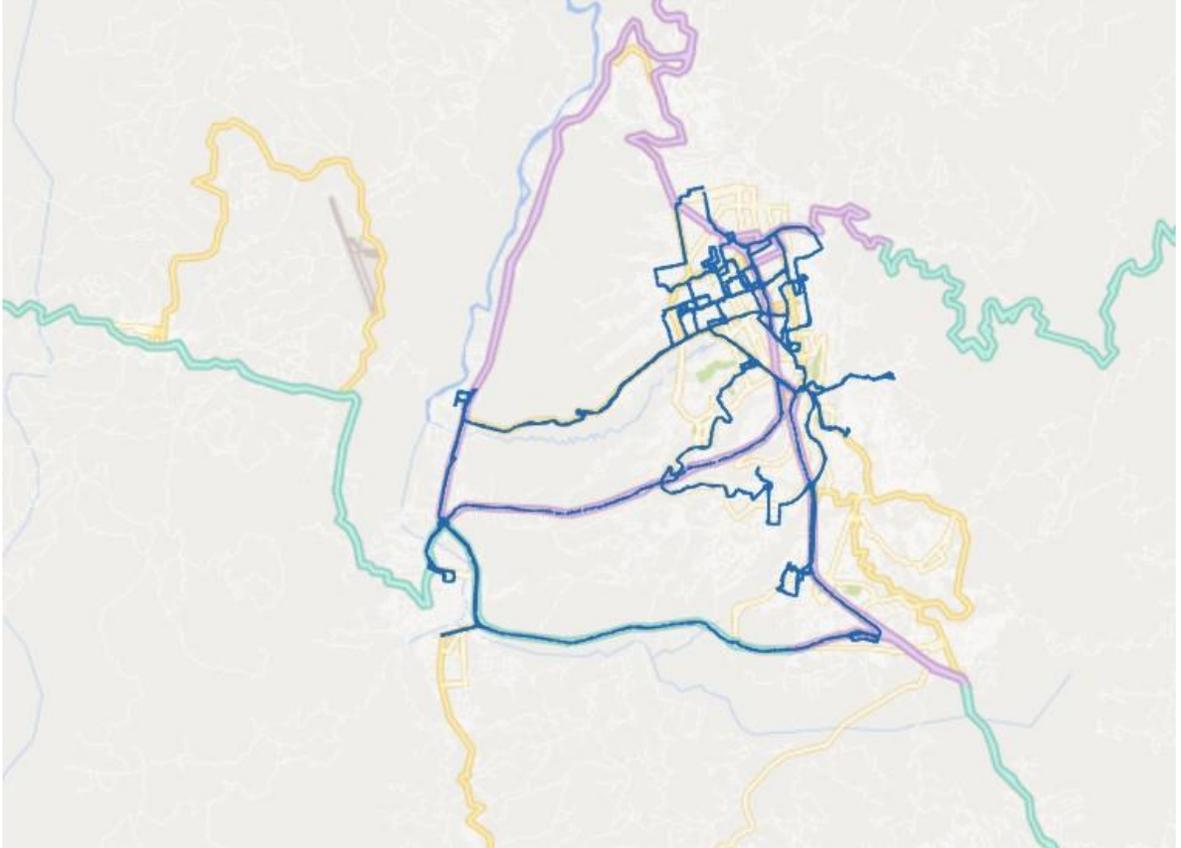
- [11] “Qué son los taxis eléctricos - Secretaría Distrital de Ambiente.” [Online]. Available: <http://ambientebogota.gov.co/web/taxis-electricos-en-bogota/que-son-los-taxis-electricos>. [Accessed: 23-May-2019].
- [12] “Este año Medellín tendrá sus primeros 200 taxis eléctricos - Secretaría de Movilidad de Medellín.” [Online]. Available: <https://www.medellin.gov.co/movilidad/component/k2/este-ano-medellin-tendra-sus-primeros-200-taxis-electricos>. [Accessed: 23-May-2019].
- [13] “Características de prueba piloto en Medellín.”
- [14] Y. Drossinos, P. Zambelli, and C. Thiel, *Optimal allocation of electric vehicle charging infrastructure in cities and regions* first main title line first line second main title line third main title line Alyona. 2016.
- [15] “Solo hay 30 estaciones de recarga para carros eléctricos entre Bogotá y Medellín.” [Online]. Available: <https://www.larepublica.co/empresas/solo-hay-30-estaciones-de-recarga-para-carros-electricos-entre-bogota-y-medellin-2758354>. [Accessed: 24-Apr-2019].
- [16] “ENERGÍA NORMA TÉCNICA CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE CARGA PARA VEHICULOS ELÉCTRICOS,” 2018.
- [17] Renault, “Renault Zoe Datenblatt,” 2015.
- [18] “¿Qué necesitas para recargar un coche eléctrico?” [Online]. Available: <https://www.motorpasion.com/n/cualquier-casa-puede-tener-un-punto-de-recarga-de-vehiculo-electrico>. [Accessed: 24-Apr-2019].
- [19] “Portal ESSA &gt; Sala de prensa &gt; Primera Ecoestación eléctrica pública de Santander.” [Online]. Available: <https://www.essa.com.co/site/Saladeprensa/PrimeraEcoestacionelctricapublicadeSantander.aspx>. [Accessed: 02-May-2019].
- [20] Bogotá DC, “PROGRAMA DE TRANSFORMACIÓN PRODUCTIVA PROCESO 468-2013 DISEÑO DEL MARCO REGULATORIO PARA EL DESARROLLO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN COLOMBIA INFORME FINAL.”
- [21] “Por qué no se ven vehículos eléctricos en Colombia.” [Online]. Available: <https://www.dinero.com/economia/articulo/por-que-no-se-ven-vehiculos-electricos-en-colombia/242319>. [Accessed: 24-Apr-2019].
- [22] “Los vehículos españoles, entre los más viejos de Europa.” [Online]. Available: [https://dirigentesdigital.com/hemeroteca/los\\_vehiculos\\_espanoles-](https://dirigentesdigital.com/hemeroteca/los_vehiculos_espanoles-)

