

IMPLICACIONES ENERGÉTICAS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA INTEGRACIÓN DE AUTOBUSES ELÉCTRICOS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO DE LA CIUDAD DE AMBATO

Ríos Villacorta Alberto; Vargas Guevara Carlos; Guamán Molina Jesús; Otorongo Cornejo Manuel

Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

Resumen: En el presente artículo se analizan las implicaciones energéticas y medioambientales de la integración de autobuses eléctricos en el sistema de transporte urbano de la ciudad de Ambato. El parque automotor del sistema de transporte público urbano de la ciudad de Ambato consta de una flota de 438 autobuses, distribuidos en 5 cooperativas y compañías operadoras. La información se obtuvo de los contratos de operación suscritos entre la Dirección de Tránsito, Transporte y Movilidad de la Municipalidad de Ambato y las empresas y cooperativas operadoras de las rutas de transporte público. El análisis comparativo emplea indicadores como el consumo energético – fósil y eléctrico, el coste económico del consumo energético y el impacto medioambiental de los combustibles fósiles. En el estudio realizado se demuestra que la sustitución de autobuses con motores de combustión por autobuses eléctricos supondría una reducción anual en el consumo energético fósil de 511 TJ a 140,66 TJ, además, el país reduciría sus importaciones en 3 millones 180 mil 760 galones de diesel al año. Adicionalmente, se obtendría un ahorro de 24 mil 774 toneladas equivalentes de CO₂ emitidas a la atmósfera.

Palabras clave: Energía, movilidad, transporte, combustibles fósiles.

ENERGY AND ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS OF ELECTRIC BUS INTEGRATION IN URBAN TRANSPORT SYSTEM OF THE CITY OF AMBATO

Abstract: In this research analyzes the energy and environmental implications of the integration of electric buses into the urban transport system of the city of Ambato. The urban public transport system of the city of Ambato consists of a fleet of 438 buses, distributed in 5 cooperatives and operating companies. The information was obtained from the operating contracts signed between the Transit, Transport and Mobility Directorate of the Municipality of Ambato and the companies and cooperatives operating the public transportation routes. The comparative analysis uses indicators such as energy - fossil and electric consumption, the economic cost of energy consumption and the environmental impact of fossil fuels. In the study carried out with the demonstration that the substitution of buses with combustion engines by electric buses would mean an annual reduction in fossil energy consumption from 511 TJ to 140.66 TJ, in addition, the country reduces its imports by 3 million 180 thousand 760 gallons Diesel a year. In addition, a saving of 24 thousand 774 tonnes of CO₂ emitted into the atmosphere is obtained.

Keywords: Transport, energy, mobility, fossil fuels.

1. Introducción

América Latina, en las últimas décadas, ha experimentado un importante crecimiento poblacional. Entre el año 1995 y 2016, la población total aumentó de 472 millones a 625 millones de habitantes, experimentando un incremento en 20 años de 153 millones de habitantes. El acelerado y desordenado crecimiento de las grandes ciudades de la región ha derivado en la aparición de un patrón caótico de movilidad urbana, y por tanto, en una mayor demanda de servicios de transporte [1] - [2]. La profundización de un

patrón caótico de circulación de personas y mercancías es el motivo principal de la existencia de un sistema de transporte desordenado, congestionado, ineficiente energética y económicamente, con elevados niveles accidentalidad y contaminación ambiental. Un sistema de transporte desordenado y caótico conduce inevitablemente al aumento del tiempo de transporte por viaje, del uso de espacio del sistema vial existente, y del consumo de energía. La optimización integral de los sistemas de transporte público urbano implica la reducción del uso de vehículos privados, la construcción de una red vial para ciclistas y la

electrificación de los sistemas de transporte fósiles convencionales, entre otras soluciones sostenibles [3].

En los países desarrollados, una de las alternativas más utilizadas en la optimización del sistema de transporte es la electrificación del sistema de transporte público, puesto que los mismos contribuyen a un cambio sustancial en el ordenamiento del tráfico y en la reducción de las emisiones urbanas [4]. No obstante, es importante analizar los diferentes aspectos operativos, económicos, tecnológicos y medioambientales que implican la integración de sistemas electrificados de transporte en ciudades con un transporte público predominantemente fósil. Es evidente que un proceso de electrificación del sistema de transporte público exige la creación de un sistema de distribución de la energía eléctrica que permita garantizar el suministro de energía eléctrica [5]. Asimismo, es de especial importancia la optimización de la gestión y operación de los sistemas de transporte electrificado, que garanticen la reducción comparativa del consumo de energía y de las emisiones contaminantes [6].

La creciente demanda energética en los sistemas de transporte convencionales exige la adopción de políticas estratégicas sostenibles que promuevan el uso de sistemas renovables de generación eléctrica y garanticen un crecimiento de la demanda eléctrica en el proceso de electrificación del transporte, basado en tecnologías respetuosas con el medio ambiente [7].

En el mundo, el aumento del uso de vehículos eléctricos se debe al importante apoyo gubernamental en los países desarrollados, en respuesta a las preocupaciones por incrementar su nivel de independencia energética y reducir los graves impactos del cambio climático [8].

Los sistemas de transporte electrificados reducen significativamente las emisiones contaminantes locales, optimizan el consumo energético de los recursos primarios, debido a la elevada eficiencia de los motores eléctricos, y minimizan la contaminación acústica en las calles.

La electrificación del transporte de personas y mercancías, en las ciudades y entre ciudades, es uno de los más grandes desafíos en el actual proceso de transformación del modelo energético del Ecuador [9].

En el presente estudio se propone demostrar que los sistemas de transporte electrificados presentan importantes beneficios energéticos, económicos, y medio ambientales, puesto que permiten abordar el reordenamiento de las rutas de transporte público, que garantice la reducción del uso del espacio vial existente, del tiempo de traslado y del uso de combustibles fósiles. Por tanto, se espera una sustancial disminución de las emisiones contaminantes y del uso de vehículos particulares [10].

El sistema de transporte público de la ciudad de Ambato es completamente dependiente de los derivados de petróleo, y por tanto, implica una importante huella de impacto medioambiental. En el Ecuador, el transporte es el principal sector contaminante, con un 39% del total de emisiones [11].

Los elevados niveles de contaminación urbana se asocian al uso de combustibles fósiles en el transporte de personas y mercancías y a la reducida eficiencia de los motores de combustión. Asimismo, el sistema de transporte urbano en Ambato presenta serios problemas de congestión de tráfico, contaminación local y ruidos molestos. La integración de vehículos eléctricos en la ciudad de Ambato permitirá sustituir un sistema de transporte contaminante, energéticamente ineficiente y económicamente insostenible por un sistema de transporte respetuoso con el medio ambiente, energéticamente eficiente y económicamente muy competitivo.

En un entorno de agotamiento de los recursos petroleros a escala global y de inexorable reducción de la producción de crudo a escala nacional, la excesiva dependencia de los derivados del petróleo en el sector transporte pone en riesgo la capacidad de garantizar el transporte de personas y mercancías, en ciudades y entre ciudades. Por tanto, es imprescindible, elaborar una estrategia a largo plazo que permita desacoplar al Ecuador de la dependencia del petróleo.

