



Evaluación multicriterio neutrosófica para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato.

Neutrosophic multicriteria evaluation for the analysis of the energy required for the incorporation of electric buses in the city of Ambato.

Andrés Sebastián Villacrés Quintana ¹, Giovanni Vinicio Pineda Silva ², and Juan Diego Zurita Vargas ³

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. E-mail: ua.andresvq05@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. E-mail: ua.giovanypineda@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. E-mail: ua.juanzv40@uniandes.edu.ec

Resumen. El transporte representa una cuarta parte de la demanda energética actual de la humanidad. Por tanto, refleja un uso colosal de los combustibles fósiles y su contribución al calentamiento global. La electrificación del transporte tiene un gran potencial para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la contaminación del aire y el ruido. Evaluar las demandas de energía para la electromovilidad es esencial para las ambiciones de desarrollo sostenible de Ecuador. Particularmente, para llenar el vacío de datos de demanda energética para la incorporación de buses eléctricos para el transporte público de pasajeros en la ciudad de Ambato-Ecuador, se considera la vida útil del parque vehicular, número de vehículos existentes y análisis de rutas de transporte. El objetivo de la presente investigación es desarrollar una evaluación multicriterio neutrosófica para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato. El método basa su funcionamiento a partir de números neutrosóficos.

Palabras Claves: Evaluación multicriterio neutrosófica, análisis de la energía requerida, incorporación de buses eléctricos, Ciudad de Ambato.

Abstract. Transport represents a quarter of humanity's current energy demand. Therefore, it reflects a colossal use of fossil fuels and its contribution to global warming. The electrification of transport has great potential to decrease greenhouse gas (GHG) emissions, air pollution and noise. Evaluating the energy demands for electromobility is essential for Ecuador's sustainable development ambitions. Particularly, to fill the energy demand data gap for the incorporation of electric buses for public passenger transport in the city of Ambato-Ecuador, the useful life of the vehicle fleet, the number of existing vehicles and the analysis of transport routes are considered. The objective of this research is to develop a multi-criteria neutrosophic evaluation for the analysis of the energy required by the incorporation of electric buses in the City of Ambato. The method bases its operation on neutral-sophic numbers.

Keywords: Neutrosophic multicriteria evaluation, analysis of required energy, incorporation of electric buses, City of Ambato.

1 Introducción

Tomando en consideración el plan establecido en la Ley Orgánica de Eficiencia Energética del Ecuador, en su artículo 14 establece que “a partir del año 2025, todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano en la superficie continental del Ecuador deberán ser exclusivamente eléctricos” [1], para efectos de la renovación del parque vehicular, la Agencia Nacional de Tránsito en su resolución 111-DIR-2014-ANT, establece 20 años como vida útil de los buses, generando un requerimiento energético para las unidades que se beneficiarían con esta renovación, teniendo en cuenta la obligatoriedad de la ley de eficiencia energética en ma-

teria de electromovilidad para el transporte público a partir de 2025.

Por esta razón, es de vital importancia realizar los análisis y proyecciones necesarios para el cambio de unidades de transporte público según el parque vehicular rodante y estimar el requerimiento energético que se debe cubrir para el correcto funcionamiento de la movilidad eléctrica, teniendo en cuenta que las ciudades del Ecuador, en el ámbito de sus competencias, deben establecer lineamientos para apoyar el cambio y garantizar la aplicación y permanencia de la electromovilidad.

La ciudad de Ambato ha sido tomada como caso de estudio de referencia por ser un polo de desarrollo en la sierra central del Ecuador y por la dinámica espacial característica de esta ciudad. En las últimas décadas Ambato se ha convertido en un centro de atracción económica, social y poblacional. También es el centro industrial de producción de estructuras para transporte público del Ecuador, representando el 65% de la producción nacional [2], [34].

Esta proyección generará un requerimiento energético para cargar las baterías que brindarán movilidad a los motores eléctricos, por lo que es de vital importancia estimar la demanda energética de estos medios de transporte, por ello, algunos autobuses pertenecientes al parque vehicular del país deberán ser sustituidos por nuevas unidades que contengan sistemas de propulsión eléctrica y requerirán unidades de carga que generen una demanda energética que deberá ser solucionada por las empresas suministradoras de electricidad de cada ciudad.