\_entre\_los\_mas\_viejos\_de\_europa-HVDD56485. [Accessed: 28-Apr-2019].

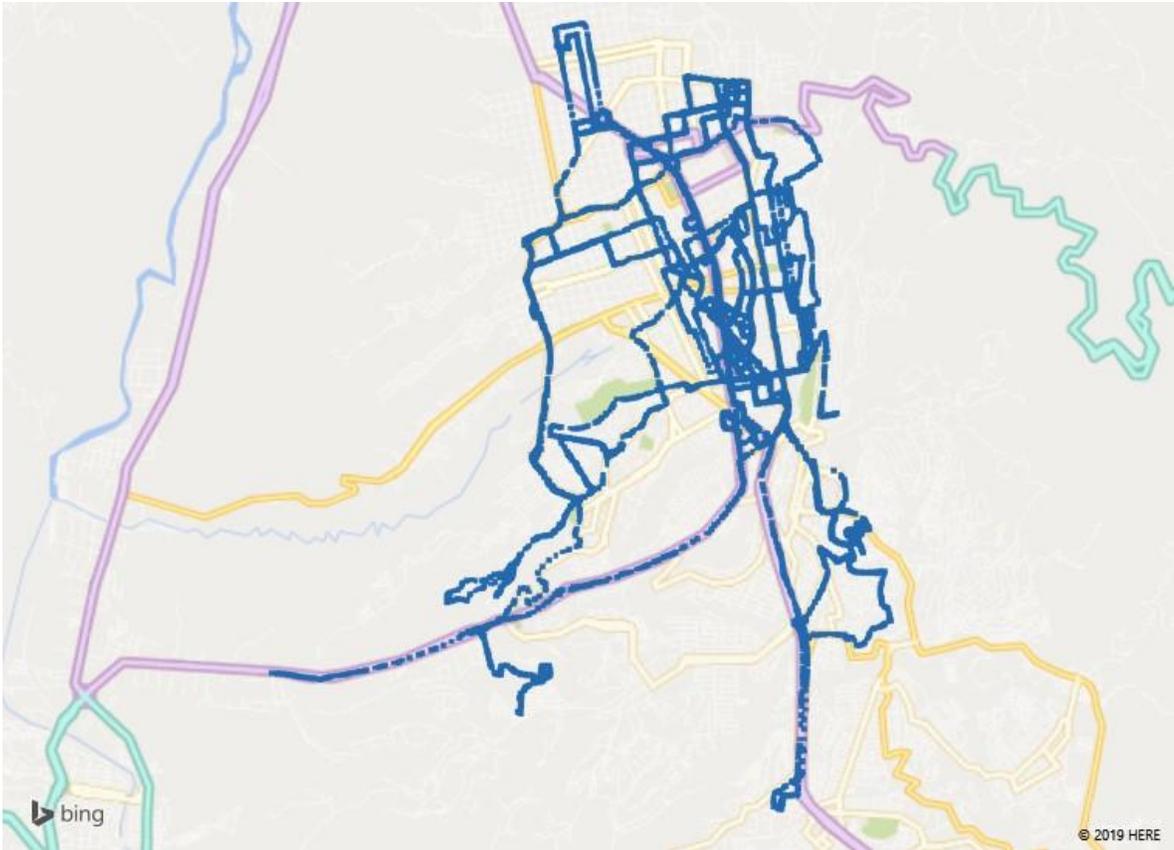
- [23] “Grand i10.”
- [24] “Especificaciones técnicas Kia Picanto.”
- [25] “Especificaciones técnicas chevrolet spark.”
- [26] “PROYECCIÓN DE PRECIOS DE LOS ENERGÉTICOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA.”
- [27] “Los precios de la gasolina para el año 2019 - Otras Ciudades - Colombia - ELTIEMPO.COM.” [Online]. Available: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-precios-de-la-gasolina-para-el-ano-2019-310406>. [Accessed: 08-May-2019].
- [28] “full-text.”
- [29] “Tarifa essa 2019.”
- [30] “Indice de precios al consumidor,” 2018. .
- [31] J. Dong, C. Liu, and Z. Lin, “Charging infrastructure planning for promoting battery electric vehicles : An activity-based approach using multiday travel data,” *Transp. Res. PART C*, vol. 38, pp. 44–55, 2014.
- [32] O. B. D. On and B. Diagnostics, “DIAGNÓSTICO A BORDO,” 2005.