El transporte es el sector de la economía ecuatoriana con mayor consumo de energía igual a 42 millones de barriles equivalentes de petróleo, correspondiente al 42% del total de energía final en el Ecuador, Figura 1 [11]. En el sector transporte, el diésel y la gasolina conforman el 45% y el 41%, respectivamente, representando conjuntamente el 86% del total de la energía consumida en este sector, Figura 2 [11]. Es importante indicar, además, que desde el año 2011, en la provincia del Guayas, se utiliza la gasolina Ecopaís, compuesta de 95% de gasolina extra y 5% de bioetanol. Los sistemas de transporte eléctricos son prácticamente inexistentes en el país y apenas representan el 0,01% del consumo total de energía empleado en el sector transporte. El único sistema de transporte público electrificado en el Ecuador es el trolebús de la ciudad de Quito.

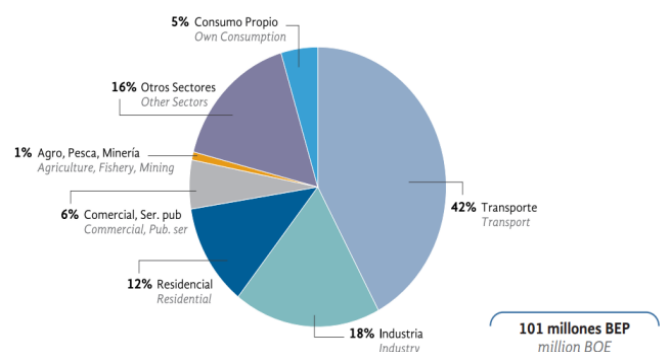


Figura 1: Estructura del consumo de energía por sectores en el Ecuador a diciembre del año 2014 [11].

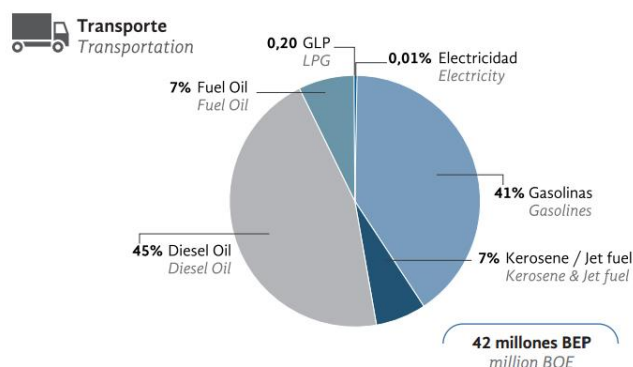


Figura 2: Estructura del consumo de energía en el sector Transporte de Ecuador a diciembre del año [11].

En el consumo final de energía de los derivados fósiles representan el 74% del total de energía en el país [12]. Por tanto, es necesario iniciar la sustitución del consumo de energía fósil tanto en el sector residencial, comercial, doméstico e industrial así como en el transporte público y privado. En el sector transporte, en un futuro no muy lejano, se deberá planificar la sustitución del uso de derivados de petróleo en los vehículos de carga pesada y liviana, que representan el 69% del total del consumo de derivados de petróleo en el país, Figura 3, y que configura el desafío energético más importante para el país en las próximas décadas. El diseño, dimensionado e implementación de un sistema ferroviario eléctrico a lo largo y ancho del país permitirá sustituir, significativamente, el consumo de petróleo en camiones, furgonetas, volquetas, tráileres y tanqueros. El consumo de derivados de petróleo en las ciudades, representada por taxis, autobuses, autos y jeeps es de apenas 11% del total de energía en el sector transporte [12]. La implementación de sistemas electrificados de transporte público y de políticas de promoción de vehículos eléctricos para los usuarios privados permitirá sustituir el consumo de derivados de petróleo y desacoplar el sistema de transporte público y privado de una peligrosa dependencia del petróleo.



Figura 3: Estructura del consumo de energía por tipo de vehículos en el Ecuador a diciembre del año 2012 [12].

En el año 2014, las emisiones de gases de efecto invernadero, GEI, emitidas por procesos energéticos en el Ecuador alcanzaron los 45,8 millones de toneladas de CO₂ equivalentes (desagregadas en 45,4 millones del CO₂, 0,16 de N₂O y 0,22 de CH₄) [11]. Un análisis de las emisiones de GEI por fuente de energía permite deducir que el diésel es el principal producto energético contaminante con un 34% del total de emisiones contaminantes. Asimismo, las gasolinas y el fuel oil contribuyen con un 25% y 16%, respectivamente, del total de las emisiones contaminantes del país, Figura 4.

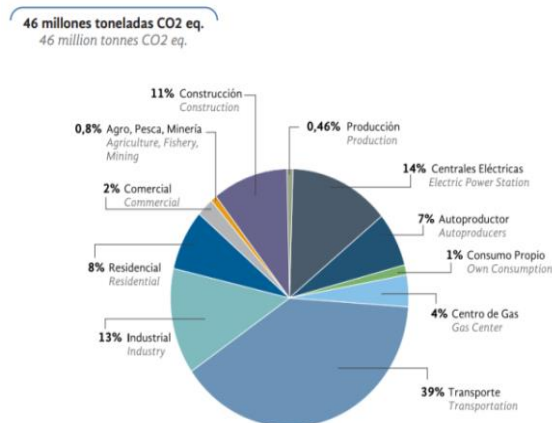


Figura 4: Porcentaje de emisiones de efecto invernadero por actividad económica en el Ecuador a diciembre del año 2014 [11].

2. Metodología

En el presente artículo se realiza un estudio que implica el análisis del consumo energético, gasto económico e impacto medioambiental de rutas y frecuencias de operación del sistema de transporte público en la ciudad de Ambato, Tungurahua, Ecuador.

Los estudios asociados a los sistemas de transporte urbano muestran que en el análisis de la operación de los sistemas de transporte urbano se debe considerar el rendimiento de los autobuses en términos del número de viajes así como la disminución de los tiempos de recorrido y los retrasos ocasionados por la congestión del tráfico urbano. Asimismo, se obtienen beneficios adicionales gracias a la disminución del consumo energético, y por consiguiente, en los índices de contaminación ambiental [13].

Para el estudio realizado se utiliza la metodología propuesta en [14], basada en el análisis de la oferta del servicio de transporte público en autobús, considerando valores de consumo energético, aspectos sociales y demanda del servicio. La metodología propuesta se centra en la necesidad social del servicio y en las unidades de transporte disponible. Asimismo, se dispone de una base de datos de paradas de autobús y de la localización geográfica de las rutas de las unidades de transporte [13]. La información necesaria para el estudio es proporcionada por el correspondiente organismo gubernamental.

La aplicación de la metodología descrita permite analizar la oferta del servicio de transporte público contando únicamente con información de las paradas de autobús, las frecuencias horarias de las líneas y la distancia de las rutas existentes.

Aunque la metodología empleada presenta algunas limitaciones asociada a la falta de exhaustividad en el análisis pormenorizado del servicio, se considera muy adecuada para disponer de una visión global de la distribución geográfica de la oferta de transporte. Los resultados obtenidos proporcionan información de gran utilidad para el desarrollo de tareas de análisis exploratorio y gestión estratégica del servicio de transporte público [14].

