

Electromobility and Energy Efficiency in the Public Transport of Passengers on Continental Ecuador

Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental

L.A. Paredes¹

¹Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina
E-mail: lparedes@iee.unsj.edu.ar

Abstract

The aim of this paper is to establish how Energy Efficiency Law influences the framework of Ecuador's public passenger transport system. In addition to establishing hypothetical scenarios under different energy projections in comparative terms between buses that use fossil fuels, particularly diesel, and electromobility through electric buses. The methodology has been carried out in order to establish for a given base year the number of buses in the public transport system for passengers, their consumption and performance in terms of energy. After this, the performance ratio for electric buses was used to analyze the incidence of technological change towards electromobility to know how the energy demand of electricity will be affected and how it varies in time until the year 2025. The results show that in terms of energy, the massive migration of buses towards electromobility does not cause problems in the supply and demand of electricity in continental Ecuador during the years of the analysis period.

Resumen

El objetivo de este trabajo consiste en establecer cómo incide la Ley de Eficiencia Energética en el Ecuador en el marco del sistema de transporte público de pasajeros para el Ecuador continental. Además de establecer bajo diferentes escenarios hipotéticos proyecciones energéticas en términos comparativos entre autobuses que usan combustibles fósiles particularmente diésel y electromovilidad a través de autobuses eléctricos. La metodología ha sido realizada en atención de establecer para un determinado año base la cantidad de autobuses del sistema de transporte público de pasajeros, su consumo y rendimiento en términos energéticos. Posterior de ello, se utilizó la relación de rendimiento para autobuses eléctricos con fines de analizar la incidencia del cambio tecnológico hacia electromovilidad para conocer cómo se verá afectada la demanda energética de electricidad y como ésta varía en el tiempo hasta el año 2025. Los resultados muestran que en términos de energéticos la migración masiva de autobuses hacia electromovilidad no ocasiona inconvenientes en la oferta y demanda de la electricidad en el Ecuador continental en el transcurso de los años del período de análisis.

Index terms— Electric Bus, Demand Electricity, Energy Efficiency, Electromobility.

Palabras clave— Autobuses Eléctricos, Demanda Electricidad, Eficiencia Energética, Electromovilidad.

Recibido: 30-05-2019, Aprobado tras revisión: 22-07-2019

Forma sugerida de citación: Paredes, L. (2019). "Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental". Revista Técnica "energía". No. 16, Issue I, Pp. 96-105

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2019 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

1. INTRODUCCIÓN

La Asamblea Nacional de la República del Ecuador emitió la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE), la misma que se encuentra en vigencia desde el pasado 2019-03-19 una vez que ha sido publicada en el suplemento número 449 del Registro Oficial del gobierno ecuatoriano. Con base en este marco legal se ha realizado el análisis desde un punto de vista de la Eficiencia Energética (EE) para evaluar los beneficios que incurrirá el Ecuador Continental (EC) con el cambio en el sistema de transportación masiva de pasajeros de tecnologías asociadas a la combustión de energéticos de origen fósil hacia autobuses cuya tracción sea a través de sistemas eléctricos o también llamado electromovilidad.

El Ecuador cuenta con una población de 17 071 665 de personas [1]. De esta población el 60% utiliza el servicio de transporte público en sus actividades diarias. En la actualidad todos los autobuses utilizan como energético principal para la tracción motriz el diésel a través de motores de combustión interna. Salvo una pequeña participación a nivel país del sistema de Trolebús que funciona parcialmente con electricidad en la ciudad de Quito [2].

Teniendo en consideración lo establecido en la LOEE, donde se menciona que a partir del año 2025, los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e interparroquial en el Ecuador continental, deberán ser únicamente de medio motriz eléctrico [3]. En el presente trabajo se efectúan análisis de tipo comparativo en términos de consumo energético y medidas de EE que se puedan implementar para conocer qué ocurre si bajo las condiciones hipotéticas actuales del servicio público de transporte del EC se migre tecnológicamente hacia sistemas motrices basados en electricidad. Se establecen posibles escenarios en los cuales incurrirá la demanda de electricidad en el EC desde un punto de vista energético con miras a las acciones que se deberán tomar a partir del año 2025 en el sistema de transporte público de pasajeros del Ecuador.

Acorde a lo manifestado en [4], la cobertura de electricidad para el EC, para el año 2017 fue de 97,33%, esto lógicamente justifica la elaboración de este artículo, debido a la sustentación hipotética de que en términos de acceso a la electricidad se podrá abastecer de suministro para la demanda generada por las cargas debidas a la migración a un sistema de electromovilidad a través de autobuses eléctricos.

El presente trabajo de este documento es organizado de la siguiente manera. En primera instancia se presenta el marco jurídico y la legislación vigente entorno a EE en el transporte. Posteriormente, se presenta la metodología de análisis utilizada y se explica el estado actual del sistema de transportación pública de pasajeros en el EC, en relación con su consumo energético se muestran los comparativos y resultados de los diferentes escenarios en torno al cambio tecnológico e indicadores de EE. Para

finalmente, establecer las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros que se deriven del análisis realizado.