Atendiendo a los elementos descritos, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar una evaluación multicriterio neutrosófica para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato, Ecuador.

2. Materiales y métodos

Se inicia con el proceso de recolección de datos tomando en cuenta las consideraciones iniciales y medio de recolección. Luego se realiza la descripción del escenario de estudio, obteniendo la resistencia de las ruedas mediante cálculos matemáticos para finalmente obtener la energía requerida para la incorporación masiva de buses eléctricos en la ciudad de Ambato como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Diagrama metodológico.

Consideraciones iniciales para el estudio

En el presente documento se realiza un análisis de la demanda de energía basada en las condiciones actuales del sector de transporte urbano, proyectando dicha demanda en función al reemplazo de unidades. Para esto, se debe considerar que la dinámica vehicular juega un papel importante al momento de analizar la energía necesaria para mover un automotor bajo con las características y condiciones que intervienen en su desplazamiento.

Las consideraciones iniciales en función a los requerimientos de las ecuaciones de la dinámica vehicular tomando en cuenta que los coeficientes usados para el cálculo pertenecen a parámetros ideales y a la unidad tipo corresponde a un chasis carrozado de marca HINO AK según la información entregada por el GAD Municipal de Ambato, misma que ha sido utilizada por la mayoría de buses que circulan en la ciudad, el peso bruto vehicular como dato de masa del vehículo obtenido de su ficha técnica comercial.

3 Diseño del método multicriterio para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato

Para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato se utilizó un método que basa su funcionamiento mediante números neutrosóficos para modelar la incertidumbre. Basa su funcionamiento a partir de técnicas multicriterio, donde se modelan los indicadores para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos. El método utiliza para la inferencia la Ponderación Lineal Neutrosófica. Está diseñado mediante una estructura de tres actividades que en su conjunto determina el análisis evaluativo.

Actividad 1: Identificación los criterios para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos

Representa el conjunto de criterios que definen la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato. El conjunto de criterios representan un parámetro de entrada del método propuesto, se sustenta mediante un enfoque multicriterio formalizado como:

$C = \{c_1, \dots, c_n\}$, $n \geq 2$, indicadores que representan los criterios evaluativos.

Actividad 2: Determinación los pesos de los criterios para el análisis de la energía requerida

El proceso de determinación de los pesos, representa la actividad que determinar los vectores de pesos asociados a los criterios. Representa un parámetro para el proceso de inferencia. Se basa en un enfoque multiexperto de modo que:

$E = \{e_1, \dots, e_m\}$, $m \geq 2$, donde E, representa los expertos que determinan los vectores de pesos asociados a los criterios.

Actividad 3: Evaluación de los criterios definidos para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos

La actividad representa el procesamiento del método de inferencia para determinar los criterios para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato. El procesamiento de los datos se realiza mediante la ponderación lineal neutrosófica [3-6] que constituye un método multicriterio [7-9]. La ponderación lineal neutrosófica representa una alternativa a los métodos multicriterios clásicos [10], [11], [12], [32]. El método consiste en calcular una puntuación global r_i para cada alternativa A_i tal como expresa la ecuación 1.

$$R_i = \sum_j W_j r_{ij} \quad (1)$$

La ponderación lineal representa un método compensatorio, se aplica posterior a una normalización previa. El método es aplicado en casos donde se posee un conjunto m de alternativas y n criterios [13]. Para cada criterio j el decisor estima cada alternativa i . Se obtiene la evaluación a_{ij} de la matriz de decisión que posee una ponderación cardinal ratio [14], [15]. Se asigna un peso W_j ($j = 1, n$) también del tipo cardinal ratio para cada uno de los criterios C_j .

En el contexto de los métodos multicriterio, se introducen los números neutrosóficos con el objetivo de representar la neutralidad [16],[17],[18], [19]. Constituye las bases de teorías matemáticas que generalizan las teorías clásicas y difusas tales como los conjuntos neutrosóficos y la lógica neutrosófica [20], [21], [12], [29]. Un número neutrosófico (N) se representa de la siguiente forma [22], [23], [24]:

Sean $N = \{(T, I, F) : T, I, F \subseteq [0, 1]\}n$, una valuación neutrosófica es un mapeo de un grupo de fórmulas proporcionales a N , esto es que por cada sentencia p se tiene [25-27], [30], [33]:

$$v(p) = (T, I, F) \quad (2)$$

Donde:

T: representa la dimensión del espacio que representa la verdad,

I: representa la falsedad,

F: representa la indeterminación.