## 9. Anexos

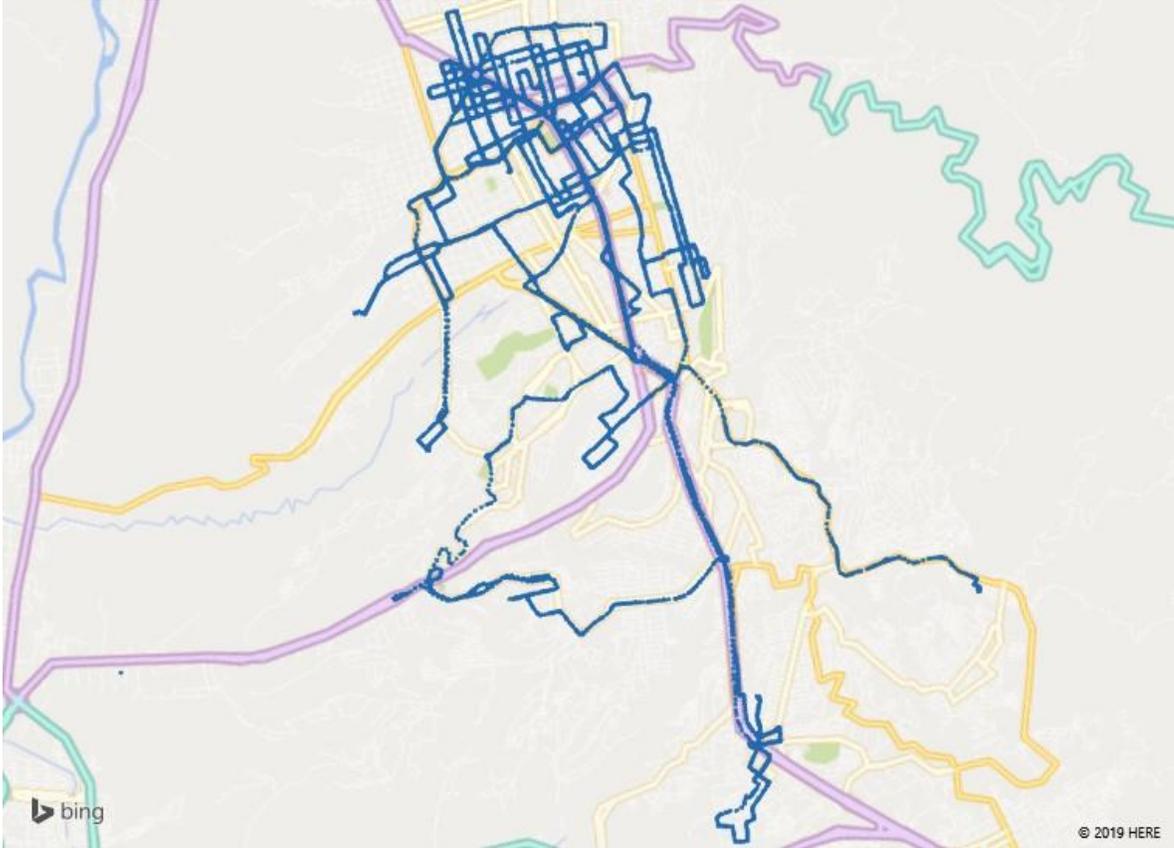
### Anexo 1. Ruta1