2. MARCO JURÍDICO EN RELACIÓN A EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL ECUADOR

Tomando en consideración la LOEE en referencia a lo estipulado en el capítulo III, artículo 14, para lo cual se denomina Eficiencia Energética en el transporte, la cual se cita textualmente: “El transporte público, de carga pesada y de uso logístico por medios eléctricos se priorizará como medida de eficiencia energética en la planificación pública. Los proyectos se podrán ejecutar como iniciativas públicas o de asociaciones público privadas. El Ministerio rector de la política de transporte, y con aprobación del CNEE, establecerá de forma progresiva los límites en niveles de consumo y emisiones que deberán cumplir los vehículos automotores nuevos, de cualquier tipo, que se comercialicen en el país. Esta política será definida como parte del PLANEE. Una política especial se desarrollará para el transporte terrestre y marítimo de las islas Galápagos. Para la comercialización de cualquier tipo de vehículo nuevo, éste contará y exhibirá con claridad la etiqueta de eficiencia energética que informe al consumidor sobre el cumplimiento de los límites y condiciones de eficiencia energética. El Gobierno Nacional a través de los ministerios competentes, crearán un plan de chatarrización para los vehículos de trabajo de personas naturales y del transporte público que salgan de servicio y que se reemplacen por vehículos de medio motriz eléctrico. Los GAD podrán en el ámbito de sus competencias establecer planes de chatarrización. A partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e interparroquial, en el Ecuador continental, deberán ser únicamente de medio motriz eléctrico. En el caso de la región Insular, esta medida será evaluada por el CNEE. El rector de las políticas públicas de hidrocarburos incorporará dentro de su planificación y como anexo al PLANEE las políticas y acciones necesarias para garantizar la calidad de los combustibles necesaria para que se cumpla con la mejora progresiva de la eficiencia, niveles de consumo y emisiones en vehículos automotores. Además, incluirá también, las políticas necesarias para el fomento de la producción y consumo de biocombustibles a nivel nacional, así como las políticas, mecanismos e infraestructura necesaria para promover la movilidad eléctrica” [3].

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada guarda concordancia según lo mostrado en el diagrama de flujo de la Fig. 1.



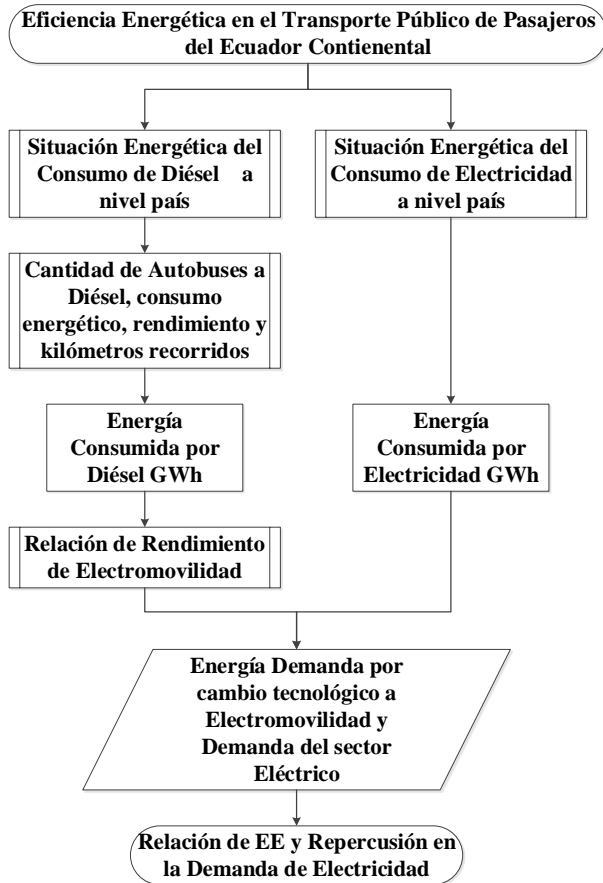


Figura 1: Diagrama de Flujo de la Metodología Empleada

4. SITUACIÓN ENERGÉTICA DEL SECTOR DE TRANSPORTE PÚBLICO EN EL ECUADOR CONTINENTAL

Según el Balance Energético Nacional 2017 [4], la demanda de todos los energéticos en el país ha incrementado en un 43,8% durante el periodo de análisis de once años (2007-2017) de dicho balance, pasando de 63 millones de Barriles Equivalentes de Petróleo (BEP, 1BEP= 0,0016282 GWh) [5] en el año 2007 a 86,2 millones de BEP para el año 2017. En concordancia con la tendencia histórica del consumo energético del Ecuador, el sector transporte ha sido el mayor demandante de energía, con un valor promedio de 34 millones de BEP en el periodo de análisis.

El consumo energético total multisectorial en el Ecuador para el 2017, fue de 86 245 kBEP (140 424,11 GWh). En términos porcentuales, el sector de mayor consumo fue el de transporte con 52,39%, seguidos por el consumo energético de electricidad con 17,22%, el sector industrial con 14,90%, el sector residencial con 14,12% y otros sectores en general con 1,47% [4]. Como se muestra en la Fig. 2.

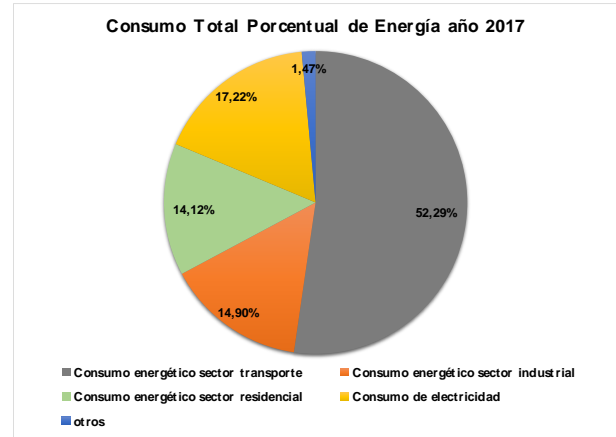


Figura 2: Consumo Total Porcentual de Energía multisectorial para el año 2017

Al año 2017 el sector del transporte tuvo la mayor participación en la demanda energética del Ecuador. Es decir, este sector ha tenido una representatividad considerable en lo que respecta a la importación de derivados del petróleo, en términos comparativos del año 2007 con respecto al año 2017 las importaciones de estos energéticos para suplir la demanda han aumentado en 50,1%. También es preciso mencionar que el consumo de energía del sector transporte ha crecido en un 6% entre los años 2016 y 2017, registrándose esta tasa como la más alta en crecimiento sectorial en el periodo de análisis del balance energético.