Matemáticamente se puede definir un método de Ponderación Lineal Neutrosófico como una 3-tupla (R, W, r) tal como representa la ecuación 3.

$$R_{i(T,I,F)} = \sum_j W_{j(T,I,F)} r_{ij(T,I,F)} \quad (3)$$

Donde:

$R_{i(T,I,F)}$: representa la función resultante que refiere una dimensión del espacio verdad, falsedad e indeterminación (T, I, F) .

$W_{j(T,I,F)}$: representa el peso del criterio j , asociados a los criterios que refiere una dimensión del espacio verdad, falsedad e indeterminación (T, I, F) .

r_{ij} : representa la evaluación de la alternativa i respecto al criterio j que refiere una dimensión del espacio verdad, falsedad e indeterminación (T, I, F) .

4 Implementación del método multicriterio para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos

A continuación se realiza una descripción de la corrida por actividades del método neutrosófico multicriterio para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato.

Actividad 1: Identificación los criterios

Para la presente actividad se consultaron 7 expertos a partir de los cuales se identificaron los criterios evaluativos. La tabla 2 muestra los criterios resultantes.

Tabla 1: Criterios evaluativos para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato.

No	Criterios
C_1	Uso de GPS
C_2	Descripción del escenario en estudio
C_3	Obtención de fuerza a la rueda
C_4	Obtención de la demanda energética
C_5	Eficiencia energética

Descripción GPS usado

Para la obtención de datos pertenecientes al recorrido de rutas a ser evaluadas, se procedió al levantamiento de información mediante el uso de dispositivos GPS (Garmin Montana 650), tomando en cuenta que nos permite registrar los datos en intervalos con una frecuencia de un segundo. Los datos fueron descargados con el software DNR GPS y procesados en Excel con la siguiente información georreferenciada:

Tabla 2. Datos obtenidos del GPS Garmin.

Parámetro	Unidad
Velocidad	$\left[\frac{m}{s}\right]$
Altitud	[m.s.n.m]
Tiempo	[s]
Latitud	°
Longitud	°
Frecuencia de datos	f=1[s]

Descripción del escenario en estudio.

Por su ubicación estratégica, la ciudad de Ambato tiene características que la hacen única respecto a otras ciudades del Ecuador. Está situada a 2.600 metros de altitud, en una hondonada formada por mesetas, asentadas sobre llanuras de depósitos volcánicos; donde la mancha urbana está creciendo rápidamente, generando una dinámica de desplazamiento poblacional del campo a la ciudad y, a su vez, migración interna del campo a la ciudad por su vocación comercial y manufacturera que genera mayor desarrollo del territorio [28], [31], [35].

La morfología de Ambato presenta pendientes irregulares, que impiden la urbanización y la generación de infraestructura vial con facilidad, así como el paso del río Ambato que atraviesa transversalmente la ciudad sectorizándola en diferentes plataformas. En relación a la movilidad urbana, el plan de movilidad urbana sostenible menciona que el 48% de los viajes de Ambato se concentran en transporte público (autobuses, taxis, transporte escolar, taxi de ruta y vehículos informales), mientras que el 52% corresponde al transporte privado (automóvil, moto, bicicleta, caminar y otros). Además, los viajes no motorizados o sostenibles cubren sólo el 13% de la participación (caminando y en bicicleta), mientras que los viajes motorizados o no sostenibles representan el 87% del total.

Obtención de fuerza a la rueda

El gasto energético de un vehículo eléctrico depende directamente de la fuerza necesaria para mover la masa del vehículo y la distancia recorrida en un tiempo determinado, razón por la cual la intervención de la dinámica vehicular cumple un papel fundamental para la estimación de requerimientos energéticos.