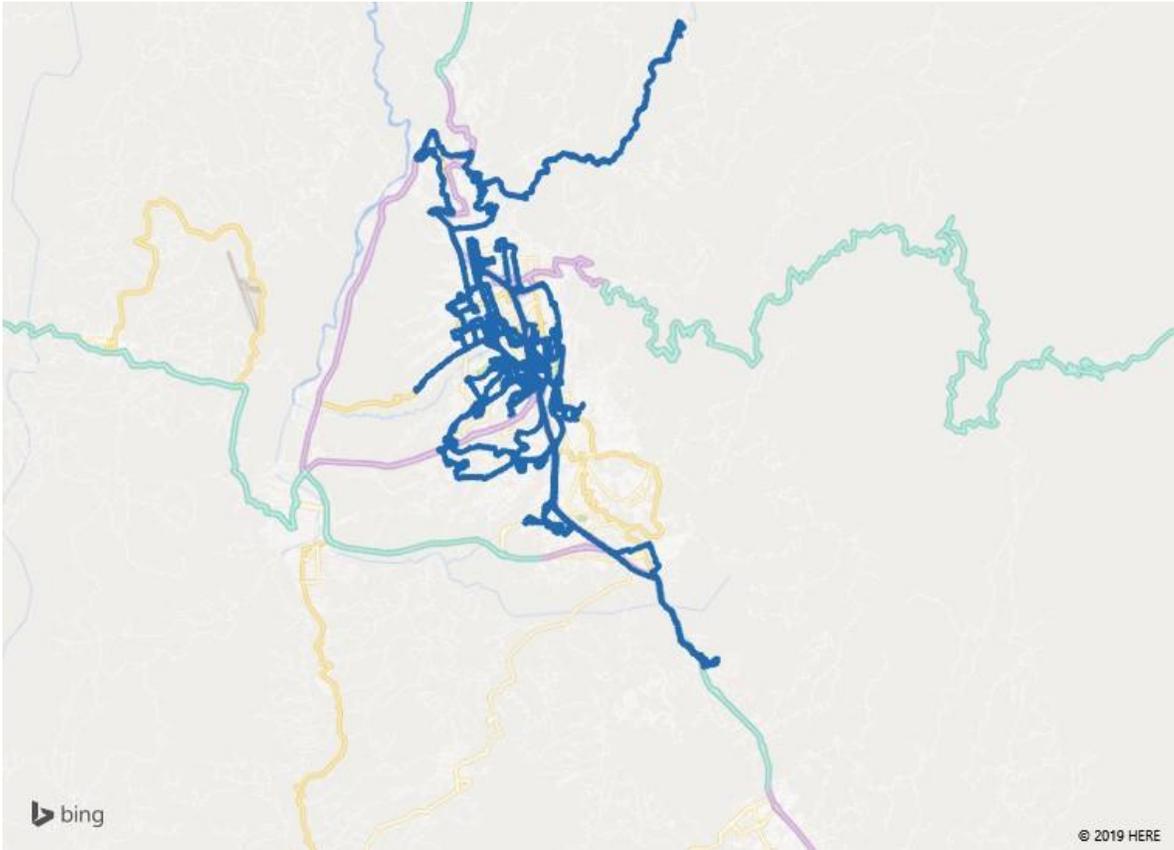
Anexo 2. Ruta 2



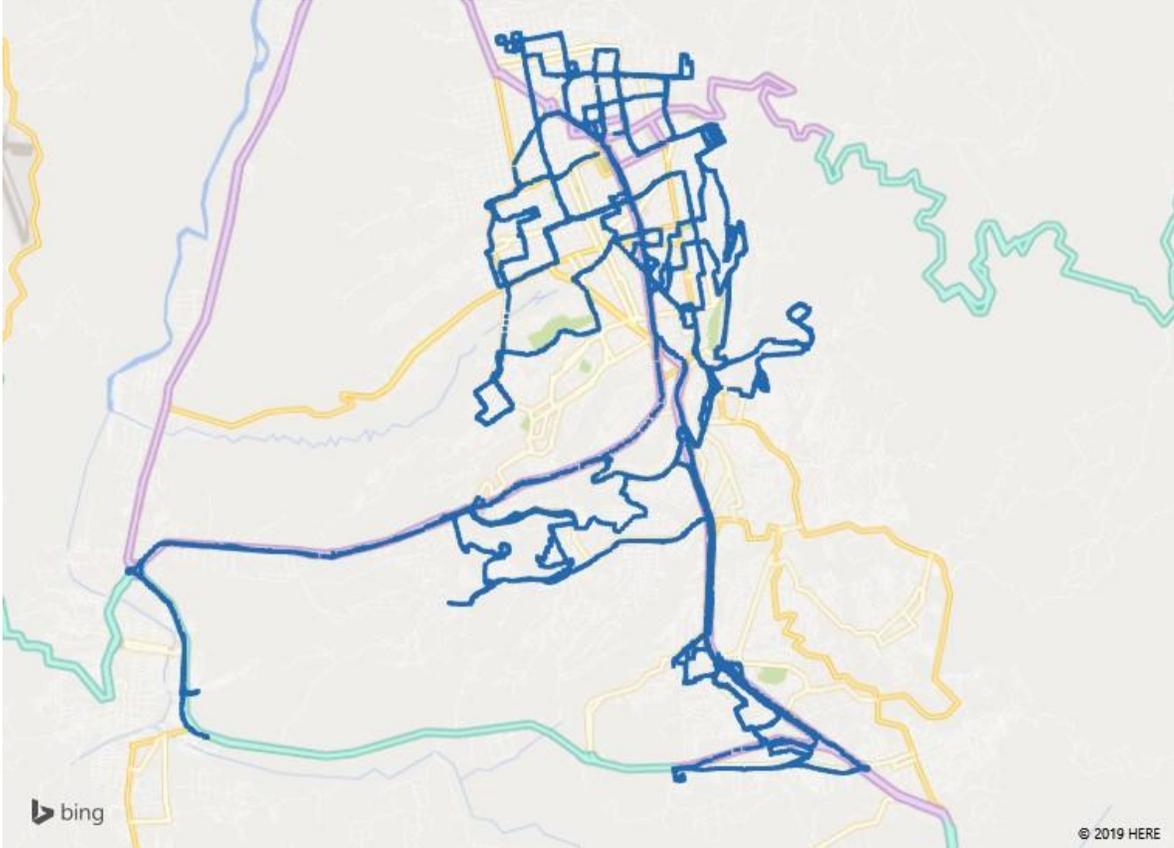