Desglosando el consumo de este sector para el año 2017 se puede apreciar que el diésel es de mayor representatividad con un 32,93% y el de naftas, gasolinas y otros derivados un consumo del 19,36% de todo el consumo energético del país. Ver Fig. 3.

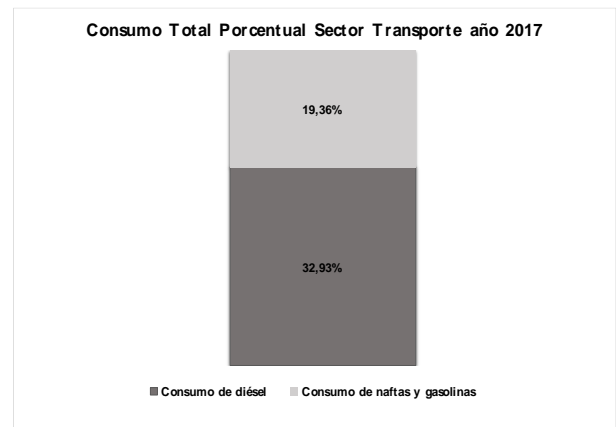


Figura 3: Consumo de Derivados para el Sector Transporte para el año 2017

Al ser los combustibles fósiles los de mayor requerimiento en la demanda en el mix energético del Ecuador, el diésel y la gasolina han sido las fuentes energéticas de mayor consumo, llegando a tasas porcentuales de incremento de 44% y 77% respectivamente, en el periodo analizado del balance energético.



El objetivo de este trabajo es focalizarnos en el consumo de diésel en el sector transporte y particularmente en el transporte público de pasajeros. La variación de consumo interanual 2016-2017 de este energético aumentó 5,3% lo que otorga las pautas para analizar alternativas que permitan disminuir el consumo de este energético o la migración hacia otro energético, en este caso electricidad con miras a la EE, lo cual, también reflejaría ahorros al país a nivel del gasto macroeconómico.

El consumo de diésel para el sector del transporte al 2017, fue de 28 398 kBEP (46 237,62 GWh), en unidades volumétricas representa 1 190 935 miles de galones. De los cuales el 56% fueron a través de importaciones y un 44% correspondió a producción nacional. Ver Fig. 4, [4].

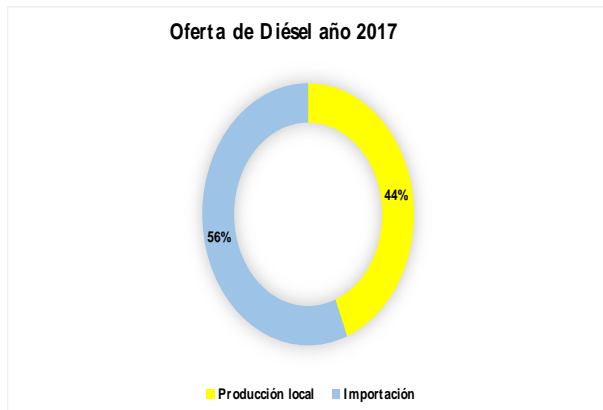


Figura 4: Oferta de Diésel año 2017

Es así que, tomando en consideración la participación en el consumo de diésel por tipo de actividad, en la Fig. 5, se muestra dicha composición porcentual.

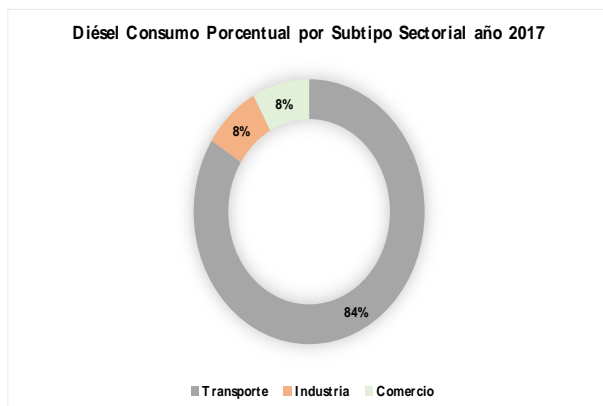


Figura 5: Consumo Porcentual de Diésel por Subtipo Sectorial año 2017

Al desagregar el consumo del sector transporte por tipo de vehículo para el 2017, el transporte terrestre tuvo una participación en la demanda del 94% de todo este sector. A continuación, en la Fig. 6, se presenta la desagregación por tipo de medio de transporte para usos finales.

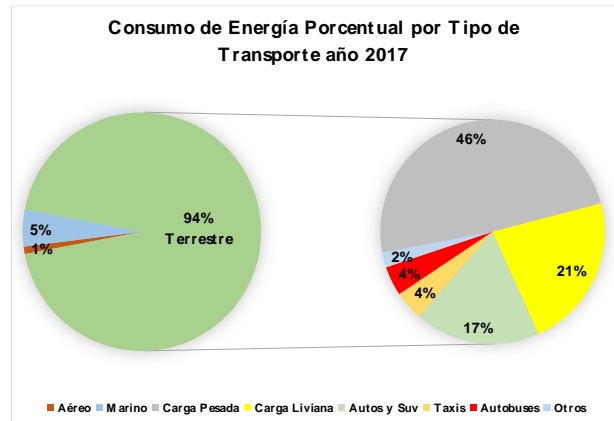


Figura 6: Consumo de Energía Porcentual por Tipo de Transporte año 2017

De este componente porcentual los autobuses representan el 4% [2],[4].

Por otro lado, únicamente teniendo en consideración el consumo de diésel para 2017, en la Fig. 7, se muestra la descomposición porcentual por subtipo de transportes para el consumo de este energético.