El cálculo de la fuerza a la rueda, es el resultado de la sumatoria de cuatro fuerzas que se oponen al movimiento, éstas son: la resistencia de arrastre, la resistencia a la inercia, la resistencia a la rodadura y la resistencia a la pendiente. Las fuerzas son parte del cálculo energético y de potencia del vehículo. Es posible realizar un análisis de demanda energética para saber que energía es requerida para que un vehículo se desplace una distancia determinada a una velocidad en un tiempo determinado.

En la siguiente gráfica se detallan las ecuaciones que intervienen en el análisis de fuerza en la rueda con todas sus consideraciones.

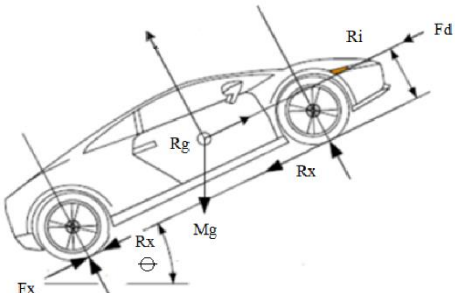
$x = \text{Fuerza de propulsión [N]}$	
	
$F_x = F_d + R_x + R_i + R_g$	
$F_d = \text{Fuerza de arrastre [N]}$	
$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho_a A V^2$	<i>C_d</i> = Coeficiente de arrastre [-] <i>ρ_a</i> = Densidad del aire [kg/m ³] <i>A</i> = Área frontal del vehículo [m ²] <i>V</i> = Velocidad [m/s]
$R_x = \text{Resistencia a la rodadura [N]}$	
$R_x = f_r M g \text{Cos}\theta$	<i>f_r</i> = Coef. de resistencia a la rodadura [-] <i>M</i> = Masa [kg] <i>g</i> = gravedad [m/s ²] <i>θ</i> = Pendiente del camino [rad]
$R_i = \text{Resistencia debida a la inercia}$	
$R_i = M a$	<i>M</i> = Masa [kg] <i>a</i> = Aceleración [m/s ²]
$R_g = \text{Resistencia a la pendiente [N]}$	
$R_g = M g \text{Sen}\theta$	<i>M</i> = Masa [kg] <i>g</i> = gravedad [m/s ²] <i>θ</i> = Pendiente del camino [rad]

Figura 2. Ecuaciones de dinámica vehicular para el cálculo de la fuerza de propulsión.

Obtención de demanda energética

Para obtener la energía positiva requerida en la batería se parte del torque demandado por el motor.

$$= \frac{(F_x + (M(1 + 0.04Ntdi + 0.0025Ntdi^2) - M) * a) * Rd}{Ntdi * ntd} \tag{4}$$

Donde:

- τ_m es el torque demandado en el motor
- $Ntdi$ es la relación de transmisión final
- ntd es la eficiencia de la transmisión
- M es la masa del vehículo
- a es la aceleración

Una vez obtenido el torque demandado por el motor, se puede obtener la potencia de salida del motor eléctrico con:

$$P_m = \tau_m * Wm \tag{5}$$

Donde:

- P_m es la potencia entregada del motor
- Wm es la velocidad angular del motor

Debido a que los motores eléctricos tienen pérdidas al funcionar, la potencia a la entrada del motor es mayor que la potencia de salida, esta diferencia depende directamente de la eficiencia del motor.

$$P_{m(entrada)} = \frac{P_m}{\eta_{motor}} \tag{6}$$

Donde:

- $P_{m(entrada)}$ es la potencia que recibe el motor
- η_{motor} es la eficiencia del motor eléctrico

Finalmente es posible determinar la energía que se requiere de la batería para que el motor funcione frente a los requerimientos de la ruta mediante la ecuación (7).

$$E_{(bateria)} = \int P_{m(entrada)} dt \quad (7)$$

Donde:

- $E_{(bateria)}$ es la energía requerida por la batería

Eficiencia energética

Este criterio evalúa cuánta energía consume el autobús eléctrico en comparación con su capacidad de transporte. Se mide en términos de kilovatios-hora por kilómetro (kWh/km) y tiene en cuenta la eficiencia del motor, la aerodinámica del vehículo, y cualquier pérdida de energía durante el proceso de carga. Una alta eficiencia energética indica que el autobús utiliza menos energía para realizar su recorrido.