En el presente estudio se obtiene la información del Plan Maestro de Movilidad y Transporte de la Dirección de Tránsito, Transporte y Movilidad del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato, GADMA. La información detallada de las paradas y las frecuencias horarias de las líneas así como de la distancia de las rutas existentes se encuentra en los contratos de operación de transporte público.

La información obtenida permite estimar las distancias promedios totales diarios, semanales, mensuales y/o anuales para las 5 cooperativas de transporte de la ciudad de Ambato, tabla 3.

Asimismo, en función de las distancias recorridas, es posible estimar, en un determinado periodo de tiempo, el consumo energético, el coste económico y las emisiones contaminantes correspondientes, asociadas al sistema de transporte público urbano en la ciudad de Ambato.

Posteriormente, se estima el consumo eléctrico de un hipotético sistema de transporte electrificado, implementado en la ciudad de Ambato. En este sentido, se asume la sustitución de todas las unidades de transporte público urbano de la ciudad de Ambato por autobuses eléctricos, que proporcionen los mismos servicios y características de los buses convencionales actualmente en servicio.

3. Líneas, rutas y frecuencias de operación del transporte público en Ambato

El Plan Maestro de Movilidad y Transporte del Cantón Ambato establece que la red de transporte público urbano tiene una longitud aproximada de 132,42 km. Mientras que el transporte público interparroquial recorre una longitud de 62,75 km. Actualmente, en el cantón de Ambato existen 68 rutas de transporte público, 40 son urbanas y 28 interparroquiales [15]. La flota de buses de transporte público es de aproximadamente 438 unidades para el transporte urbano, distribuidas en 5 cooperativas y compañías.

Existen 65 buses que operan en el transporte interparroquial, distribuidas en 8 cooperativas. En el sistema de transporte del cantón Ambato operan buses tipo con capacidades de 65

y 85 pasajeros en total. En la Figura 5 se observan las principales rutas urbanas y rurales del cantón Ambato [15].

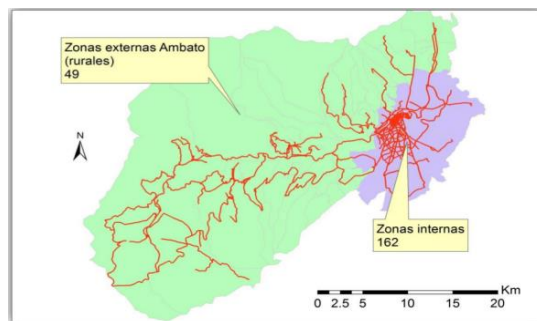


Figura 5: Mapa vial del cantón Ambato en la provincia de Tungurahua, Ecuador [15].

Las unidades de transporte público urbano comparten la red vial con el transporte privado y aunque se han aplicado medidas de gerencia para la implementación de carriles buses exclusivos, estas vías solo para buses no están separadas de los restantes carriles de para el uso de vehículos privados, implicando una solución parcial que no aporta sustancial fluidez al transporte urbano.

Además, tampoco existe un sistema de semaforización que priorice la fluidez del transporte público. Por otro lado, en [15], se indica que el número de muertes y heridos en accidentes de tránsito en la provincia de Tungurahua es superior al promedio nacional. En el año 2011, se reportaron 97 muertes en las carreteras, representando un índice de 18,9 muertes por 100 mil habitantes, mientras que el índice nacional fue de 14,2 muertes por 100 mil habitantes. El elevado número de muerte en las carreteras es una grave situación asociada al exceso de velocidad y a los bajos niveles de educación vial de conductores y peatones. El 5% de los accidentes reportados en la provincia de Tungurahua tienen como consecuencia uno o más muertos.

Entre diciembre del 2015 y febrero del 2016, la Dirección de Tránsito, Transporte y Movilidad del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato, GADMA, suscribió 5 contratos de operación de transporte público en la ciudad de Ambato para el año [16] - [17] - [18] - [19] - [20]. De los contratos de autorización de operación se deduce información de las líneas, rutas y frecuencia del sistema de transporte urbano de la ciudad de Ambato, tabla 1, que permitirá estimar las distancias anuales recorridas, y por tanto, los consumos energéticos y costes económicos asociados.

Los contratos de concesión establecen el tiempo de recorrido y los horarios de operación de las líneas de cada cooperativa. Por ejemplo, para la línea Los Ángeles – Izamba, operada por la Cooperativa Jerpazsol, con 79 paradas ida y vuelta, y una distancia del recorrido igual a 36,2 kilómetros, corresponde un tiempo de recorrido de 1 hora y 40 minutos. El horario establecido para la línea Los Ángeles – Izamba es de lunes a domingo de 6:00 a 22:30 cada 5 minutos [20] tabla 3.

Tabla 1: Información de las líneas, rutas y frecuencias autorizadas para el transporte público en la ciudad de Ambato

LÍNEAS, RUTAS Y FRECUENCIAS AUTORIZADAS				
COOPERATIVA	LÍNEAS, IDA y VUELTA	UNIDADES	PARADAS	DISTANCIA RUTA, Km
TUNGURAHUA	La Libertad – Ingahurco – Miraflores	21	83	40,2
	Totoras – Terremoto – Ficoa	19	44	33,4
	Mercado Mayorista – Letamendi – Atocha – Constantino Fernández	20	108	41,8
	Montalvo - El Recreo	18	110	31
	Terminal Terrestre – Huachi Progreso - Izamba	29	116	62
UNIÓN AMBATEÑA	T. Terrestre – Barrio Solís – M. Mayorista – Atahualpa	26	102	62
	Pucurumi – Cunchibamba – Tiugua	12	78	32
	Picaihua - Ciudadela España	16	60	28
	Ficoa – Terremoto – Totoras	15	44	33,4
	Pinillo – Nuevo Ambato	16	79	18,2
LOS LIBERTADORES	San Juan – Pisque – Barrio Amazonas	15	67	35,4
	La Joya – Ciudadela Militar – Parque Industrial	25	77	38,2
	Seminario Mayor - Ingahurco Bajo	11	77	38,2
	La Florida – 4 Esquinas - Cashapamba	22	62	25,9
	Tangaiche – Shuyurco – Macasto - Pondoá	10	77	38,2
JERPAZSOL	La Península - Las Orquídeas	11	77	38,2
	Techo Propio – Mercado América - Andiglata	11	56	38,2
	Los Ángeles – Izamba	26	79	36,2
VÍA FLORES	Manzana de Oro – Huachi Grande - Puerto Arturo	34	93	43,5
	Juan B. Vela – La Concepción – Ex Redondel Izamba	45	78*	36,5*
TOTAL	* Para la cooperativa Vía Flores, el número de paradas y kilómetros recorridos se calculó como el promedio de las 19 anteriores líneas	402	1567	750,5

Tabla 2: Horarios de operación, línea Los Ángeles- Izamba [20]