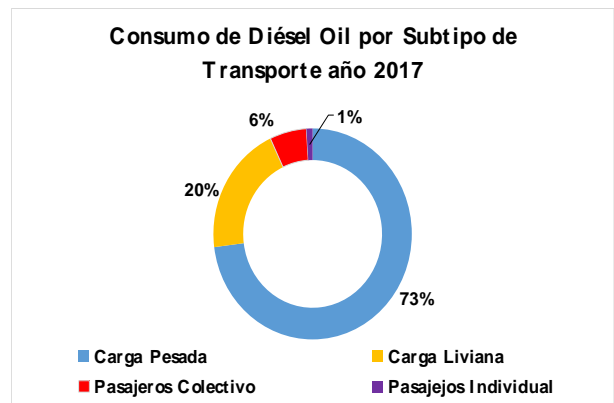


Figura 7: Consumo de Diésel por subtipo de Transporte año 2017

5. PARQUE AUTOMOTOR DE AUTOBUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO A DIÉSEL EN EL ECUADOR CONTINENTAL Y ANÁLISIS DE PROYECCIÓN TENDENCIAL

Una vez que se ha mencionado las condiciones energéticas referentes a los sectores de transporte público de pasajeros para el EC. A continuación, se presentará un panorama de la situación histórica del parque automotor de vehículos utilizados para el transporte de pasajeros. En primera instancia, se hace referencia a la evolución histórica de los vehículos matriculados en parque automotor ecuatoriano, tal cual se muestra en la Fig. 8. Por lo expuesto en la Fig. 8, se puede constatar que a lo largo del periodo 2008-2017, se ha evidenciado una tendencia creciente en la cantidad de vehículos matriculados en el país que se dedican a actividades de transporte de pasajeros.

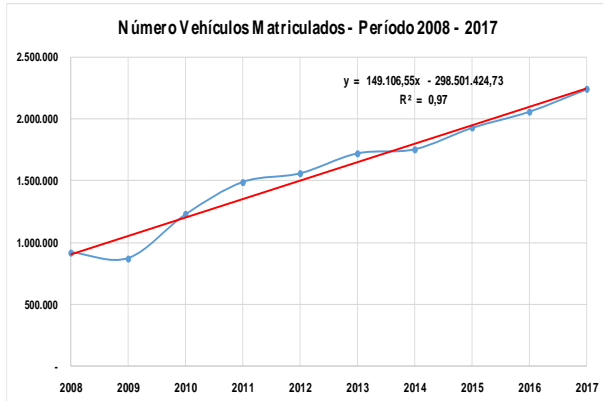


Figura 8: Evaluación Histórica del Total de Vehículos Matriculados en el EC

A continuación, teniendo en consideración esta información estadística y aplicando un modelo de regresión lineal, el mismo que ha arrojado un valor de correlación de 0,97; lo que indica que el modelo matemático tendencial puede servir de insumo para determinar la cantidad futura de vehículos matriculados que circularán por el país [6].

Acorde a lo expuesto en secciones anteriores, el alcance de este estudio radica en la hipótesis de que para el año 2025, el servicio de transporte público de pasajeros será a través de movilidad de tracción eléctrica [3]. En relación a la información estadística expresada en [2], a través de una regresión lineal se establece la cantidad total de vehículos matriculados que conformarían el parque automotor para los años 2018 al 2025.

$$y = 149106,55x - 298501424,73 \quad (1)$$

Donde y: representa la cantidad total de vehículos matriculados en el EC.

x: representa los años a considerar en el periodo tendencial.

Las estadísticas para el sector de transporte para el año 2017, indican que el número de autobuses matriculados para entregar servicio de transporte público y que usan diésel como combustible fue de 25 947 unidades, lo que representa un 1,16% de todo el parque automotor de vehículos matriculados en el Ecuador continental [2]. Tomando como fija esta tasa porcentual de participación del transporte público de pasajeros dentro de todo el sector del transporte, a continuación, se presenta la cantidad de vehículos que se tendrá en consideración para realizar el análisis bajo incertidumbre de la conversión energética de diésel a electricidad en el transporte público de pasajeros, teniendo como insumo hipotético lo establecido en la LOEE que establece que a partir del 2025 todos los autobuses de transporte público deberán ser de tipo eléctricos.

Del tratamiento estadístico y utilizando la ecuación (1) para el comportamiento futuro del parte automotor matriculado para el Ecuador, será como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Parque Automotor de Vehículos Diésel para el Transporte Público del Ecuador, período 2018-2025

Año	Número Total de Vehículos Matriculados	Número de Vehículos Transporte público
2018	2 395 593	27 789
2019	2 544 700	29 519
2020	2 693 806	31 248
2021	2 842 913	32 978
2022	2 992 019	34 707
2023	3 141 126	36 437
2024	3 290 232	38 167
2025	3 439 339	39 896

Es necesario precisar que este estudio se ha realizado bajo escenarios hipotéticos que guardan relación con la información e insumos estadísticos que posee el país. Es por ello, que se considera desde la suscripción de la LOEE en el Registro Oficial del Estado ecuatoriano, como punto de partida para los escenarios que se mostrarán. Considerando la hipótesis que si a partir del año 2019, el parque automotor de transporte público de pasajeros en el Ecuador continental fuese a través de electricidad como energético primario, se establece un análisis estadístico probabilístico para establecer los beneficios que incurrirá el Estado ecuatoriano en términos energéticos, económicos y de emisiones de GEI que incurrirá por la implementación de electromovilidad.

Para establecer la cantidad de autobuses que serán partícipes del cambio tecnológico se ha establecido tres escenarios de posible ocurrencia.

El primer escenario considerando un 25% de ingreso de autobuses eléctricos, el segundo con un 50% de ingreso y un tercer escenario con el 100% de ingreso de autobuses adheridos al cambio tecnológico. Esto se ha considerado bajo la premisa que a futuro puedan interferir otro tipo de variables exógenas que sean determinantes a la toma de decisiones y la participación de los autobuses eléctricos en el sistema de transporte público de pasajeros en el EC.