Actividad 2: Determinación los pesos de los criterios

La actividad emplea un enfoque multiexperto para la determinación de los vectores de pesos asociados a los criterios para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato. La actividad representa la base para el procesamiento de las inferencias. La tabla 3 muestra el resultado de los vectores de pesos atribuidos a los síntomas para determinar prevalencia.

Tabla 3: Pesos asociados a los criterios para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos.

Criterios evaluativos	Pesos neutrosóficos asociados
C_1	(0.9, 0.1, 0.1)
C_2	(0.9, 0.1, 0.1)
C_3	(0.8,0,15,0.20)
C_4	(1,0,0)
C_5	(1,0,0)

Actividad 3: Evaluación de los criterios

Para obtener los resultados a partir de los métodos propuestos se hace uso de la Neutrosofía y en particular de la escala lingüística, S , $v_{k_j} \in S$, donde; $S = \{s_1, \dots, s_g\}$, es el conjunto de término lingüísticos definidos para evaluar las características ck utilizando los números Neutrosóficos de Valor Único (SVN), para el análisis de los términos lingüísticos resultantes. La escala de términos lingüísticos a utilizar se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Escala de términos lingüísticos.

Término lingüístico	Números SVN
Extremadamente buena (EB)	(1,0,0)
Muy muy buena (MMB)	(0.9, 0.1, 0.1)
Muy buena (MB)	(0.8,0,15,0.20)
Buena (B)	(0.70,0.25,0.30)
Medianamente buena (MDB)	(0.60,0.35,0.40)
Media (M)	(0.50,0.50,0.50)
Medianamente mala (MDM)	(0.40,0.65,0.60)
Mala (MA)	(0.30,0.75,0.70)
Muy mala (MM)	(0.20,0.85,0.80)
Muy muy mala (MMM)	(0.10,0.90,0.90)
Extremadamente mala (EM)	(0,1,1)

Basado en los resultados obtenidos, se utiliza la Neutrosofía para cuantificar la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato. El análisis se realiza a partir de la escala de términos lingüísticos y los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Tabla para expresar las preferencias del análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos.

Crterios evaluativos	Etiqueta Lingüística	Valor Neutrosófico
C_1	Medianamente buena (MDB)	(0.60,0.35,0.40)
C_2	Buena (B)	(0.70,0.25,0.30)
C_3	Muy muy buena (MMB)	(0.9, 0.1, 0.1)
C_4	Muy buena (MB)	(0.8,0,15,0.20)
C_5	Muy muy buena (MMB)	(0.9, 0.1, 0.1)

A partir de la Ponderación Lineal Neutrosófica propuesta para el método, se realiza el cálculo para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato. La tabla 6 muestra los datos y el resultado del procesamiento a partir del cálculo de la ecuación 3.

Tabla 6: Resultados del procesamiento.

Crterios evaluativos	Valor neutrosófico de preferencia	Vector de peso neutrosófico	Cálculo
C_1	(1,0,0)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.95, 0.1, 0.1)
C_2	(1,0,0)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.95, 0.1, 0.1)
C_3	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.8,0,15,0.20)	(0.85,0,15,0.20)
C_4	(0.9, 0.1, 0.1)	(1,0,0)	(0.95, 0.1, 0.1)
C_5	(0.8,0,15,0.20)	(1,0,0)	(0.9, 0.1, 0.1)
Inferencia			(0.92,0.15,0.15)

A partir de la inferencia obtenida se concluye que la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato se encuentra valorada para el caso objeto de estudio como muy bueno con un índice de 0.92.

Para el análisis de las 13 rutas establecidas se tomó en cuenta el número de buses y frecuencias que conforman cada ruta, las vueltas que hace cada bus y cuántas vueltas realiza por día.

Tabla 7. Descripción de las rutas evaluadas.

Ruta	Buses	Vuelta	
		Bus	Total (Ruta)
		[No.]	[No.]
1	11	8	88
2	22	2	44
3	11	9	99
4	11	9	99
5	10	5	50
6	21	4	84
7	18	7	126
8	29	6	174
9	26	7	182
10	25	5	125

Ruta	Buses	Vuelta	
		Bus	Total (Ruta)
		[No.]	[No.]
11	16	7	112
12	16	7	112
13	15	5	75

Una vez obtenido esta información base se analiza la descripción de las distancias recorridas en las rutas evaluadas en función a su frecuencia.

