



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Análisis comparativo de huella de carbono entre un autobús eléctrico y uno
propulsado a diésel en la ciudad de Cuenca.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autores:

Marlon Ariel Bustamante Dutan

Director:

Ing. Boris Coello

CUENCA, ECUADOR

2025

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado principalmente a mi padres por el apoyo incondicional que me han brindado para poder realizar mis estudios universitarios.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a toda la comunidad universitaria y principalmente a los profesores de las distintas materias por brindarme sus conocimientos y darme una educación universitaria de calidad

ANÁLISIS COMPARATIVO DE HUELLA DE CARBONO ENTRE UN AUTOBÚS ELÉCTRICO Y UNO PROPULSADO A DIÉSEL EN LA CIUDAD DE CUENCAL

Este trabajo de titulación realiza un análisis comparativo de la huella de carbono generada por un autobús urbano alimentado por diésel frente a uno propulsado por energía eléctrica, tomando como caso de estudio la línea 22 del sistema de transporte público de la ciudad de Cuenca, Ecuador. El estudio parte del contexto del cambio climático y el rol crítico del sector transporte como fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Mediante levantamiento de información en campo, análisis energético y el uso de factores de emisión oficiales, se estimó que un autobús diésel genera anualmente aproximadamente 10.362,04 kg de CO₂, mientras que su equivalente eléctrico produce apenas 467,29 kg de CO₂, representando una reducción del 95,48 por ciento en emisiones.

Para contextualizar el impacto ambiental, se calculó que serían necesarios 494 árboles para compensar las emisiones del bus diésel, frente a solo 23 árboles para el bus eléctrico. Estos resultados demuestran el alto potencial de mitigación del transporte eléctrico urbano y justifican la implementación de políticas sostenibles y de electrificación del transporte en ciudades como Cuenca.

Palabras clave: vehículo eléctrico (VE) , CO₂, huella de carbono, emisiones,kWh,diésel

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CARBON FOOTPRINT BETWEEN AN ELECTRIC BUS AND A DIESEL-POWERED BUS IN THE CITY OF CUENCA

This thesis presents a comparative analysis of the carbon footprint generated by a diesel-powered urban bus versus an electric-powered one, using Line 22 of the public transportation system in the city of Cuenca, Ecuador, as a case study. The study is based on the context of climate change and the critical role of the transportation sector as a significant source of greenhouse gas (GHG) emissions. Through field data collection, energy analysis, and the use of official emission factors, it was estimated that a diesel bus generates approximately 10,362.04 kg of CO₂ annually, while its electric equivalent produces only 467.29 kg of CO₂, representing a 95.48 percent reduction in emissions. To contextualize the environmental impact, it was calculated that 494 trees would be needed to offset the emissions of the diesel bus, compared to only 23 trees for the electric bus. These results demonstrate the high mitigation potential of urban electric transport and justify the implementation of sustainable policies and transport electrification in cities like Cuenca..

Keywords: electric vehicle (EV), CO₂, carbon footprint, emissions, kWh, diesel

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice de Contenidos	v
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	vii
I Introduction	1
II Metodología	2
II-A Estimación de la huella de carbono de un bus urbano propulsado a diesel en la ciudad de cuenca . . .	3
II-B Estimación de la huella de carbono del bus eléctrico	3
III Cálculos y Resultados	4
III-A Emisiones anuales de CO ₂ de un autobus propulsado con combustible diesel	4
III-B Emisiones anuales de CO ₂ de un autobus propulsado con electricidad	5
IV Conclusiones	5
REFERENCIAS	6

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Recorrido línea 22	2
2	Rendimiento de un bus eléctrico obtenido en pruebas de recorrido.	4
3	Ruta medida mediante GPS	4

ÍNDICE DE TABLAS

I	Obtención de kilómetros recorridos	4
II	Volumen de combustible, rendimiento y emisiones de CO ₂	4
III	Rendimiento energético (km/KWh) por nivel de carga en dos líneas	5
IV	Número de recorridos, distancia total y consumo energético diario	5
V	Resultados de emisiones	5

Análisis comparativo de huella de carbono entre un autobús eléctrico y uno propulsado a diésel en la ciudad de Cuenca*

Marlon Ariel Bustamante Dutan
Escuela de Ingeniería Electronica
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
andres97@es.uazuay.edu.ec