Anexo 3 Ruta 3.



Anexo 4. Ruta 4



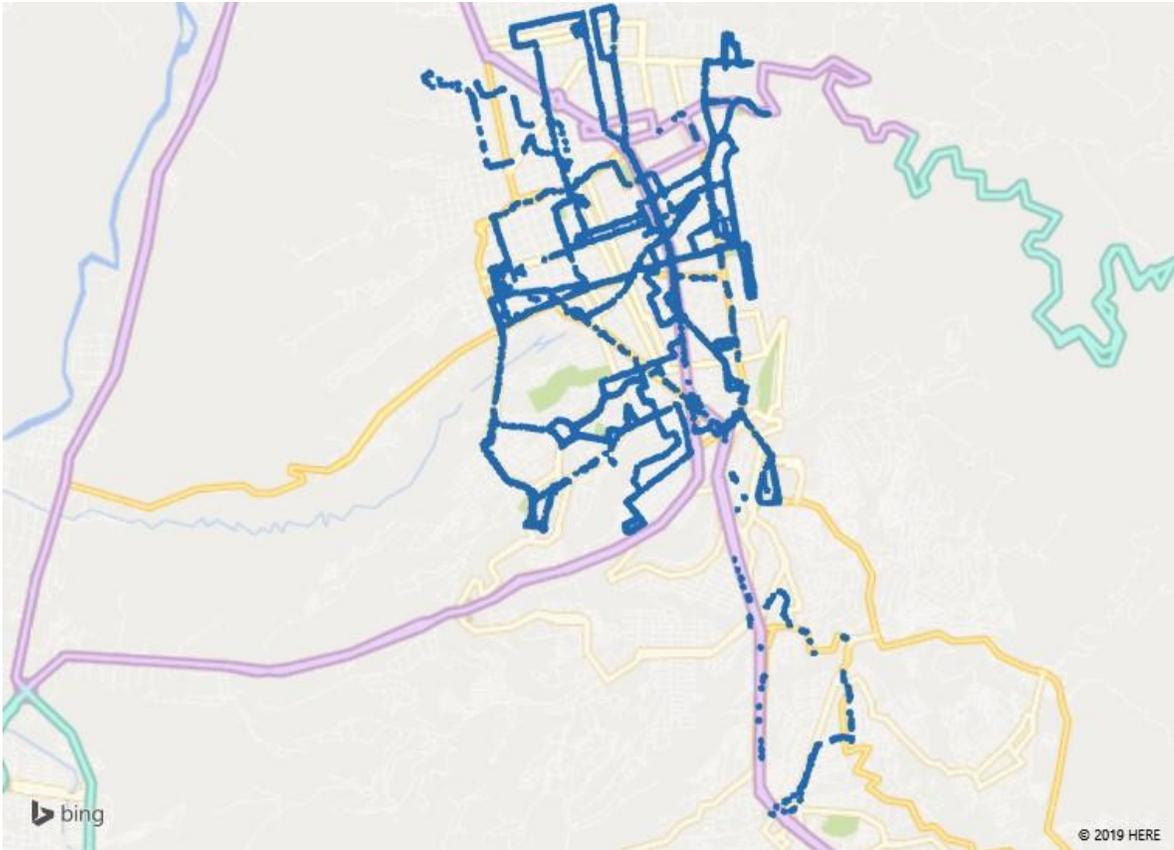
Anexo 5. Ruta 5.