AUTORIZADO A CÍA JERPAZSOL								
Unidades	Los Angeles - Izamba							
1	6:00:00	8:10:00	10:20:00	12:30:00	14:40:00	16:50:00	19:00:00	21:10:00
2	6:05:00	8:15:00	10:25:00	12:35:00	14:45:00	16:55:00	19:05:00	21:15:00
3	6:10:00	8:20:00	10:30:00	12:40:00	14:50:00	17:00:00	19:10:00	21:20:00
4	6:15:00	8:25:00	10:35:00	12:45:00	14:55:00	17:05:00	19:15:00	21:25:00
5	6:20:00	8:30:00	10:40:00	12:50:00	15:00:00	17:10:00	19:20:00	21:30:00
6	6:25:00	8:35:00	10:45:00	12:55:00	15:05:00	17:15:00	19:25:00	21:35:00
7	6:30:00	8:40:00	10:50:00	13:00:00	15:10:00	17:20:00	19:30:00	21:40:00
8	6:35:00	8:45:00	10:55:00	13:05:00	15:15:00	17:25:00	19:35:00	21:45:00
9	6:40:00	8:50:00	11:00:00	13:10:00	15:20:00	17:30:00	19:40:00	21:50:00
10	6:45:00	8:55:00	11:05:00	13:15:00	15:25:00	17:35:00	19:45:00	21:55:00
11	6:50:00	9:00:00	11:10:00	13:20:00	15:30:00	17:40:00	19:50:00	22:00:00
12	6:55:00	9:05:00	11:15:00	13:25:00	15:35:00	17:45:00	19:55:00	22:05:00
13	7:00:00	9:10:00	11:20:00	13:30:00	15:40:00	17:50:00	20:00:00	22:10:00
14	7:05:00	9:15:00	11:25:00	13:35:00	15:45:00	17:55:00	20:05:00	22:15:00
15	7:10:00	9:20:00	11:30:00	13:40:00	15:50:00	18:00:00	20:10:00	22:20:00
16	7:15:00	9:25:00	11:35:00	13:45:00	15:55:00	18:05:00	20:15:00	22:25:00
17	7:20:00	9:30:00	11:40:00	13:50:00	16:00:00	18:10:00	20:20:00	22:30:00
18	7:25:00	9:35:00	11:45:00	13:55:00	16:05:00	18:15:00	20:25:00	
19	7:30:00	9:40:00	11:50:00	14:00:00	16:10:00	18:20:00	20:30:00	
20	7:35:00	9:45:00	11:55:00	14:05:00	16:15:00	18:25:00	20:35:00	
21	7:40:00	9:50:00	12:00:00	14:10:00	16:20:00	18:30:00	20:40:00	
22	7:45:00	9:55:00	12:05:00	14:15:00	16:25:00	18:35:00	20:45:00	
23	7:50:00	10:00:00	12:10:00	14:20:00	16:30:00	18:40:00	20:50:00	
24	7:55:00	10:05:00	12:15:00	14:25:00	16:35:00	18:45:00	20:55:00	
25	8:00:00	10:10:00	12:20:00	14:30:00	16:40:00	18:50:00	21:00:00	
26	8:05:00	10:15:00	12:25:00	14:35:00	16:45:00	18:55:00	21:05:00	

4. Estimación del consumo energético fósil del transporte público convencional

En forma general, para realizar el cálculo del consumo energético de un sistema de transporte en una ciudad, provincia o territorio determinado es necesario definir:

- Número de rutas por modo de transporte.
- Unidades de transporte por cada ruta.
- Longitud de las rutas.
- Frecuencia de las unidades por cada ruta y modo de transporte.
- Horario de prestación por cada ruta y modo de transporte.
- Número de expediciones – viajes ida y vuelta – anuales por cada ruta y modo de transporte.
- Velocidad promedio por cada ruta y modo de transporte.
- Número de viajes promedio por modo de transporte.
- Distancia promedio por viaje y modo de transporte.
- Tiempo promedio por viaje y modo de transporte.
- Los parámetros anteriormente indicados permiten calcular:
- Distancia total mensual/anual recorrida por los diferentes modos de transporte.
- Consumo total mensual/anual de energía por modo de transporte.
- Emisiones anuales por modo de transporte
- Coste económico anual del sistema de transporte.
- La distancia total recorrida por cualquier modo de transporte permite calcular el consumo energético en un periodo determinado de tiempo. Para el cálculo energético del consumo energético en sistemas de transporte convencional o electrificado es necesario disponer de los consumos energéticos de diferentes tipos de transporte por kilómetro.
- Para estimar el consumo energético total de las unidades de las cooperativas que operan el servicio de transporte público en la ciudad de Ambato se ha considerado como datos de partida.
- Las distancias totales recorridas en kilómetros, semanales y anuales, para cada una de las líneas de las 5 cooperativas de transporte de la ciudad de Ambato. Los cálculos se han realizado en función de los datos de líneas, rutas y frecuencias; y de los datos de horarios de operación de los contratos de operación, presentados en la Tabla 1 y 2, respectivamente, para cada una de las líneas de las diferentes cooperativas que operan el sistema de transporte público de la ciudad de Ambato. La distancia total recorrida al año, en el sistema de transporte urbano de la ciudad de

Ambato, se obtiene como la suma de los kilómetros recorridos por cada línea de las 5 cooperativas que operan en Ambato

La velocidad promedio en el sistema de transporte de la ciudad de Ambato. En el Plan Maestro de Movilidad y Transporte del Cantón Ambato [15], se establece que la velocidad promedio total no supera los 38 kilómetros por hora. La velocidad promedio es superior a ciudades como Madrid y Buenos Aires, 15 km/h y 10 km/h, respectivamente [21].

El consumo promedio en buses urbanos con capacidades de 65 y 85 pasajeros en total en litros/kilómetro para una velocidad promedio de 38 km/h, correspondiente a entornos urbanos se presenta en [22, 23]. En entornos urbanos, un autobús con una capacidad de 70 pasajeros consume 46 litros de diésel cada 100 km, equivalente a un consumo energético de 17,01 MJ por kilómetro recorrido.

5. Evaluación del consumo energético del transporte eléctrico en la ciudad de Ambato

Para la evaluación del consumo energético de la integración de autobuses eléctricos en el sistema de transporte urbano de la ciudad de Ambato se ha considerado que todos los autobuses convencionales a diésel son reemplazados por autobuses eléctricos. Se ha seleccionado dos autobuses eléctricos: el autobús chino BYD y el autobús español Irizar i2e. Ambos vehículos eléctricos disponen de dimensiones y capacidades similares a los vehículos convencionales actualmente en operación en el sistema de transporte urbano de la ciudad de Ambato. Es importante indicar que en el presente artículo no se ha considerado el coste de inversión de la adquisición de vehículos eléctrico, puesto que el artículo se centra en la realización de un análisis comparativo del consumo eléctrico, coste económico e impacto medioambiental de vehículos eléctricos en relación a los vehículos de combustión interna.

Los dos autobuses eléctricos inicialmente elegidos para estimar el consumo energético de un hipotético sistema de transporte público de la ciudad de Ambato en el que se han sustituido todos los autobuses convencionales son:

- Autobús Chino BYD

Autobús eléctrico con una capacidad de 80 pasajeros y una autonomía probada de 240 kilómetros para un consumo de 324 kWh, equivalente a un ahorro de 2260 litros de diésel al mes y 4 toneladas de CO₂. El tiempo de recarga eléctrica del autobús chino es de 5 horas. El autobús eléctrico chino consume aproximadamente 1,3 kWh por cada kilómetro recorrido [24].