Abstract—Este trabajo de titulación realiza un análisis comparativo de la huella de carbono generada por un autobús urbano alimentado por diésel frente a uno propulsado por energía eléctrica, tomando como caso de estudio la línea 22 del sistema de transporte público de la ciudad de Cuenca, Ecuador. El estudio parte del contexto del cambio climático y el rol crítico del sector transporte como fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Mediante levantamiento de información en campo, análisis energético y el uso de factores de emisión oficiales, se estima que un autobús diésel genera anualmente aproximadamente 10.362,04 kg de CO₂, mientras que su equivalente eléctrico produce apenas 467,29 kg de CO₂, representando una reducción del 95,48 por ciento en emisiones. Para contextualizar el impacto ambiental, se calcula que serían necesarios 494 árboles para compensar las emisiones del bus diésel, frente a solo 23 árboles para el bus eléctrico. Estos resultados demuestran el alto potencial de mitigación del transporte eléctrico urbano y justifican la implementación de políticas sostenibles y de electrificación del transporte en ciudades como Cuenca \LaTeX .

Index Terms—component, formatting, style, styling, insert

I. INTRODUCTION

El cambio climático constituye uno de los mayores desafíos del siglo XXI, con profundas implicaciones para el medio ambiente, la economía y el bienestar social a escala global. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, “el cambio climático es una amenaza existencial que requiere acciones urgentes y concertadas en todos los niveles de la sociedad” [1]. Uno de los principales impulsores del cambio climático es el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [1] en su Sexto Informe de Evaluación señala que las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado en un 20 por ciento desde 2010 debido principalmente a la quema de combustibles fósiles y a cambios en el uso del suelo. Siendo el transporte público uno de los principales emisores de GEI. En el caso de Ecuador el transporte público contribuye de manera significativa a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), aunque los porcentajes pueden variar

por tipo de transporte y región. Según la Red Nacional de Transporte, el transporte en general (incluyendo el público y privado) es responsable de aproximadamente el 40 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero en el país. “La mayor parte del transporte público a nivel mundial aún depende de combustibles provenientes del petróleo y en la ciudad de Cuenca la flota completa de buses utiliza esta tecnología; como consecuencia de esto, se generan emisiones de GEI, siendo las industrias, construcciones y el transporte las fuentes principales causantes de estas emisiones” [2]. Siendo así el transporte público un foco de emisiones y por ende “El sector del transporte tiene un fuerte potencial para reducir sus emisiones de GEI” [3]. Es por eso que muchos países han implementado o están en proceso de implementar vehículos eléctricos y políticas favorables para la promoción de EV incluyendo subsidios y normativas de emisiones más estrictas [4]. Estas acciones buscan alinearse con los compromisos climáticos internacionales, como el Acuerdo de París [3].

El crecimiento acelerado de la población urbana y la necesidad urgente de mitigar el cambio climático han llevado a muchas ciudades a replantear sus sistemas de transporte. En este sentido, los autobuses eléctricos emergen como una solución prometedora que no solo contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sino que también mejora la calidad del aire en entornos urbanos. [5], el sector del transporte es responsable de aproximadamente el 24 por ciento de las emisiones globales de CO₂, lo que subraya la importancia de adoptar tecnologías más limpias. Además existen estudios que indican que el transporte público es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades. Según Ajanovic y Haas, “la transición hacia sistemas de transporte más sostenibles, como los autobuses eléctricos, puede contribuir significativamente a la reducción de la huella de carbono urbana” [6]. La huella de carbono de un autobús eléctrico durante su operación es un aspecto fundamental para evaluar su impacto ambiental y, en consecuencia, guiar la implementación de políticas de transporte sostenible. La ciudad ha mostrado interés en iniciativas de sostenibilidad y ha implementado algunas políticas