Tabla 8. Descripción de distancias recorridas.

Ruta	Altitud		Distancia (Ruta)		
	Max	Min	Vuelta	Bus	Total
	[m]	[m]	[km]	[km]	[km]
1	2665.90	2522.20	38.20	305.60	3361.60
2	2853.50	2518.70	25.90	51.80	1139.60
3	2892.40	2470.10	38.20	343.80	3781.80
4	2800.60	2468.50	38.20	343.80	3781.80
5	2746.00	2479.50	38.20	191.00	1910.00
6	2707.30	2521.40	40.20	160.80	3376.80
7	2920.00	2553.70	31.00	217.00	3906.00
8	2844.70	2470.10	62.00	372.00	10788.00
9	3025.10	2479.70	62.00	434.00	11284.00
10	2729.80	2522.70	38.20	191.00	4775.00
11	2716.40	2469.50	18.20	127.40	2038.40
12	2862.10	2522.30	28.00	196.00	3136.00
13	2745.20	2561.30	35.40	177.00	2655.00

A manera de resultados se presenta la demanda energética de las rutas evaluadas con su respectivo rendimiento de kilómetros recorridos por kWh consumido. Se toma en cuenta el recorrido por vuelta, recorrido por bus y el total de frecuencia.

Tabla 9. Resultados obtenidos.

Ruta	Vuelta	Bus	Total	Performance
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[km/kWh]
1	37.78	302.24	3324.64	8.09
2	37.4	74.8	1645.6	1.39
3	66.2	595.8	6553.8	5.19
4	22.56	203.04	2233.44	15.24
5	78.94	394.7	3947	2.42
6	52.66	210.64	4423.44	3.05
7	68.06	476.42	8575.56	3.19
8	56.94	341.64	9907.56	6.53
9	47.82	334.74	8703.24	9.08
10	50.72	253.6	6340	3.77
11	76.68	536.76	8588.16	1.66
12	54.32	380.24	6083.84	3.61

Routa	Vuelta	Bus	Total	Performance
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[km/kWh]
13	24.12	120.6	1809	7.34
Total	0.67	4.23	72.14	[GWh]

5 Discusión

Las variables analizadas en esta investigación fueron la velocidad instantánea y la pendiente, cada una de ellas en función del tiempo y la posición obtenida a través del GPS. Todas las variables, junto con las especificaciones técnicas del medio de transporte y magnitudes ideales para el cálculo, alimentan las ecuaciones de dinámica vehicular para obtener la demanda energética necesaria para circular con un autobús eléctrico por las rutas evaluadas.

La información proporcionada por la administración de la ciudad de Ambato, más la base de datos generada, permitió conocer las características del servicio de transporte público, su distribución de rutas, las frecuencias respectivas y la geomorfología de las vías pertenecientes al área de estudio, teniendo en cuenta que la altitud influye directamente en el cálculo dinámico de las necesidades energéticas.

Se debe tener en cuenta la dinámica espacial del territorio, ya que ésta es un factor determinante para definir la viabilidad y optimización de una ruta de transporte, implicando la convergencia de todas las rutas en el centro de la ciudad. El modelo presentado muestra el resultado de la energía requerida por la incorporación masiva de vehículos eléctricos en la ciudad de Ambato, luego de analizar las variables velocidad, pendiente y considerando que el recorrido más largo es de 62Km y la altitud con mayor elevación registrada es de 3,025 metros sobre el nivel del mar el nivel del mar.

La metodología propuesta en esta investigación puede ser replicada en otras ciudades del Ecuador, una vez que se cuente con los datos correspondientes a las rutas de transporte de las ciudades a analizar y considerando las variables propuestas.

Conclusión

A partir del método propuesto se obtuvo la evaluación del análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato. A partir de la implementación del método fue posible la evaluación multicriterio neutrosófica para el análisis de la energía requerida por la incorporación de buses eléctricos en la Ciudad de Ambato.