Es preciso indicar que los porcentajes para cada escenario corresponden en primera instancia para el año base 2019, en los años posteriores N+1 los vehículos adheridos al cambio tecnológico se fueron agregando al año siguiente de manera recursiva con el saldo restante interanual N-1, manteniendo el mismo porcentaje de ingreso del escenario. Lo que implica que en al final de todo el periodo de estudio año 2025, la adhesión de los autobuses hacia la nueva tecnología varíe en términos porcentuales globales para el universo estadístico del periodo 2019-2025.

A continuación, en la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos del análisis estadístico-probabilista.



Tabla 2: Escenarios de Ingresos de autobuses para el cambio tecnológico hacia electromovilidad

Año	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3	
	Total Buses	Ingreso 25%	Total Buses	Ingreso 50%	Total Buses	Ingreso 100%
2019	29 519	7 380	29 519	14 759	29 519	29 519
2020	53 387	13 347	46 007	23 004	31 248	31 248
2021	73 018	18 255	55 981	27 991	32 978	32 978
2022	89 471	22 368	62 698	31 349	34 707	34 707
2023	103 540	25 885	67 786	33 893	36 437	36 437
2024	115 822	28 955	72 060	36 030	38 167	38 167
2025	126 763	31 691	75 926	37 963	39 896	39 896

5.1 Recorrido Promedio Anual de Autobuses Diésel en el Transporte Público de Pasajeros en el Ecuador Continental

Según [4], el diésel que se distribuye y consume en el EC, corresponde a diésel tipo Euro III. Con esta premisa se establece una relación de rendimiento entre la cantidad de kilómetros recorridos y 1 galón de este combustible. Acorde al estudio en [7], los autobuses de servicio público de la ciudad de Quito operan con un rendimiento 8,15 km/gal de diésel. Esta tasa de rendimiento será utilizada como hipótesis simplificativa y de manera general para determinar los kilómetros totales que han recorrido todos los autobuses del servicio de transporte público en el EC. Esta hipótesis se considera debido a la no disponibilidad de información en estos términos para otras regiones del país.

Tomando en cuenta que el poder calorífico inferior del diésel tipo Euro III es 35,86 MJ/l [8], a continuación, se establece las conversiones necesarias para obtener esta relación en función de kWh/gal con fines de utilizar un mismo sistema de unidades para los análisis posteriores.

$$35,86 \frac{\text{MJ}}{\text{l}} * \frac{3,7854 \text{ l}}{1 \text{ gal}} * \frac{0,2778 \text{ kWh}}{1 \text{ MJ}} = 37,71 \frac{\text{kWh}}{\text{gal}} \quad (2)$$

El consumo de diésel para el 2017 fue de 47 640 000 galones. Tomando en consideración el rendimiento para el diésel calculado en (2), se procede a calcular la energía total consumida para el sector de transporte público de pasajeros del EC.

$$47\,640\,000 \text{ gal} * \frac{37,71 \text{ kWh}}{1 \text{ gal}} = 1\,796,50 \times 10^6 \text{ kWh} \quad (3)$$

Es decir, en términos energéticos generales para el año base la demanda de diésel representó 1 796,50 GWh.

Posteriormente, se establece una relación matemática entre la cantidad de kilómetros recorridos por todo el número de autobuses transporte del EC. El año de partida para el análisis corresponde al año 2017 acorde a la disponibilidad de información, para en lo posterior continuar con las hipótesis establecidas en anterioridad, así como también, con los escenarios determinados en la Tabla 2.

En la ecuación (4), se establece la cantidad de energía consumida por cada autobús diésel.

$$\frac{47\,637\,400 \text{ gal}}{25\,947 \text{ bus}} * \frac{8,15 \text{ km}}{\text{gal}} = \frac{14\,963 \text{ km}}{\text{bus}} \quad (4)$$

Toda vez que se han establecido los rendimientos tanto para la cantidad de energía en términos de kWh que representa el traslado de 1 km de distancia y viceversa. Se procede a realizar el análisis comparativo para el año base en lo que respecta al uso del energético electricidad bajo la premisa de considerar el mismo escenario de consumo energético para establecer la cantidad de kilómetros que se recorrería con esta variante de energía primaria para el transporte público de pasajeros.

$$\frac{8,15 \text{ km}}{\text{gal}} * \frac{1 \text{ gal}}{37,71 \text{ kWh}} = 0,21612 \frac{\text{km}}{\text{bus}} \quad (5)$$

$$0,21612 \frac{\text{km}}{\text{bus}} * 1\,796,50 \times 10^6 \text{ kWh} = 388\,266\,000 \text{ km} \quad (6)$$

Esta cantidad de kilómetros recorridos corresponde al año base 2017 para todos los autobuses a diésel para el transporte público.

Según [9],[10] se establece que la tasa de rendimiento para un autobús eléctrico 0,93 km/kWh y su recíproco 1,0752 kWh/km. Este rendimiento establecido es para un autobús eléctrico que tiene características similares en función de capacidad de pasajeros que un autobús a diésel. A continuación, se presenta el análisis para determinar cuanta energía eléctrica es demandada para cubrir la misma cantidad de kilómetros recorridos si se utiliza electromovilidad en el sistema de transporte público de pasajeros del EC.

$$\frac{14\,963 \text{ km}}{\text{bus}} * \frac{1,0752 \text{ kWh}}{\text{km}} = \frac{16\,090,12 \text{ kWh}}{\text{bus}} \quad (7)$$

Con base en el cálculo (7), se puede afirmar que desde el punto de vista del índice de rendimiento kWh/km, la tecnología de electromovilidad presenta un mejor desempeño desde el punto de vista de la EE.

$$\frac{16\,090,12 * 10^{-6} \text{ GWh}}{\text{bus}} * 25\,947 \text{ bus} = 417,49 \text{ GWh} \quad (8)$$

Bajo ese mismo escenario de la cantidad de kilómetros recorridos por los autobuses diésel y considerando el rendimiento de un autobús eléctrico, la demanda energética sería de 417,49 GWh. Estableciéndose una reducción aproximada de 4,3 veces en términos de consumo energético los sistemas de electromovilidad en comparación con el desempeño de autobuses a diésel. Ver Fig. 9.