para promover el uso de vehículos eléctricos. Sin embargo, la infraestructura para soportar estos vehículos sigue siendo limitada, y la evaluación local del impacto ambiental y energético es crucial para informar futuras decisiones políticas y de inversión. Resultados de estudios locales indican que la transición hacia un sistema de transporte más sostenible podría reducir las emisiones en un 50 por ciento en comparación con el uso de vehículos diésel actuales [7]. Además, la creciente urbanización en Cuenca exige un enfoque más sostenible en el transporte, dado que las áreas urbanas son responsables de aproximadamente el 70 por ciento de las emisiones globales de CO₂ [8]. Los vehículos eléctricos convierten hasta un 60 por ciento de la energía de la red en movimiento, en comparación con un 20 por ciento en los vehículos a combustión [9]. Las naciones buscan reducir las emisiones en el sector del transporte como parte de sus compromisos para limitar el aumento de temperatura, destacando la importancia del cambio hacia los vehículos eléctricos [9]. Este trabajo se enfoca en la identificación y estimación de la huella de carbono generada por un autobús eléctrico dedicado a una ruta urbana específica en Cuenca, Ecuador. La elección de Cuenca se justifica por su proceso de urbanización acelerado y los desafíos ambientales que enfrenta, lo que la convierte en un escenario pertinente para la implementación de soluciones de transporte sostenible. Este trabajo se desarrollará en dos secciones clave: la primera se centrará en el levantamiento de información necesario para realizar una estimación efectiva de la huella de carbono, y la segunda abordará las metodologías y cálculos específicos correspondientes a dicha estimación. El levantamiento de información es una fase crítica en el proceso de estimación de la huella de carbono, ya que permite reunir los datos fundamentales que influirán en los resultados finales del análisis. Esta etapa debe abordar diversos aspectos, incluyendo el consumo energético del autobús eléctrico, las características específicas de la ruta, el perfil del tráfico y el origen de la electricidad utilizada para la carga [10].

En cuanto al consumo energético del autobús eléctrico es uno de los factores más relevantes para entender su eficiencia. Este consumo se mide en kilovatios hora (kWh) y se ve influenciado por varios elementos, como el tipo de tecnología de la batería, el peso del vehículo, y la aerodinámica del diseño [11]. Además, la característica de la ruta urbana también juega un papel crucial. Las rutas que incluyen paradas frecuentes o pendientes pronunciadas pueden aumentar el consumo de energía de un autobús eléctrico, lo que, a su vez, afecta la huella de carbono total. Por ende, el análisis del trazado, la distancia total recorrida y las condiciones del tráfico tienen que ser delimitadas correctamente ya que serán determinantes para la estimación de la huella de carbono. Un aspecto esencial que debe ser considerado durante el levantamiento de información es la fuente de generación de la electricidad. La electricidad utilizada para cargar los autobuses eléctricos puede provenir de fuentes diversas, incluidas energías renovables (solar, eólica, hidráulica) y combustibles fósiles (carbón, gas natural), cada una contribuyendo de manera diferente a la huella de carbono [5]. Por ejemplo, un estudio de la Agencia Internacional de

Energía renovable indica que, cuando los autobuses eléctricos se cargan con energía solar, sus emisiones de CO₂ pueden ser hasta un 75 por ciento más bajas en comparación con aquellas que dependen de electricidad generada a partir de combustibles fósiles [12]. Pero en nuestro caso la electricidad en la ciudad de Cuenca, en donde se realizará el análisis proviene de hidroeléctricas, la cual se considera una fuente de energía renovable con bajas emisiones de dióxido de carbono (CO₂), pero las emisiones no son cero. Por ejemplo, la construcción de represas y la infraestructura asociada también conllevan emisiones. Un artículo en *Renewable and Sustainable Energy Reviews* indica que las emisiones derivadas de la construcción, mantenimiento y eventual desmantelamiento de las plantas hidroeléctricas pueden ser significativas, aunque aún menores que las de las plantas de energía convencional basadas en combustibles fósiles [13]. Por lo tanto, el perfil energético local de Cuenca será un punto de análisis importante en este capítulo.

Aspectos Para considerar la elección de una ruta de transporte urbana para la implementación de los autobuses eléctricos en Cuenca: Es importante identificar las rutas con mayor número de usuarios, ya que esto justifica la implementación de autobuses eléctricos en vías con alta demanda [2]. Optar por rutas que minimicen desvíos y paradas innecesarias será crucial para la eficiencia del servicio [7]. Evaluar la ubicación y la capacidad de las estaciones de carga existentes es esencial para la operatividad de la flota. El tiempo necesario para cargar los autobuses debe ser considerado para no afectar los horarios de servicio [14]. Rutas bien mantenidas facilitan la operación de los autobuses eléctricos (Mendoza, 2019). Priorizar rutas en áreas con alta contaminación maximiza los beneficios ambientales de la implementación de autobuses eléctricos [15]. Las rutas que conecten áreas residenciales con centros laborales y educativos tendrán mayor utilidad.