Del análisis de la demanda energética correspondiente a las rutas de transporte urbano de la ciudad estudiada, bajo las consideraciones metodológicas descritas anteriormente para la aplicación de las ecuaciones de dinámica vehicular, se obtienen valores de requerimiento energético diario de 72.14 [GWh] para cubrir las rutas evaluadas, estableciendo la demanda promedios que cubrirían 51,86 [kWh] por ciclo de conducción, 325,02 [kWh] por autobús cumpliendo con el número de ciclos diarios y 5548 [GWh] para cubrir las rutas con todas las frecuencias.

Referencias

- [1] G. del Ecuador, "Ley orgánica de eficiencia energética," Quito: Registro Oficial, 2019.
- [2] S. G. Pazmay Ramos, and D. L. Rojas, "Clima laboral en empresas ecuatorianas fabricantes de carrocerías: Caso CANFAC," *Podium*, no. 37, pp. 15-26, 2020.
- [3] S. Broumi, and F. Smarandache, "Cosine similarity measure of interval valued neutrosophic sets," *Infinite Study*, 2014.
- [4] I. Deli, S. Broumi, and F. Smarandache, "On neutrosophic refined sets and their applications in medical diagnosis," *Journal of new theory*, no. 6, pp. 88-98, 2015.
- [5] M. R. Hashmi, M. Riaz, and F. Smarandache, "m-Polar neutrosophic topology with applications to multi-criteria decision-making in medical diagnosis and clustering analysis," *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 22, pp. 273-292, 2020.
- [6] J. F. Ramírez Pérez, M. Leyva Vázquez, M. Morejón Valdes, and D. Olivera Fajardo, "Modelo computacional para la recomendación de equipos de trabajo quirúrgico combinando técnicas de inteligencia organizacional," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 10, no. 4, pp. 28-42, 2016.
- [7] I. A. González, A. J. R. Fernández, and J. E. Ricardo, "Violación del derecho a la salud: caso Albán Comejo Vs Ecuador," *Universidad Y Sociedad*, vol. 13, no. S2, pp. 60-65, 2021.
- [8] G. Á. Gómez, J. V. Moya, J. E. Ricardo, and C. V. Sánchez, "La formación continua de los docentes de la educación superior como sustento del modelo pedagógico," *Revista Conrado*, vol. 17, no. S1, pp. 431-439, 2021.
- [9] S. D. Álvarez Gómez, A. J. Romero Fernández, J. Estupiñán Ricardo, and D. V. Ponce Ruiz, "Selección del docente tutor basado en la calidad de la docencia en metodología de la investigación," *Conrado*, vol. 17, no. 80, pp. 88-94, 2021.