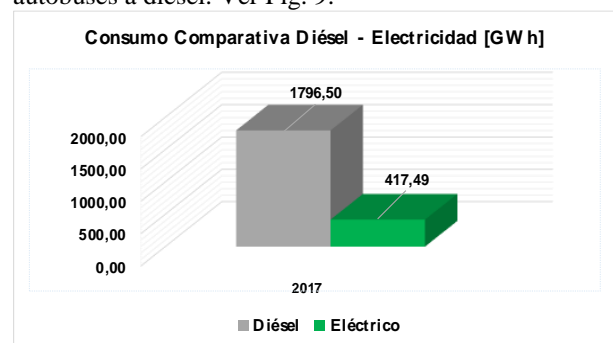


Figura 9: Demanda Transporte Público comparativo Diésel y



Eléctrico, año base 2017

En concordancia con lo recientemente señalado, a continuación, se establecerá el análisis energético para los años restantes y de propósito de estudio. Es necesario aclarar que se consideró las proyecciones del parque automotor según su comportamiento histórico estadístico

mostrado en la Tabla 2 y los resultados obtenidos para el año base 2017. En la Tabla 3, se presenta las proyecciones energéticas en relación a los consumos de diésel y electricidad anuales en razón del cambio de tecnología de combustión interna a través de diésel hacia el uso de electromovilidad para los autobuses del EC.

Tabla 3: Consumo energético de autobuses eléctricos en tres escenarios de ingreso al sistema de transporte público de pasajeros

Año	ESCENARIO 1				ESCENARIO 2				ESCENARIO 3			
	25%	Diésel [GWh]	km recorridos	Eléctrico [GWh]	50%	Diésel [GWh]	km recorridos	Eléctrico [GWh]	100%	Diésel [GWh]	km recorridos	Eléctrico [GWh]
2019	7 380	511	110 427 375	119	14 759	1 022	220 854 751	237	29 519	2 044	441 709 501	475
2020	13 347	924	199 718 393	215	23 004	1 593	344 223 099	370	31 248	2 164	467 591 447	503
2021	18 255	1 264	273 157 143	294	27 991	1 938	418 848 246	450	32 978	2 283	493 473 392	531
2022	22 368	1 549	334 706 692	360	31 349	2 171	469 101 792	504	34 707	2 403	519 355 338	558
2023	25 885	1 792	387 339 340	416	33 893	2 347	507 169 538	545	36 437	2 523	545 237 284	586
2024	28 955	2 005	433 284 312	466	36 030	2 495	539 144 383	580	38 167	2 643	571 119 229	614
2025	31 691	2 194	474 213 528	510	37 963	2 628	568 072 779	611	39 896	2 762	597 001 175	642
Resto	95 072	6 583	1422 640 583	1 530	37 963	2 628	568 072 779	611	0	0	0	0

Los porcentajes de ingreso en cada escenario fueron considerados en función de una metodología recurrente. Es decir, el porcentaje de ingreso de autobuses para el año N es concordante con el mismo porcentaje de ingreso para el año N+1. Por ello en la Tabla 3, se muestra en la última fila el ítem denominado Resto, que guarda concordancia a los autobuses que no han sido partícipes del cambio tecnológico en cada uno de los escenarios de estudio.

Por lo expuesto, a continuación, se presentan los tres escenarios considerados y sus respectivas demandas de electricidad debidas al cambio tecnológico de autobuses diésel por electromovilidad, tal cual se muestra en la Fig. 10.

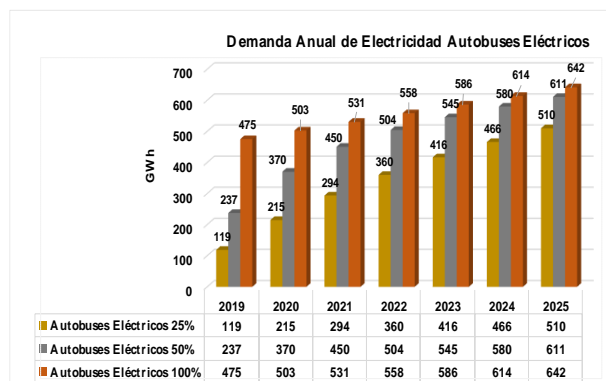


Figura 10: Proyección de Demanda Anual de Electricidad debida al Ingreso de Autobuses Eléctricos en los tres Escenarios considerados, período 2019-2025

CONTINENTAL

En lo que corresponde a la oferta de energía eléctrica para el año 2017, ésta alcanzó a 28 051 GWh (17 228,23 kBEP), de los cuales el 71,6% provienen de centrales hidroeléctricas, 26,3% de centrales térmicas y un 2,1% de diferentes tecnologías de energías renovables no convencionales e interconexiones internacionales, como se muestra en la Fig. 11, [11].

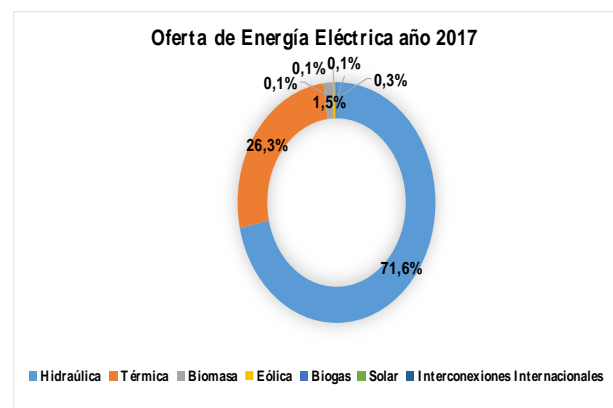


Figura 11: Oferta de Energía Eléctrica año 2017

En lo que respecta a la demanda de electricidad, ésta alcanzó una cifra de 24 185,28 GWh (14 854 kBEP) para el año 2017. Lo que representó un aumento del 3,7% en el período interanual 2016-2017. En términos de consumo porcentual por subtipo sectorial ésta ha tenido un comportamiento como se muestra en la Fig. 12, [4].