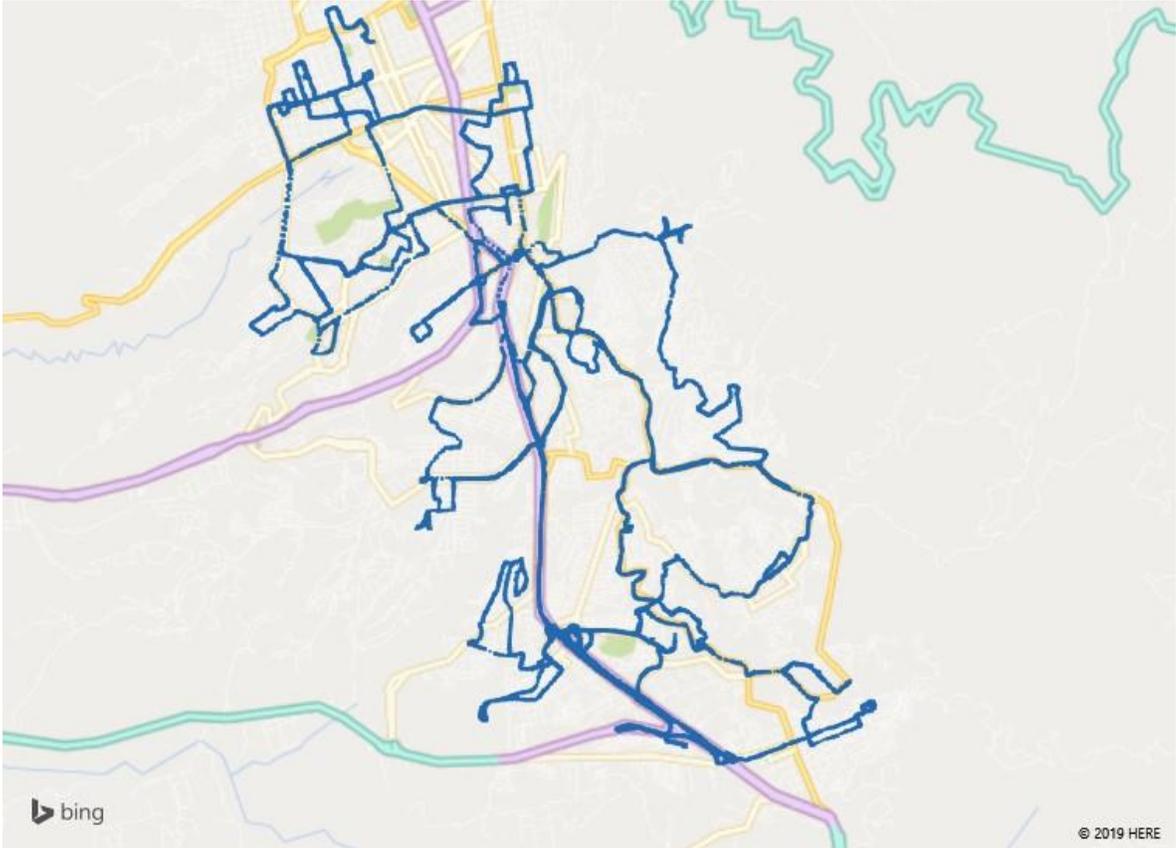
Anexo 6. Ruta 6