II. METODOLOGÍA

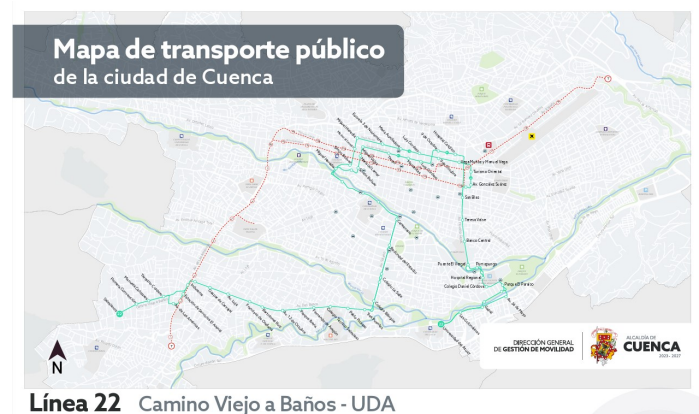


Fig. 1. Recorrido línea 22

En el presente estudio se seleccionó la línea 22 del sistema de transporte urbano de la ciudad de Cuenca como objeto de análisis. Esta elección responde a criterios técnicos y estratégicos. En primer lugar, se trata de una ruta que transcurre

predominantemente por zonas de topografía regular, es decir, con escasa pendiente. Esta condición es favorable para la operación de vehículos eléctricos, ya que se ha demostrado que el rendimiento energético y la autonomía de los autobuses eléctricos son significativamente mayores en terrenos planos, en comparación con rutas que incluyen ascensos pronunciados. Las pendientes aumentan el esfuerzo requerido por el motor, lo cual incrementa el consumo de energía y reduce la eficiencia del sistema de propulsión eléctrica.

Adicionalmente, la línea 22 incluye en su recorrido sectores estratégicos de la ciudad, como la zona universitaria, particularmente el campus de la Universidad del Azuay. Este aspecto no solo facilita el levantamiento de información del comportamiento operativo del vehículo, sino que también presenta ventajas logísticas y académicas. La cercanía a un entorno universitario permite una integración directa entre la investigación aplicada y la formación académica, facilitando la recopilación de datos en campo.

A. Estimación de la huella de carbono de un bus urbano propulsado a diesel en la ciudad de cuenca

Cálculo de la huella carbono Para poder conocer la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que se emite directamente de un automóvil, es fundamental el cálculo de la huella de carbono. Para ello, se presentan las siguientes ecuaciones. - Cálculo del porcentaje de nitrógeno [16].

$$N_2 = 100 - CO_2 - CO \quad (1)$$

Cálculo del número de moles de O₂ para la combustión del combustible usando la siguiente fórmula, resultando una concentración molar de 3.76, dado que el aire contiene 79 por ciento de N₂ y 21 por ciento de O₂ [16].

$$Moles de O_2 = N_2 / 3.76 \quad (2)$$

La combustión completa del hidrocarburo se expresa mediante la siguiente reacción balanceada:

$$C_{14.4}H_{24.9} + 20.6(O_2 + 3.76N_2) \quad (3)$$

$$= 14.4CO_2 + 12.45H_2O + 77.45N_2 \quad (4)$$

Este balance se fundamenta en los siguientes principios: Cada átomo de carbono genera una molécula de CO₂. Cada dos átomos de hidrógeno generan una molécula de H₂O. El oxígeno requerido se calcula considerando la cantidad total necesaria para formar H₂O Y CO₂.

Masa molar del combustible:

Masa del Carbono = 12kg/kmol.

Masa del Hidrógeno = 1kg/kmol.

$$MC_{14.4}H_{24.9} = (14.4 * 12) + (24.9 * 1) \quad (5)$$

$$= 172.8 + 24.9 = 197.7 kg/kmol \quad (6)$$

Cálculo del factor de emisión

$$FE = (14.4 * 44) / 197.7 = 3.20 kg(CO_2) / kg(diésel) \quad (7)$$

Donde:

Masa de CO₂ = 44kg/kmol.