- [10] L. A. P. Florez, and Y. L. Rodríguez-Rojas, "Procedimiento de Evaluación y Selección de Proveedores Basado en el Proceso de Análisis Jerárquico y en un Modelo de Programación Lineal Entera Mixta," *Ingeniería*, vol. 23, no. 3, pp. 230-251, 2018.
- [11] E. M. García Nové, "Nuevos problemas de agregación de rankings: Modelos y algoritmos," 2018.
- [12] M. Leyva-Vázquez, F. Smarandache, and J. E. Ricardo, "Artificial intelligence: challenges, perspectives and neutrosophy role.(Master Conference)," *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valore*, vol. 6, no. Special, 2018.
- [13] O. Mar Cornelio, Y. Zulueta Véliz, and M. Leyva Vázquez, "Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la evaluación del desempeño en la Universidad de las Ciencias Informáticas," 2014.
- [14] R. Bello, A. Puris, A. Nowe, Y. Martínez, and M. M. García, "Two step ant colony system to solve the feature selection problem." pp. 588-596.
- [15] O. Mar, I. Santana, YunweiChen, and G. Jorge, "Model for decision-making on access control to remote laboratory practices based on fuzzy cognitive maps," *Revista Investigación Operacional*, vol. 45, no. 3, pp. 369-380, 2024.
- [16] F. Smarandache, "A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic," *Philosophy*, pp. 1-141, 1999.
- [17] J. E. Ricardo, M. Y. L. Vázquez, A. J. P. Palacios, and Y. E. A. Ojeda, "Inteligencia artificial y propiedad intelectual," *Universidad y Sociedad*, vol. 13, no. S3, pp. 362-368, 2021.
- [18] F. Smarandache, J. E. Ricardo, E. G. Caballero, M. Y. L. Vasquez, and N. B. Hernández, "Delphi method for evaluating scientific research proposals in a neutrosophic environment," *Neutrosophic Sets and Systems*, pp. 204, 2020.
- [19] B. B. Fonseca, and O. Mar, "Implementación de operador OWA en un sistema computacional para la evaluación del desempeño," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 2021.
- [20] R. G. Ortega, M. Rodríguez, M. L. Vázquez, and J. E. Ricardo, "Pestel analysis based on neutrosophic cognitive maps and neutrosophic numbers for the sinos river basin management," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 16, 2019.
- [21] M. Leyva-Vázquez, and F. Smarandache, *Computación neutrosófica mediante Sympy: Infinite Study*, 2018.
- [22] M. L. Vázquez, and F. Smarandache, *Neutrosofía: Nuevos avances en el tratamiento de la incertidumbre: Infinite Study*, 2018.
- [23] J. González, and O. Mar, "Algoritmo de clasificación genética para la generación de reglas de clasificación," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 8, no. 1, pp. 1-14, 2015.
- [24] H. Wang, F. Smarandache, R. Sunderraman, and Y. Q. Zhang, *Interval Neutrosophic Sets and Logic: Theory and Applications in Computing: Theory and Applications in Computing: Hexis*, 2005.
- [25] J. E. Ricardo, V. M. V. Rosado, J. P. Fernández, and S. M. Martínez, "Importancia de la investigación jurídica para la formación de los profesionales del Derecho en Ecuador," *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2020.
- [26] J. E. Ricardo, J. J. D. Menéndez, and R. L. M. Manzano, "Integración universitaria, reto actual en el siglo XXI," *Revista Conrado*, vol. 16, no. S 1, pp. 51-58, 2020.
- [27] J. E. Ricardo, N. B. Hernández, R. J. T. Vargas, A. V. T. Suntaxi, and F. N. O. Castro, "La perspectiva ambiental en el desarrollo local," *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2017.
- [28] J. E. Sanmartín Jiménez, "El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, aporte a la Gestión Integral del desarrollo local sostenible, en la localidad del Cantón Arenillas," 2023.
- [29] von Feigenblatt, O. F., & Ricardo, J. E. "The challenge of sustainability in developing countries: the case of Thailand". *Universidad y Sociedad*, Vol 15 núm 4, pp 394-402, 2023.
- [30] Estupiñán Ricardo, J., Domínguez Menéndez, JJ, Barcos Arias, IF, Macías Bermúdez, JM, & Moreno Lemus, N. "K-medias neutrosóficas para el análisis de datos de terremotos en Ecuador". *Conjuntos y sistemas neutrosóficos* , vol 44 núm 1, pp 29, 2021.
- [31] Ricardo, J. E., Vázquez, M. Y. L., Banderas, F. J. C., & Montenegro, B. D. N. "Aplicación de las ciencias neutrosóficas a la enseñanza del derecho". *Infinite Study*, 2022.
- [32] Hernández, N. B., Yelandi, L. V. M., Ricardo, J. E., & Manzano, R. L. M. "Análisis prospectivo del estado actual de la carrera de derecho en la sede Babahoyo de la universidad UNIANDÉS". *Revista Conrado*, Vol 19 núm (S2), pp 505-513, 2023.
- [33] Anilema, C. A. M., Ricardo, J. E., & Mosquera, G. A. C. "La desnaturalización del derecho a la libertad de expresión como consecuencia de la conducta de incitación al odio en el ámbito político, en redes sociales, en Ecuador en las elecciones presidenciales en el año 2021". *Debate Jurídico Ecuador*, vol 7 núm (1), pp 17-33, 2024.
- [34] Parra, H. C., Moreno, N. L., Rivera, G., & Estupiñán, J. "Factores implicados en la decisión para cateterismo cardiaco en pacientes octogenarios con Síndrome Coronario Agudo", 2011.
- [35] Estupiñán Ricardo, J., Leyva Vázquez, M., & Romero Fernández, A. "Evaluación del aprendizaje basado en proyectos". *Investigación Operacional*, vol 43 núm (3), pp 409-419, 2022.

Recibido: mayo 28, 2024. **Aceptado:** junio 17, 2024