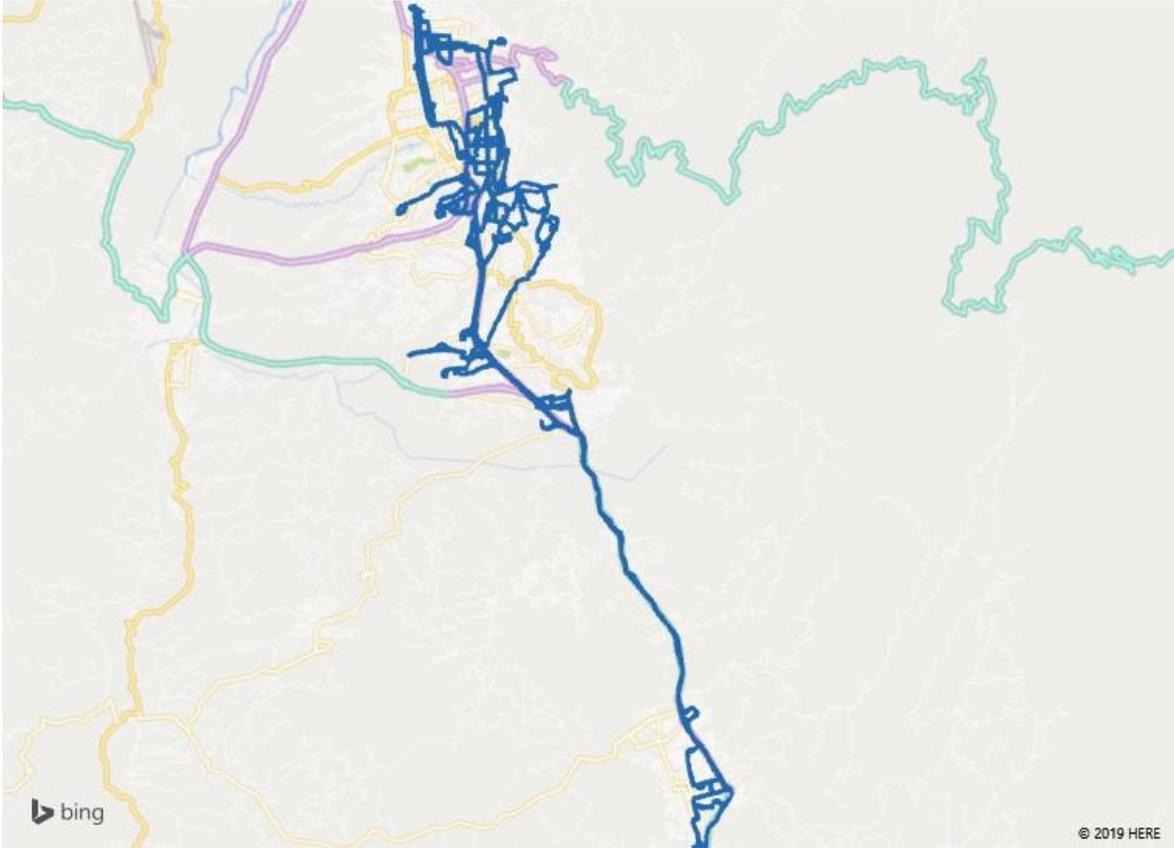
Anexo 7. Ruta 7.