Para expresar este valor en términos de volumen de combustible, se utiliza la densidad del diésel comercial (p = 0.84 kg/L) [17].

$$FE = 3.20 * (3.785 * 0.84) = 10.1 kg(CO_2) / galón(diésel) \quad (8)$$

Obteniendo ya el factor de emisión procedemos a calcular el rendimiento del vehículo en Km/ litro de combustible, esto lo obtenemos midiendo los kilómetros recorridos en dos días ya que los buses urbanos cargan el combustible cada dos días y el combustible consumido.

$$rutas realizadas en 2 días * Km recorrido en cada ruta = km totales \quad (9)$$

Conociendo el número de kilometro totales recorridos y conociendo el volumen de combustible consumido en dichos kilómetros podemos obtener el rendimiento en: Km/Galon de combustible. obtenemos el número de galones de combustible que se consumió en los 2 días de recorrido. Multiplicamos este número de galones por el factor de emisión que está dado en Kg de CO₂/ galón de combustible.

$$litros consumidos * Kg Co_2 / Galon combustible = Kg Co_2 totales \quad (10)$$

con los Kg de Co₂ totales podemos conocer la huella de carbono de un bus urbano en la ciudad de cuenca para su posterior comparación.

B. Estimación de la huella de carbono del bus eléctrico

Para la estimación de la huella de carbono del bus eléctrico, primero seleccionaremos el modelo a analizar, en este caso va a ser el modelo BYD K9 ya que este modelo cuenta con estudios previos de funcionamiento en la ciudad de cuenca. Para la estimación de la huella de carbono tenemos que conocer el rendimiento del vehículo en km/kwh, para luego multiplicarlo por el número de kilómetros recorridos y obtener, este valor lo podemos obtener de los estudios previos de recorrido realizado por la universidad de cuenca y también con los valores de simulación que se obtuvieron en la universidad del Azuay en una tesis realizada por el ingeniero Daniel cordero en conjunto con el estudiante William Guíñansaca [18]. Y los kilometro recorridos lo obtuve mediante un medidor GPS para calcular los kilometro exactos que recorre la línea 22.

$$Km / KWh * Km recorrido = KWh(totales) \quad (11)$$

Después de calcular los kWh totales que se consumen en los recorridos de la línea 22 podemos obtener cuanto CO₂ se emite para producir los kilovatios necesarios para el recorrido, para ello tenemos que conocer el factor de emisión en kg de Co₂/ Kwh

$$KWh(totales) * Kg Co_2 / KWh = Kg Co_2 \quad (12)$$

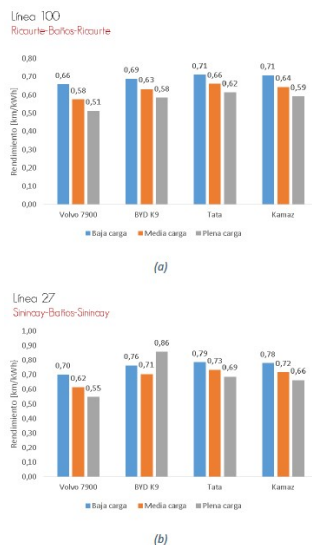


Fig. 2. Rendimiento de un bus eléctrico obtenido en pruebas de recorrido.

2025-03-25	Duración	Distancia	Media
17:18:48	02:01:00	26,8km	13,3km/h
Min	Máx.	Arriba	Abajo
2516 m	2625 m	475 m	472 m