6. SITUACIÓN ENERGÉTICA DEL SECTOR DE ELECTRICIDAD EN EL ECUADOR



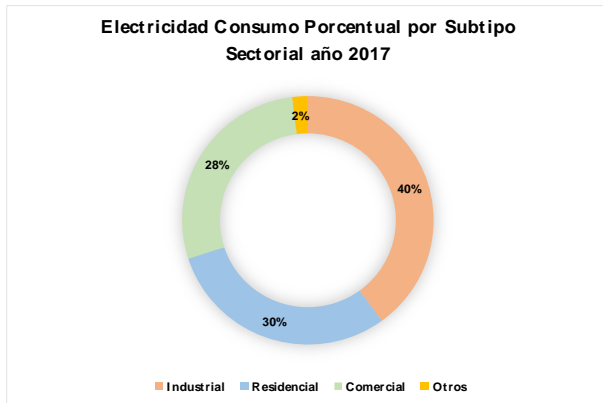


Figura 12: Consumo Porcentual de Electricidad por Subtipo Sectorial año 2017

Es necesario precisar que la demanda de energía eléctrica en los once años de análisis del Balance Energético Nacional 2017 ha experimentado un 83% de crecimiento, esto obedece a que la matriz energética en el sector electricidad experimentó una mayor oferta con la construcción y puesta en operación comercial de varios proyectos hidroeléctricos y de otras energías renovables no convencionales que se encuentran ubicados en diferentes localidades del Ecuador, permitiendo con ello una mayor cobertura y accesibilidad al suministro de energía eléctrica. En la Fig. 13, se muestra la evolución histórica que ha experimentado la demanda del sector eléctrico ecuatoriano continental [4],[12].

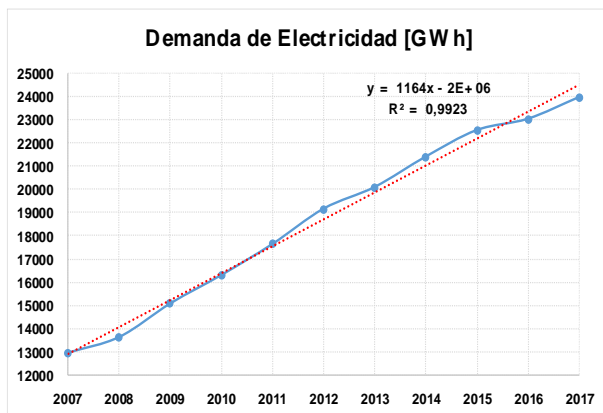


Figura 13: Evaluación Histórica de la Demanda de Electricidad período 2007-2017

Cabe mencionar que las proyecciones de demanda debidas a los autobuses eléctricos que se plantearon en la sección 5.1, servirá de insumo para analizar los escenarios de demanda de todo el sector electricidad para cada uno de los años hasta el 2025, en los escenarios establecidos con anterioridad.

Tomando en consideración la hipótesis número dos expuesta en [12], mediante la cual se exponen proyecciones de demanda eléctrica en relación a varios sectores demandantes, únicamente se hace mención que el sector transporte demandará electricidad en los proyectos: Metro de Quito, Tranvía de Cuenca y una estimación de proyección de vehículos eléctricos de uso

particular. Además, se considera las proyecciones establecidas de la demanda de electricidad hasta el año 2025 guardando concordancia con el alcance del presente estudio. En la Fig. 14. Se exponen las proyecciones de demanda de electricidad para cada año.

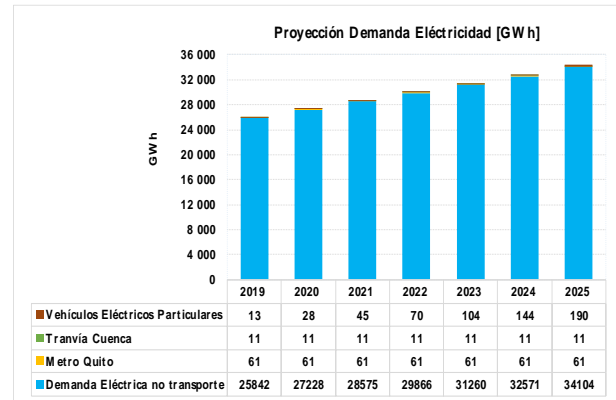


Figura 14: Proyección de Demanda de Electricidad período 2019-2025, según el PME

Por lo expuesto, a continuación, se presentarán los tres escenarios considerados en relación a la demanda de electricidad en la que incurrirá el sector eléctrico del EC debido al cambio tecnológico de diésel por electromovilidad.

6.1. Escenario 1, 25% de penetración de autobuses eléctricos interanuales.

Para el presente escenario, la demanda máxima alcanzada obedece a 510 GWh para el año 2025. Lo cual según las proyecciones energéticas establecidas en el PME 2016-2025 [12], no provocaría un déficit energético en la oferta en lo que a electricidad se refiere, estableciendo una demanda total para el año 2025 de 34 876 GWh. A continuación, en la Fig. 15, se muestra las proyecciones anuales de electricidad consideradas.