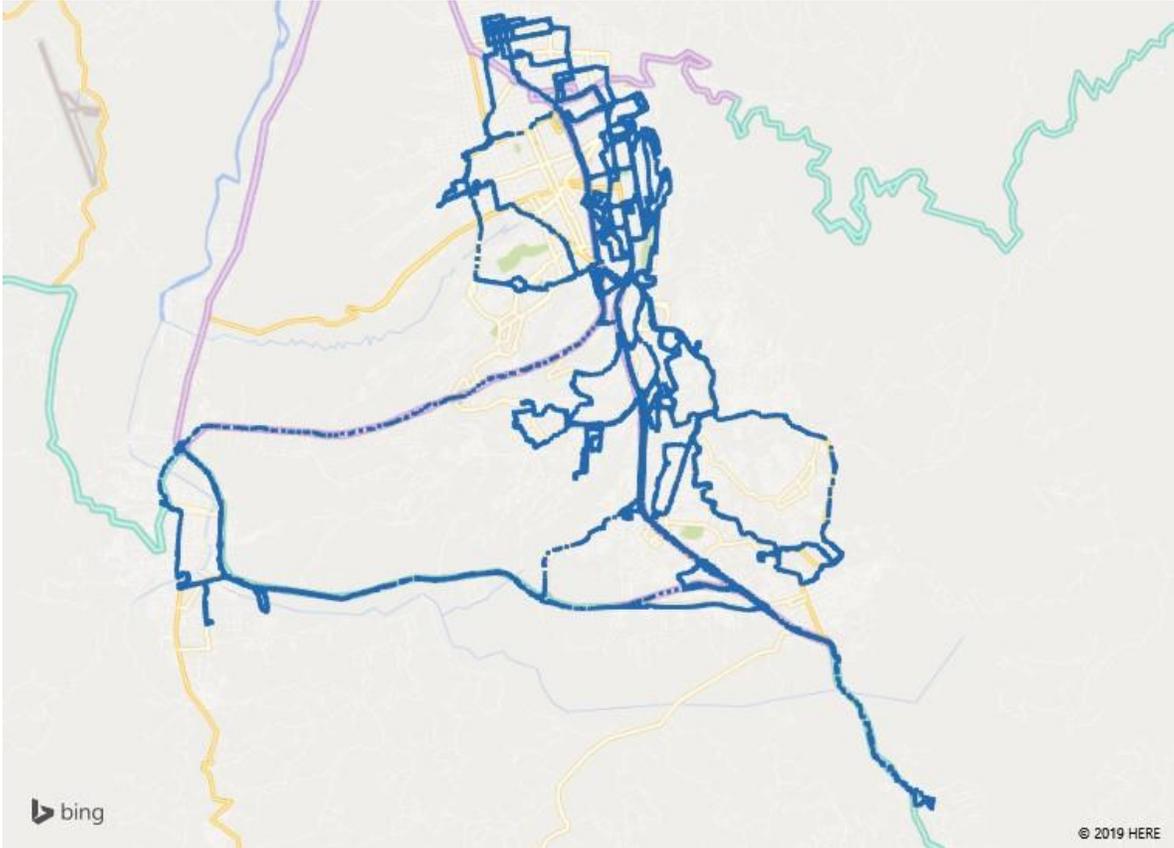
Anexo 8. Ruta 8



Anexo 9. Ruta 9



Anexo 10. Ruta 10



Anexo 11. Tabla resumen de recorridos

Recorrido 1		
Variable	Valor	Unidades
Modelo de taxi	Hyundai i10	
Tiempo recorrido	11,266	[h]

Distancia Recorrida antes del GPS	75	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	119	[km]
Distancia total recorrida	194	[Km]
Producido	155000	�COP
<b>Recorrido 2</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo de taxi	Hyundai i10	
Tiempo recorrido	12,09	[h]
Distancia Recorrida antes del GPS	54	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	104	[km]
Distancia total recorrida	158	[Km]
Producido	175000	�COP
<b>Recorrido 3</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo de taxi	Hyundai i10	
Tiempo recorrido	12,133	[h]
Distancia Recorrida antes del GPS	35	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	120	[km]
Distancia total recorrida	155	[Km]
Producido	140000	�COP
<b>Recorrido 4</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo de taxi	Hyundai i10	
Tiempo recorrido	11,15	[h]
Distancia Recorrida antes del GPS	20	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	131	[km]
Distancia total recorrida	151	[Km]
Producido	147000	�COP
<b>Recorrido 5</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo de taxi	Hyundai i10	
Tiempo recorrido	11,1	[h]
Distancia Recorrida antes del GPS	26	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	143	[km]
Distancia total recorrida	169	[Km]
Producido	185000	�COP
<b>Recorrido 6</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo de taxi	Hyundai i10	
Tiempo recorrido	11,5	[h]

Distancia Recorrida antes del GPS	25	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	147	[km]
Distancia total recorrida	172	[Km]
Producido	147000	\$/COP
<b>Recorrido 7</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo de taxi	Hyundai i10	
Tiempo recorrido	15,73	[h]
Distancia Recorrida antes del GPS	0	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	192	[km]
Distancia total recorrida	192	[Km]
Producido	130000	\$/COP
<b>Recorrido 8</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo de taxi	Hyundai i10	
Tiempo recorrido	13,2	[h]
Distancia Recorrida antes del GPS	0	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	155	[km]
Distancia total recorrida	155	[Km]
Producido	150000	\$/COP
<b>Recorrido 9</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo de taxi	Hyundai i10	
Tiempo recorrido	14,433	[h]
Distancia Recorrida antes del GPS	0	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	221	[km]
Distancia total recorrida	221	[Km]
Producido	146000	\$/COP
<b>Recorrido 10</b>		
<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Modelo de taxi	Hyundai atos	
Tiempo recorrido	14	[h]
Distancia Recorrida antes del GPS	0	[km]
Distancia Recorrida con el GPS	197	[km]
Distancia total recorrida	197	[Km]
Producido	150000	\$/COP