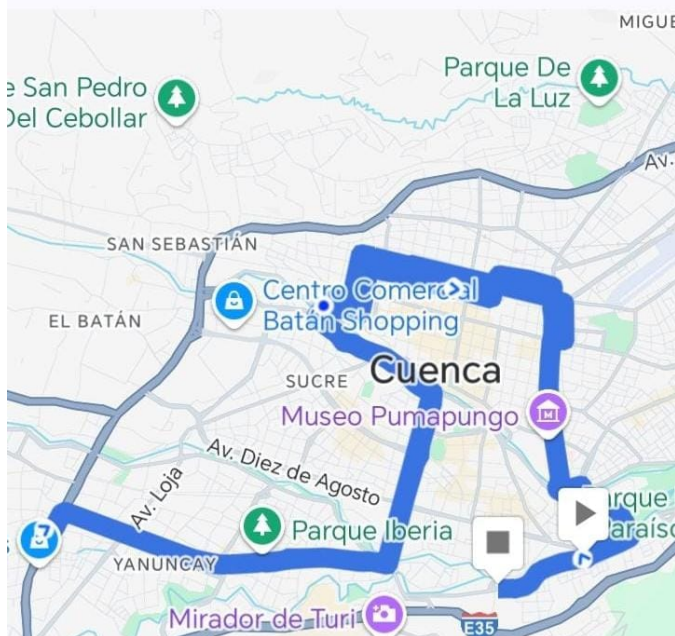


Fig. 3. Ruta medida mediante GPS

III. CÁLCULOS Y RESULTADOS

A. Emisiones anuales de CO2 de un autobus propulsado con combustible diesel

Mediante un GPS pudimos calcular el total de kilómetros recorridos por un bus urbano de la línea 22, siendo esta distancia de 26,8 km desde la parada de la línea 22 de la universidad del Azuay hasta la parada del camino viejo

a baños y viceversa , los 26,8 km representan el total de kilómetros tanto de ida a la ultima estación como de vuelta a la universidad.

TABLA I
OBTENCIÓN DE KILÓMETROS RECORRIDOS

Nº recorridos/día	Distancia total/día (km)	(km en 2 días)
8	214,4	
8	214,4	428,8
7,5	201	
8	214,4	415,4
8	214,4	
7	187,6	402
7	187,6	
8	214,4	402
8	214,4	
8	214,4	428,8

Una vez obtenido la distancia total de la ruta podemos obtener la distancia que recorre el bus en un día completo y a su vez obtener la distancia que recorren antes de cargar el combustible diésel ya que para que la obtención de huella de carbono es muy importante saber este dato. La línea 22 recorre alrededor de 7 a 8 vueltas al día dependiendo el día, y la distribución de rutas al chofer de turno y el combustible se recarga cada 2 días exactamente, entonces multiplicamos el numero de vueltas realizadas en los 2 días para saber cuantos kilómetros se recorrió antes de cada carga de combustible como se aprecia en la tabla .

Luego obteniendo las facturas que entrega la gasolinera a los transportistas luego del cargamento de combustible podemos obtener le volumen de combustible total que ingresa al autobús tras 2 días de recorrido , es decir ya podremos conocer el volumen de diésel que consume el autobús por cada kilómetro obteniendo así el rendimiento del mismo en kilómetros sobre galón, es decir ya conocemos cuantos kilómetros recorrerá el autobús con cada galón de combustible consumido.

Después obteniendo las facturas que entrega la gasolinera a los transportistas luego del cargamento de combustible podemos obtener le volumen de combustible total que ingresa al autobús tras 2 días de recorrido , es decir ya podremos conocer el volumen de diésel que consume el autobús por cada kilómetro obteniendo así el rendimiento del mismo en kilómetros sobre galón, es decir ya conocemos cuantos kilómetros recorrerá el autobús con cada galón de combustible consumido.

TABLA II
VOLUMEN DE COMBUSTIBLE, RENDIMIENTO Y EMISIONES DE CO2

Volumen combustible (galones)	Rendimiento (km/galón)	CO2 (kg)
74,6	5,747989	58,054692
72,8	5,706044	57,631044
73,67	5,456767	55,113343
74,3	5,410498	54,646030
74,1	5,786775	58,446424
		56,778306

Con la eficiencia o rendimiento obtenido y este representado en kilómetros sobre galón de combustible, lo podemos

multiplicar por el factor de emisión que esta representado en kilogramos de CO₂ por cada galón de combustible consumido y obtenemos el CO₂ por cada galón de combustible consumido por el autobús en 2 días de trabajo. El promedio de emisiones de CO₂ emitidas en 2 días de circulación es de 56,77 kg de CO₂, esto lo multiplicamos por los días del año y obtuvimos un valor de 10362,04 kg de CO₂ emitidos anualmente Por un bus urbano de transporte publico en la ciudad de Cuenca como vemos en la tabla II.

B. Emisiones anuales de CO₂ de un autobus propulsado con electricidad

Para la obtencion del rendimineto del bus electrico en una ruta urbana en la ciudad de cuenca se tomo en cuenta los valores referidos en estudios previos de ruta realizados un la universidad de cuenca y en estudios de simulación realizados en la universidad del Azuay , estos estudios e realizaron en la ruta de la linea 27 y en la ruta de la linea 100 dando los siguientes resultados que podemos apreciar en la figura 5 .