Tabla 3: Estimación de las distancias recorridas por las cooperativas de transporte en la ciudad de Ambato.

DISTANCIAS RECORRIDAS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO DE AMBATO						
Cooperativa	Líneas, ida y vuelta	Unidades de transporte	Distancia por ruta, Km	Vueltas por ruta semana	Distancia recorrida semana, Miles km	Distancia recorrida año, Miles km
Tungurahua	La Libertad – Ingahurco – Miraflores	21	40,2	460	18,492	961,58
	Totoras – Terremoto – Ficoa	19	33,4	742	24,782	1.288,70
	Mercado Mayorista – Letamendi – Atocha – Constantino Fernández	20	41,8	846	35,362	1.838,86
	Montalvo - El Recreo	18	31	900	27,900	1.450,80
	Terminal Terrestre – Huachi	29	62	1074	66,588	3.462,58
	Progreso – Izamba					
	Terminal Terrestre – Barrio Solís – M. Mayorista – Atahualpa	26	62	1040	64,480	3.352,96
	Pucurumi – Cunchibamba – Tiugua	12	32	455	14,560	757,120
Unión ambateña	Picaihua - Ciudadela España	16	28	575	16,100	837,200
	Ficoa – Terremoto – Totoras	15	33,4	590	19,706	1.024,71
	Pinillo – Nuevo Ambato	16	18,2	634	11,538	600,01
	San Juan – Pisque – Barrio Amazonas	15	35,4	451	15,965	830,20
	La Joya – Ciudadela Militar – Parque Industrial	25	38,2	575	21,965	1.142,18
Los libertadores	Seminario Mayor - Ingahurco Bajo	11	38,2	599	22,881	1.189,85
	La Florida – 4 Esquinas - Cashapamba	22	25,9	805	20,849	1.084,17
	Tangaiche – Shuyurco – Macasto – Pondoá	10	38,2	310	11,842	615,78
	La Península - Las Orquídeas	11	38,2	649	24,791	1.289,17
	Techo Propio – Mercado América – Andiglata	11	38,2	581	22,194	1.154,10
Jerpazsol	Los Ángeles – Izamba	26	36,2	1393	50,426	2.622,18
	Manzana de Oro – Huachi Grande - Puerto Arturo	34	43,5	1393	60,595	3.150,97
Vía flores	Juan B. Vela – La Concepción – Ex Redondel Izamba	45	36.5*	740*	27,010*	1.404,52
TOTAL	* Para la cooperativa Vía Flores, el número de paradas y kilómetros recorridos se calculó como el promedio de las 19 anteriores líneas	402	750.5	14812	578,032	3.005,67

- Autobús Español Irizar i2e

El autobús eléctrico Irizar i2e, con una potencia nominal de 230 kW y una capacidad de almacenamiento de energía disponible igual a 376

kWh, proporciona una autonomía de entre 200 y 250 km dependiendo del ciclo de conducción y de las condiciones climatológicas. La recarga eléctrica se realiza en sólo cinco horas, garantizando una conducción entre 14 y 16 horas en condiciones de tráfico denso urbano e interurbano, con una velocidad media de 17 km/h

Así, el Irizar i2e presenta un consumo entre 1,5 kWh y 1,88 kWh, por cada kilómetro recorrido, en función de la autonomía recorrida [25].

En la Tabla 4, se presentan las características técnicas y económicas de los autobuses eléctricos seleccionados para la estimación del consumo energético de un sistema de transporte eléctrico en la ciudad de Ambato.

Tabla 4: Características Técnicas de los vehículos eléctricos [24, 25]

Vehículo Eléctrico / Características Técnicas	Potencia Nominal kW	Capacidad Batería kWh	Autonomía km	Consumo Energético kWh/km
BYD	150	324	240	1,3 kWh
Irizar i2e	230	376	200-250	1,5-1,88 kWh

En la Tabla 5, se presenta el consumo energético para cada una de las líneas de las diferentes cooperativas que operan el sistema de transporte público de la ciudad de Ambato, considerando que todos los vehículos de combustión interna han sido reemplazados por autobuses eléctricos. El estudio se ha realizado con los datos de las características técnicas de los autobuses eléctricos presentados en la Tabla 4.

6. Estimación del coste económico y emisiones CO2 del sistema de transporte fósil

6.1 Estimación del Coste Económico

La estimación del coste económico del consumo energético en el sistema de transporte de la ciudad de Ambato se ha realizado para dos casos: precio nacional subvencionado y al mayor precio del litro de diésel actualmente existente. El precio del litro de diésel en el Ecuador al 8 de agosto del

2016 fue de 0,27 centavos de dólar. Noruega es el país con el mayor precio mundial por litro de diésel, 1,57 dólares.

6.2 Estimación de las Emisiones de Efecto Invernadero

Según [26], el cálculo de las emisiones de efecto invernadero se realiza en función de:

El dato de la actividad evaluada, que se define como el parámetro que caracteriza el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones. En el caso del sistema de transporte fósil urbano de Ambato, los litros consumidos al año por las diferentes líneas de las cooperativas que operan en la ciudad de Ambato.

El factor de emisión representa la cantidad de emisiones por cada unidad del parámetro “dato de actividad” anteriormente descrito. En relación al transporte fósil público urbano, el factor de emisión sería 2,471 kg CO2 eq/litro de diésel.

En la tabla 6, se presenta la estimación del coste económico y de las emisiones de efecto invernadero en un sistema de transporte fósil de la ciudad de Ambato.

7. Estimación del coste económico y emisiones co2 del sistema de transporte eléctrico

7.1. Estimación del Coste Económico

En la actualidad, en el Ecuador, no existe una tarifa general en baja tensión para vehículos eléctricos de transporte público con potencias superiores a 10 kW. No obstante, en el presente trabajo, para la estimación del coste económico del consumo energético del sistema de transporte electrificado en la ciudad de Ambato se aplicará la tarifa general en baja tensión con registrador horario a los consumidores sujetos a la Categoría General de Baja Tensión, que dispongan de vehículo eléctrico hasta 10 kW, establecido por la

Agencia de Regulación y Control de la Electricidad, ARCONEL en [27]. Es necesario implementar un medidor con registrador de demanda horaria que permita identificar los consumos de energía y potencia en los periodos de demanda punta, media y base.

En el caso de los vehículos eléctricos de transporte urbano se ha considerado que las recargas se realizaran en el periodo de demanda base correspondiente al horario de 22:00 a 8:00 de lunes a domingo y de 8:00 a 18:00 sábado y domingo. Adicionalmente, el consumidor deberá pagar.

Tabla 5: Estimación del consumo energético de las cooperativas de transporte en la ciudad de Ambato.