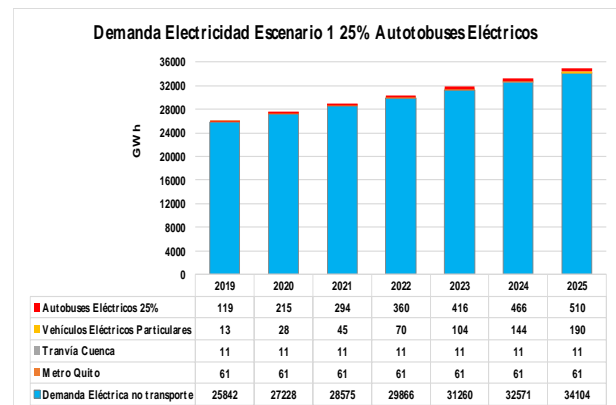


Figura 15: Demanda de Autobuses Eléctricos Escenario 1

6.2. Escenario 2, 50% de penetración de autobuses eléctricos interanuales.

Para el presente escenario, la demanda máxima alcanzada obedece a 611 GWh para el año 2025. Lo cual según las proyecciones energéticas establecidas en el



PME 2016-2025 [12], no provocaría un déficit energético en la oferta en lo que a electricidad se refiere, estableciendo una demanda total para el año 2025 de 34 977 GWh. A continuación, en la Fig. 16, se muestra las proyecciones anuales de electricidad consideradas.

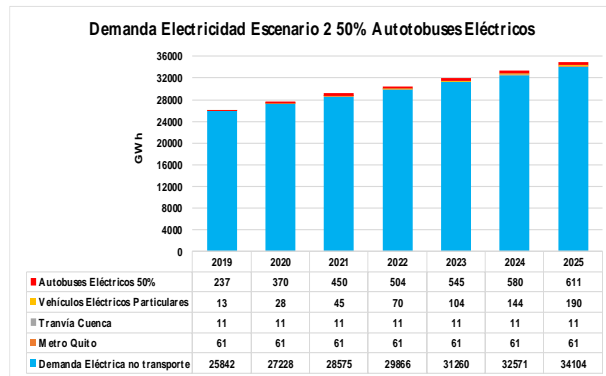


Figura 16: Demanda de Autobuses Eléctricos Escenario 2

6.3. Escenario 3, 100% de penetración de autobuses eléctricos interanuales.

Para el presente escenario, la demanda máxima alcanzada obedece a 642 GWh para el año 2025. Lo cual según las proyecciones energéticas establecidas en el PME 2016-2025 [12], no provocaría un déficit energético en la oferta en lo que a electricidad se refiere, estableciendo una demanda total para el año 2025 de 35 008 GWh. A continuación, en la Fig. 17, se muestra las proyecciones anuales de electricidad consideradas.

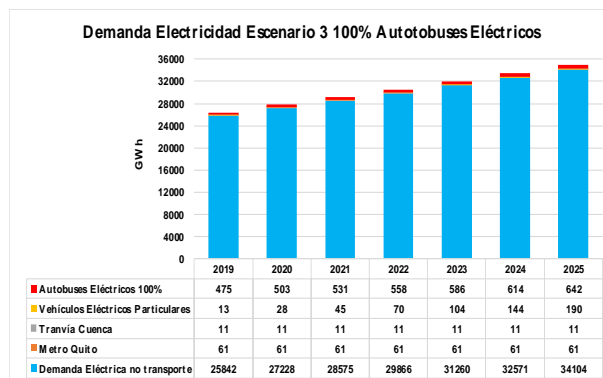


Figura 17: Demanda de Autobuses Eléctricos Escenario 3

7. CONCLUSIONES

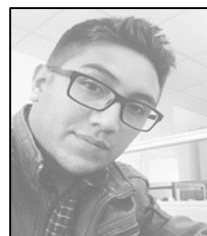
Del análisis realizado en los sectores de transporte público de pasajeros y eléctrico del Ecuador Continental, se concluye que es plenamente factible desde el punto de vista energético abastecer la demanda inclusive si todo el parque automotor del sector transporte público migra hacia autobuses eléctricos. En términos de rendimiento se ha demostrado que los sistemas basados en electromovilidad son más eficientes que los sistemas de combustión interna a través de diésel. La migración progresiva hacia electromovilidad otorgará al país ahorros en térmicos energéticos y Eficiencia Energética en su matriz de energéticos.

Como trabajos frutos se plantea realizar el análisis de

demanda energética considerando otras variables e incertidumbres de origen macroeconómico, de interés social, o incluso un análisis individualizado por cada región del Ecuador. Así como también, evaluar la factibilidad de los sistemas de electrolinerías para el suministro de energía eléctrica a nivel de los sistemas de transmisión y distribución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] El Comercio, "La población del Ecuador superó 17 millones de habitantes," Quito, 13-Oct-2018.
- [2] INEC, "Estadística del Anuario de Transporte 2017." 2018.
- [3] Asamblea Nacional República del Ecuador, "Ley Orgánica de Eficiencia Energética." 2019.
- [4] Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables., "Balance Energético Nacional 2017," 2019.
- [5] OLADE, "Sistemas de Unidades y Factores de Conversión," 2006.
- [6] J. Devore, Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias, 7th ed. 2008.
- [7] Alcaldía de Quito, "Estructuración de Costos Operacionales, Financieros y de Inversión Asociados a la Operación de los Cuatro Subsistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)," 2017.
- [8] R. Edwards, J.-F. Larive, V. Mahieu, and P. Rounveiolles, "Well-to-wheels Analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context," 2007.
- [9] BYD AUTO, "Especificaciones Técnicas BYD K9G," 2017.
- [10] B. O. Varga, C. Iclodean, and F. Mariasiu, Electric and Hybrid Buses for Urban Transport. 2016.
- [11] Operador Nacional de Electricidad CENACE, "Informe Anual 2017," 2017.
- [12] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Plan Maestro de Electricidad 2016-2025," 2017.



Luis Ángel Paredes Tapia. – Nació en Quito, Ecuador en 1987. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional en 2012; de Máster en Gestión de Energías en 2016. Actualmente es candidato a Doctor en Ingeniería Eléctrica (Ph.D.) del Instituto de Energía Eléctrica de la

Universidad Nacional de San Juan en Argentina. Sus campos de investigación están relacionados con: Sistemas Eléctricos y Energéticos Eficientes, Operación de Sistemas Eléctricos en Tiempo Real, Energías Renovables no Convencionales, Electromovilidad y Estabilidad y Control en Microrredes Eléctricas.