Con el promedio del rendimiento obtenido y como conocemos la distancia total de la ruta que queremos analizar , multiplicamos el rendimiento que es 0,7 km/kwh por los 26,8 km que es la distancia total del recorrido de la linea 22 y así obtenemos el valor de 18,76 kwh, es decir que un bus eléctrico va a consumir 18,76 kwh para poder cubrir una sola vuelta de la linea 22, al realizar en promedio 8,5 vueltas al día en la linea 22 tendremos un gasto energético de 159,46 kwh al día de trabajo y a su vez el gasto genético anual será de aproximadamente 582,9 kwh.

TABLA III
RENDIMIENTO ENERGÉTICO (KM/KWH) POR NIVEL DE CARGA EN DOS LÍNEAS

Nivel de carga	Línea 100 (km/kWh)	Línea 27 (km/kWh)
Baja carga	0,69	0,76
Media carga	0,63	0,71
Alta carga	0,58	0,83
Promedio total	0,67	

TABLA IV
NÚMERO DE RECORRIDOS, DISTANCIA TOTAL Y CONSUMO ENERGÉTICO DIARIO

N° recorridos/día	Distancia total/día (km)	Consumo (kWh/día)
8	214,4	143,648
8	214,4	143,648
7,5	201	134,670
8	214,4	143,648
8	214,4	143,648
7	187,6	125,692
7	187,6	125,692
8	214,4	143,648
8	214,4	143,648
8	214,4	143,648
Promedio diario (kWh)		139,159

En Ecuador, el factor de emisión de CO asociado a la generación de electricidad en el Sistema Nacional Interconectado (SNI) para el año 2023 fue de 0,0920 toneladas de CO₂ por megavatio-hora (t CO/MWh) [19], lo que equivale a 92

gramos de CO₂ por kilovatio-hora (g CO₂/kWh). Ministerio de Energía y Minas. ¿Qué significa esto? Por cada 1 kWh de electricidad consumido de la red nacional, se emiten aproximadamente 92 gramos de CO₂. como nuestro autobús eléctrico consume 139,59 kwh diaramente en promedio para funcionar entonces para su carga se tendrian que emitir a la atmosfera 467,29 kg de CO₂ en un año de funcionamiento como vemos en la tabla V .

kWh anuales consumidos	50793,035
kg de CO ₂ por cada kWh producido	0,092
Emiione de CO ₂	467,29

TABLA V
RESULTADOS DE EMISIONES

IV. CONCLUSIONES

Para concluir este trabajo de titulación, se realizó la comparación de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por dos tecnologías de transporte: un autobús propulsado por diésel y uno alimentado por energía eléctrica, cumpliendo así con el objetivo planteado.

En el caso del autobús diésel, se determinó una huella de carbono anual de 10.362,04 kg de CO₂, mientras que el autobús eléctrico genera tan solo 467,29 kg de CO₂ al año, considerando las emisiones asociadas a la producción de la energía eléctrica que consume. Esto representa una reducción de 9.894,75 kg de CO₂, equivalente a una disminución del 95,48 por ciento en las emisiones al ambiente, lo cual evidencia el notable beneficio ambiental del uso de tecnologías eléctricas en el transporte urbano de la ciudad de Cuenca.

Para dimensionar este impacto, se consideró que un árbol promedio absorbe entre 10 y 21 kg de CO₂ por año en su etapa madura [20]. Durante su vida útil (estimada entre 20 y 30 años), un solo árbol puede capturar entre 200 y 500 kg de CO, dependiendo de su especie y condiciones ambientales. Si se adopta un valor de referencia de 21 kg de CO₂ por año, sería necesario plantar aproximadamente 494 árboles para compensar las emisiones anuales de un autobús diésel. En cambio, para absorber los 467,29 kg de CO₂ generados por la operación del autobús eléctrico, bastaría con plantar 23 árboles.

Estos resultados no solo reflejan el importante potencial de mitigación del cambio climático mediante la electrificación del transporte público, sino que también subrayan la relevancia de políticas sostenibles en la planificación urbana y energética.