Consumo energético del sistema de transporte eléctrico urbano en Ambato					
Cooperativa	Líneas, Ida y Vuelta	Consumo eléctrico		Consumo energético	
		Anual miles kWh		anual, TJ	
		AUTOBUS CHINO BYD 1,3kWh/km	AUTOBUS ESPAÑOL IRIZAR i2E, 1,5 kWh/km	AUTOBUS CHINO BYD 1,3kWh/km	AUTOBUS ESPAÑOL IRIZAR i2E, 1,5 kWh/km
Tungurahua	La Libertad – Ingahurco - Miraflores	1.250,05	1.442,37	4,50	5,19
	Totoras – Terremoto – Ficoa	1.675,31	1.933,05	6,03	6,95
	Mercado Mayorista – Letamendi – Atocha – Constantino Fernández	2.390,52	2.758,29	8,60	9,92
	Montalvo - El Recreo	1.886,04	2.176,20	6,78	7,83
	Terminal Terrestre – Huachi Progreso - Izamba	4.501,34	5.193,86	16,20	18,69
	Terminal Terrestre – Barrio Solís – M. Mayorista – Atahualpa	4.358,84	5.029,44	15,69	18,10
	Pucurumi – Cunchibamba - Tiugua	984,25	1.135,68	3,54	4,08
UNIÓN AMBATEÑA	Picaihua - Ciudadela España	1.088,36	1.255,80	3,91	4,52
	Ficoa – Terremoto - Totoras	1.332,12	1.537,06	4,79	5,53
	Pinillo – Nuevo Ambato	780,02	900,02	2,80	3,24
	San Juan – Pisque – Barrio Amazonas	1.079,26	1.245,30	3,88	4,48
	La Joya – Ciudadela Militar – Parque Industrial	1.484,83	1.713,27	5,34	6,16
LOS LIBERTADOR ES	Seminario Mayor - Ingahurco Bajo	1.546,80	1.784,78	5,56	6,42
	La Florida – 4 Esquinas - Cashapamba	1.409,42	1.626,26	5,07	5,85
	Tangaiche – Shuyurco – Macasto - Pondo	800,51	923,67	2,88	3,32
	La Península - Las Orquídeas	1.675,92	1.933,76	6,03	6,96
	Techo Propio – Mercado América - Andiglata	1.500,32	1.731,14	5,40	6,23
Jerpazsol	Los Ángeles - Izamba	3.408,83	3.933,27	12,27	14,15
	Manzana de Oro – Huachi Grande - Puerto Arturo	4.096,25	4.726,44	14,74	17,01
Vía flores	Juan B. Vela – La Concepción – Ex Redondel Izamba	1.825,87	2.106,78	6,57	7,58
Total	* Para la cooperativa Vía Flores, el número de paradas y kilómetros recorridos se calculó como el promedio de las 19 anteriores líneas	39.074,97	45.086,51	140,66	162,31

Tabla 6: Estimación del coste económico e impacto medioambiental del transporte urbano fósil en la ciudad de Ambato.

COSTE ECONÓMICO E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL TRANSPORTE URBANO FÓSIL EN AMBATO					
COOPERATIVA	LÍNEAS, IDA y VUELTA	CONSUMO DIESEL ANUAL, Miles litros	COSTE ECONÓMICO ANUAL, Miles Dólares		IMPACTO MEDIOAMBIENTAL, Tn Eq CO2
			0,27 \$/litro	1,57 \$/litro	
TUNGURAHUA	La Libertad – Ingahurco – Miraflores	442,33	119,428	694,455	1.092,994
	Totoras – Terremoto – Ficoa	592,80	160,057	930,703	1.464,820
	Mercado Mayorista – Letamendi – Atocha – Constantino Fernández	845,88	228,387	1.328,028	2.090,164
	Montalvo - El Recreo	667,37	180,189	1.047,767	1.649,066
	Terminal Terrestre – Huachi Progreso - Izamba	1.592,78	430,051	2.500,672	3.935,771
	Terminal Terrestre – Barrio Solís – M. Mayorista – Atahualpa Pucurumi –	1.542,36	416,437	2.421,507	3.811,175
	Cunchibamba - Tiugua	348,28	94,034	546,792	860,588
	Picaihua - Ciudadela España	385,11	103,980	604,625	951,611
	Ficoa – Terremoto - Totoras	471,37	127,269	740,047	1.164,749
	Pinillo – Nuevo Ambato	276,01	74,522	433,332	682,016
UNIÓN AMBATEÑA	San Juan – Pisque – Barrio Amazonas	381,90	103,110	599,571	943,656
	La Joya – Ciudadela Militar – Parque Industrial	525,40	141,858	824,882	1.298,270
	Seminario Mayor - Ingahurco Bajo	547,33	147,779	859,312	1.352,458
	La Florida – 4 Esquinas - Cashapamba	498,72	134,654	782,990	1.232,337
LOS LIBERTADORES	Tangaiche – Shuyurco – Macasto - Pondo	283,26	76,480	444,719	699,937
	La Península - Las Orquídeas	593,02	160,115	931,041	1.465,352
	Techo Propio – Mercado América – Andiglata	530,89	143,339	833,489	1.311,817
	Los Ángeles - Izamba	1.206,21	325,675	1.893,740	2.980,530
JERPAZSOL	Manzana de Oro – Huachi Grande - Puerto Arturo	1.449,44	391,349	2.275,627	3.581,577
	Juan B. Vela – La Concepción – Ex Redondel Izamba	646,08	174,441	1.014,344	1.596,461
VÍA FLORES					
TOTAL	* Para la cooperativa Vía Flores, el número de paradas y kilómetros recorridos se calculó como el promedio de las 19 anteriores líneas	13.826,53	3.733,163	21.707,652	34.165,356

- Un cargo por comercialización, expresado en USD/consumidor, independientemente del consumo de energía y potencia.

- Un cargo de demanda, expresado en USD/kW-mes, por cada kW de demanda facturable, que corresponderá a la demanda máxima mensual registrada en el respectivo medidor, multiplicado por un factor de corrección.

En la Tabla 7, se presentan los cargos tarifarios únicos para vehículos eléctricos basado en el pliego tarifario en referencia a la empresa eléctrica Quito S.A. [27].

Tabla 7: Cargos tarifarios para vehículos eléctricos en la ciudad de Ambato.

Rango de Consumo	Demanda USD/kW	Energía USD/kWh	Comercialización USD/Comercializador
	4,050		1,414
L-V: 8h00 hasta 18h00		0,080	
L-D: 18h00 hasta 22h00		0,100	
L-D: 22h00 hasta 8h00 SyD: 8h00 hasta 18h00		0,050	

7.2 Estimación de las Emisiones de Efecto Invernadero

Al igual que en el punto 5.2, el cálculo de las emisiones de efecto invernadero dependerá de:

- El dato de la actividad evaluada, que se define como el parámetro que caracteriza el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones. En el caso del sistema de transporte urbano electrificado de la ciudad de Ambato, la energía eléctrica consumida anual en kWh por las diferentes líneas de las cooperativas que operan en la ciudad de Ambato.
- El factor de emisión representa la cantidad de emisiones por cada unidad del parámetro “dato de actividad” anteriormente descrito. En relación al consumo de energía eléctrica en un sistema de transporte eléctrico público urbano, el factor de emisión empleado es igual a 248,01 gr CO₂ eq/kWh, obtenidos a partir de los datos de generación eléctrica y emisiones en el sector eléctrico del Balance Energético Nacional 2015 [21].

En la Tabla 8, se presenta la estimación del coste económico y de las emisiones de efecto invernadero en un sistema de transporte electrificado de la ciudad de Ambato.

8. Análisis comparativo de los sistemas de transporte evaluados

En la Tabla 9 se presentan los resultados de consumo energético, coste económico e impacto medioambiental durante un año para el sistema de transporte fósil, actualmente existente en la ciudad de Ambato, y para un futuro sistema de transporte que integre autobuses eléctricos en sustitución de las unidades convencionales con motores de combustión.

Tabla 9: Comparativa entre los Sistemas de Transporte

	Consumo Energético TJ	Coste Económico, USD	Impacto Medioambiental, Tn CO ₂
Sistema de Transporte Fósil	511,28	3.733,163	34.165,35
Sistema de Transporte Electrificado Bus BYD	140,66	1.953,748	9.690,98

9. Conclusiones

En la actualidad, la sustitución de autobuses eléctricos en el transporte urbano de la ciudad de Ambato es técnicamente viable gracias al desarrollo tecnológico de los sistemas de transporte masivos eléctricos. En el artículo, se presenta el cálculo del consumo energético fósil del transporte urbano en Ambato y de su correspondiente consumo eléctrico en el caso de que todos los autobuses de la ciudad sean reemplazados por vehículos eléctricos.

El estudio realizado demuestra que la sustitución de autobuses con motores de combustión por autobuses eléctricos supondría una reducción anual en el consumo energético fósil equivalente a 511 TJ. El país reduciría sus importaciones en 3 millones 180 mil 760 galones de diesel al año. El consumo eléctrico correspondiente a los autobuses eléctricos es igual a 39 mil 099 MWh por año equivalente a 140,66 TJ. El consumo de los autobuses eléctricos en Ambato permitiría reducir el consumo energético en el transporte público urbano de 511 TJ a 140,66 TJ.

La reducción de las importaciones en el volumen anteriormente indicado implicaría un ahorro anual de 3 millones 517 mil 920 dólares, considerando un precio por galón importado de 1,106 dólares. Por otro lado, el coste del consumo eléctrico de los autobuses eléctricos sería igual a 1 millón 953 mil 748 dólares al año. Adicionalmente, se obtendría un ahorro de 24 mil 774 toneladas equivalentes de CO₂ emitidas a la atmósfera.

Tabla 8: Estimación del coste económico e impacto medioambiental del transporte urbano electrificado en la ciudad de Ambato.

COSTE ECONÓMICO E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL TRANSPORTE URBANO ELECTRIFICADO EN AMBATO					
COOPERATIVA	LÍNEAS, IDA y VUELTA	COSTE ECONÓMICO ANUAL, Miles Dólares		IMPACTO MEDIOAMBIENTAL, Tn Eq CO2	
		AUTOBUS CHINO BYD 1,3kWh/km	AUTOBUS ESPAÑOL IRIZAR i2E, 1,5 kWh/km	AUTOBUS CHINO BYD 1,3kWh/km	AUTOBUS ESPAÑOL IRIZAR i2E, 1,5 kWh/km
TUNGURAHUA	La Libertad – Ingahurco - Miraflores	62,502	72,118	310,02	357,72
	Totoras – Terremoto – Ficoa	83,765	96,652	415,49	479,41
	Mercado Mayorista – Letamendi – Atocha – Constantino Fernández	119,526	137,914	592,87	684,08
	Montalvo - El Recreo	94,302	108,810	467,75	539,71
	Terminal Terrestre – Huachi Progreso - Izamba	225,067	259,693	1.116,37	1.288,13
	Terminal Terrestre – Barrio Solís – M. Mayorista	217,942	251,472	1.081,03	1.247,35
	– Atahualpa				
UNIÓN AMBATEÑA	Pucurumi – Cunchibamba - Tiugua	49,212	56,784	244,10	281,65
	Picaihua - Ciudadela España	54,418	62,790	269,92	311,45
	Ficoa – Terremoto - Totoras	66,606	76,853	330,38	381,20
	Pinillo – Nuevo Ambato	39,001	45,001	193,45	223,21
	San Juan – Pisque – Barrio Amazonas	53,963	62,265	267,66	308,84
	La Joya – Ciudadela Militar – Parque Industrial	74,241	85,663	368,25	424,90
	Seminario Mayor - Ingahurco Bajo	77,340	89,239	383,62	442,64
LOS LIBERTADORES	La Florida – 4 Esquinas - Cashapamba	70,471	81,313	349,55	403,32
	Tangaiche – Shuyurco – Macasto - Pondoá	40,025	46,183	198,53	229,08
	La Península - Las Orquídeas	83,796	96,688	415,64	479,59
	Techo Propio – Mercado América - Andiglata	75,016	86,557	372,09	429,34
	Los Ángeles – Izamba	170,441	196,663	845,42	975,49
	Manzana de Oro – Huachi Grande - Puerto Arturo	204,812	236,322	1.015,91	1.172,20
VÍA FLORES	Juan B. Vela – La Concepción – Ex Redondel	91,293	105,339	452,83	522,50
	Izamba				
TOTAL	* Para la cooperativa Vía Flores, el número de paradas y kilómetros recorridos se calculó como el promedio de las 19 anteriores líneas	1.953,748	2.254,325	9.690,98	11.181,90

10. Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT, por su especial apoyo en el desarrollo de la presente propuesta, gracias a la financiación del Proyecto de Investigación PROMETEO: “Evaluación Técnico-Económica y Medioambiental de la Integración de Energías Renovables y Técnicas de Diseño y Gestión Eficiente en Sistemas de Edificación y Transporte Sostenibles, Aplicación Práctica a la Ciudad de Ambato”, y a la Dirección de Investigación y Desarrollo, DIDE de la Universidad Técnica de Ambato por su especial apoyo en el desarrollo de la presente propuesta gracias a la financiación del proyecto "Planificación y Optimización del Sistema Integral de Transporte Electrificado y Movilidad Sostenible en la Ciudad de Ambato". Finalmente, agradecemos a la Dirección de Tránsito, Transporte y Movilidad del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato, GADMA, por facilitarnos la información de los contratos de operación de las cooperativas de transporte urbano de la ciudad de Ambato.