REFERENCIAS

- [1] I. P. on Climate Change, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. IPCC, 2021. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf
- [2] C. García, A. Leduc, and P. Amato, "Life cycle assessment of electric versus diesel buses: A comprehensive study," *Sustainable Cities and Society*, vol. 71, p. 102964, 2021.
- [3] UNFCCC, "The paris agreement," 2015. [Online]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- [4] European Commission, "Transporte: La comisión propone una estrategia para automóviles limpios," https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/memo_12845, 2012, *accedido el 25 de mayo de 2025*.
- [5] B. P. Weidema *et al.*, "Guidelines for the assessment of the environmental impact of transport systems," *Journal of Cleaner Production*, vol. 194, pp. 932–940, 2018.
- [6] A. Ajanovic and R. Haas, "Electric vehicles: Solution or a new problem?" *Environmental Development*, vol. 17, pp. 132–144, 2016.
- [7] e. a. Pérez, "Evaluación de impacto ambiental en la transición al transporte eléctrico en cuenca," *Revista Ingenierías*, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/693/634>
- [8] W. Bank, "Urban transport and climate change: The path to sustainable cities," 2020. [Online]. Available: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/sustainable-transport>
- [9] X. Li, W. Chen, and Y. Wang, "Lifecycle environmental impact assessment of electric and diesel buses in urban transport," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, p. 110995, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121005037>
- [10] Banco Interamericano de Desarrollo. (2021) Transporte y cambio climático en américa latina y el caribe: desafíos y oportunidades. Blog del BID, consultado el 25 de mayo de 2025. [Online]. Available: <https://blogs.iadb.org/transporte/es/transporte-y-cambio-climatico-en-america-latina-y-el-caribe-desafios-y-oportunidades/>
- [11] T. R. Hawkins, B. Singh, G. Majeau-Bettez, and J. Hammerstrahm, "Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 17, no. 1, pp. 53–64, 2013.
- [12] Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), "Acuerdo de cooperación entre la iaea y la irena," <https://www.iaea.org/about/partnerships/irena>, 2016, consultado el 25 de mayo de 2025.
- [13] A. Kumar, T. Schei, A. Ahenkorah, R. Caceres Rodriguez, J. M. Devernay, M. Freitas, D. Hall, A. Killingtveit, and Z. Liu, "Hydropower," in *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, and C. von Stechow, Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2011, pp. 437–496. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Chapter-5-Hydropower-1.pdf>
- [14] Y. Liu, X. Zhang, and Y. Xu, "Energy consumption and greenhouse gas emissions of electric and diesel vehicles in different regions," *Energy Policy*, vol. 160, pp. 112–123, 2022.
- [15] A. Calatayud, M. E. Rivas, J. Camacho, C. Beltrán, M. Ansaldo, and E. Café, "Transporte 2050: el camino hacia la descarbonización y la resiliencia climática en américa latina y el caribe," 2023. [Online]. Available: <https://publications.iadb.org/es/transporte-2050-el-camino-hacia-la-descarbonizacion-y-la-resiliencia-climatica-en-america-latina-y>
- [16] C. O. C. Pico and A. J. R. Cedeño, "Estudio comparativo de la huella de carbono en vehículos particulares con las gasolinas ofertadas en el país," <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/6456/1/UIDE-Q-TMA-2023-94.pdf>, 2023, trabajo de integración curricular, Universidad Internacional del Ecuador.
- [17] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), "Ficha técnica del producto: Fuel-oil n°2 (diesel n°2)," https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_Quimico.php?id=33360.00.02, 2025, *sistema Integrado de Consultas de Clasificaciones y Nomenclaturas (SIN)*.
- [18] D. G. Cordero Moreno and W. M. Guiñansaca Chinchilima, "Metodología para la configuración energética de un bus eléctrico. casos de estudio: Líneas 27 y 100 del sistema de transporte público de la ciudad de cuenca – ecuador," 2021, trabajo de titulación, consultado el 25 de mayo de 2025. [Online]. Available: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11361/1/16898.pdf>
- [19] CENACE - Operador Nacional de Electricidad, "Informe del factor de emisión de co del sistema nacional interconectado - año 2022," <https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/09/Informe-Factor-de-CO2-2022.pdf>, 2023, consultado el 25 de mayo de 2025.
- [20] Ecosignal. (2023) ¿cuánto co absorbe un árbol? descubre su impacto ambiental. Consultado el 25 de mayo de 2025. [Online]. Available: <https://ecosignal.net/cuanto-co2-absorbe-un-arbol-descubre-su-impacto-ambiental>