11. Bibliografía

- [1] CAF, «Desarrollo urbano y movilidad en América Latina,» Corporación Andina de Fomento, Panamá, 2011.
- [2] E. A. Vasconcellos y A. Mendonça, «Observatorio de Movilidad Urbana: Informe 2015-2016 (resumen ejecutivo),» diciembre 2016. [En línea]. Available: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/981>.
- [3] L. F. Anaya, «Estudio de la factibilidad de la implementación de un sistema de transporte colectivo eléctrico en la zona metropolitana de Aguascalientes,» Aguascalientes, 2016.
- [4] O. Herrera, T. Morteza, Farrokh, Sassani y W. Merida, «Implications of Transportation Electrification in Metro Vancouver,» de *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, Windsor, 2016.
- [5] S. Shokrzadeh y E. Bibeau, «Sustainable integration of intermittent renewable energy and electrified light-duty transportation through repurposing batteries of plug-in electric vehicles,» *Mechanical Engineering Department, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, R3T 2N2, Canada*, 2016.
- [6] K. Nahrstedt y S. Chang, «Placement of Energy Sources for Electric Transportation in Smart Cities,» de *2016 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*, St. Louis, 2016.
- [7] S. Malin Song, W. Nan y W. Kaiya, «Energy Consumption and Energy Efficiency of the Transportation Sector in Shanghai,» *Sustainable*, n° 6, pp. 702-717, 2014.
- [8] J. Gómez, C. Mojica, V. Kaul y L. Isla, «La incorporación de vehículos eléctricos en América Latina,» Mexico, 2016.
- [9] C. F. Pardo, «Cambios en los sistemas integrados de transporte masivo en las principales ciudades de América Latina,» CEPAL, Santiago de Chile, 2009.
- [10] J. R. Quintero Gonzalez y L. E. Quintero González, «El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medio ambiente,» *Ingeniería y Región*, vol. 2, n° 14, pp. 87-97, 2015.
- [11] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, «Balance Energético Nacional 2015,» Quito, Ecuador, 2015.
- [12] Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, MEER, «Consolidación del Plan de Acción de Energía Sostenible para Ecuador 2013-2025,» Quito, Ecuador, enero 2014.
- [13] G. Currie, «Quantifying spatial gaps in public transport supply based on social needs,» *Journal of Transport Geography*, n° 18, pp. 31-41, 2010.
- [14] M. Ruiz, J. M. Seguí Pons, M. Jaume y M. R. Martinez, «Assessing equity of public transport: the case of Palma (Mallorca, Illes Balears),» *Estudios geográficos*, vol. LXXVII, n° 281, pp. 619-646, 2016.
- [15] Unidad Municipal de Tránsito, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato, GADMA, «Plan Maestro de Movilidad y Transporte del Cantón Ambato,» Asociación León & Godoy- Hidroplan, Ambato, 2013.
- [16] T. y. M. d. G. A. D. M. d. A. G. Dirección de Tránsito, «Contrato de Operación para la Prestación de Servicio de Transporte Público de Personas de la Cooperativa “Vía Flores”. Resolución 001-CO-DTTM-2016,» Ambato, Ecuador, 2015.
- [17] T. y. M. d. G. A. D. M. d. A. G. Dirección de Tránsito, «Contrato de Operación para la Prestación de Servicio de Transporte Público de Personas de la Cooperativa “Tungurahua”. Resolución 002-CO-DTTM-2015,» Ambato, Ecuador, 2015.
- [18] Dirección de Tránsito, Transporte y Movilidad del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato, GADMA, «Contrato de Operación para la Prestación de Servicio de Transporte Público de Personas de la Cooperativa “Unión Ambateña”. Resolución 003-CO-DTTM-2015,» Ambato, Ecuador, 2015.
- [19] Dirección de Tránsito, Transporte y Movilidad del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato, GADMA, «Contrato de Operación para la Prestación de Servicio de Transporte Público de Personas de la Cooperativa “Los Libertadores”. Resolución 004-CO-DTTM-2015,» Ambato, Ecuador, 2015.
- [20] Dirección de Tránsito, Transporte y Movilidad del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato, GADMA, «Contrato de Operación para la Prestación de Servicio de Transporte Público de Personas de la Cooperativa “Jerpazsol”. Resolución 005-CO-DTTM-2015,»

Ambato, Ecuador, 2015.

- [21] Banco de Desarrollo de América Latina, CAF, «Desarrollo Urbano y Movilidad Urbana en América Latina,» 2011.
- [22] R. Riol, «El Tren de Alta Velocidad de Gipuzkoa. Oportunidades y Desarrollo Económico,» Gobierno Vasco, San Sebastian, 2012.
- [23] R. Riol, «Revisión crítica de datos sobre consumo de energía y emisiones de los medios públicos de transporte,» Fundación de los ferrocarriles españoles, 2012.
- [24] «BYD- Buil Your Dreams,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.byd.com/la/auto/es/ebus.html>.
- [25] Irizar Group, «irizar,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.irizar.com/autobuses-y-autocares/autobuses/autobuses-electricos/>. [Último acceso: 5 noviembre 2016].
- [26] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, «Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un Plan de Mejora de una Organización, Versión 1,» Quito, Ecuador, 2014.
- [27] Agencia de regulación y Control de la Electricidad, ARCONEL, *Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas*, Servicio Público de Energía Eléctrica, Periodo Enero-diciembre 2016. Resolución No. ARCONEL-049/15 y Resolución No. ARCONEL-099/15, Coordinación Nacional de Regulación, enero 2016.

Alberto Ríos Villacorta.-Dr. Ingeniero Eléctrico por Universidad Carlos III de Madrid, 2007. Master en Energías Renovables por la Universidad Europea de Madrid, 2004. Ingeniero Eléctrico en Sistemas y Redes Eléctricas por el Instituto Politécnico de Bielorrusia, 1993. Profesor Ayudante de la Universidad Carlos III de Madrid, 1998 - 2001. Profesor Adjunto de la Universidad Europea de Madrid, 2001-2014. Director Técnico del Laboratorio de Ensayos de Turbinas Eólicas y Simulaciones de parques Eólicos, Energy to Quality, 2005-2006. Director del Master Oficial de Energías Renovables de la Universidad Europea de Madrid, 2007-2011. Investigador Postdoctoral en la Universidad Técnica de Ambato desde el año 2014, Beca Prometeo, SENESCYT, Ecuador. Consultor Internacional, Especialista en Energías Renovables y Eficiencia



Carlos Luis Vargas Guevara-Nació en Ambato, Ecuador en 1991. Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones por la Universidad Técnica de Ambato, 2015. Analista de Investigación en la Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la

Universidad Técnica de Ambato. En la actualidad se encuentra realizando sus estudios de Posgrado en la Escuela

Politécnica Nacional en la Maestría en Electricidad mención Redes Eléctricas Inteligentes.



Jesús Guamán Molina- Nació en Latacunga, Ecuador en 1990. Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones por la Universidad Técnica de Ambato, 2015. Desde el año 2015, trabaja en calidad de Analista de Investigación en la Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. En la actualidad se encuentra realizando sus estudios de Posgrado en la Escuela Politécnica Nacional en la Maestría en Electricidad mención Redes Eléctricas Inteligentes.



Manuel Otorongo Cornejo.- Nació en Ambato, Ecuador. Ingeniero eléctrico en sistemas eléctricos de potencia, Escuela Politécnica Nacional, Master en redes/telecomunicación en la Universidad Técnica de Ambato, culminó sus estudios de economía en la Facultad de ciencias económicas, Universidad Central del Ecuador. Ha sido

Presidente del Comité técnico nacional de normalización para transformadores de distribución (2002-2007, 2010-2011). Fue Jefe de Área y Jefe de Sección en Empresa Eléctrica Ambato S.A., Especialista, Director y Gerente de Distribución en Empresa Eléctrica Quito. Actualmente es Profesor en la Universidad Técnica de Ambato. Sus áreas de interés son la Planificación, Optimización y Automatización de los Sistemas de Distribución. En la actualidad se encuentra realizando sus estudios de Posgrado en la Escuela Politécnica Nacional en la Maestría en Electricidad mención Redes Eléctricas Inteligentes.