



Método neutrosófico para la evaluación del impacto de los vehículos eléctricos basado en la infraestructura de carga y sostenibilidad

Neutrosophic method for electric vehicle impact assessment based on charging infrastructure and sustainability

Esteban Fernando López Espinel¹, Juan Diego Zurita Vargas², Vinicio Sebastián Ribadeneira Ramírez³, and Antonio Gabriel Castillo Medina⁴

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.estebanle84@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.juanzy40@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.viniciorr76@uniandes.edu.ec

⁴ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.antoniocastillo@uniandes.edu.ec

Resumen. La movilidad eléctrica emerge como una solución clave para combatir el cambio climático y disminuir la dependencia de combustibles fósiles. La transición hacia vehículos eléctricos (VE) promete reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la sostenibilidad ambiental. No obstante, el crecimiento del mercado de VE demanda una infraestructura de carga eficiente, accesible y confiable, capaz de satisfacer las necesidades de la movilidad eléctrica incluso en escenarios de escasez energética. La evolución de los VE, desde modelos experimentales hasta opciones competitivas, subraya la importancia de una infraestructura de carga robusta, respaldada por tecnologías avanzadas como estaciones de carga rápida y sistemas de almacenamiento de energía, facilitando así su adopción masiva. Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un método neutrosófico para evaluar el impacto de los vehículos eléctricos, considerando la infraestructura de carga y la sostenibilidad. El resultado de este estudio busca ofrecer una visión integral de los avances, desafíos y oportunidades relacionados con la instalación de estaciones de recarga para vehículos eléctricos.

Palabras Claves: números neutrosófico, vehículos eléctricos, infraestructura de carga de vehículos eléctricos, autonomía de vehículos eléctricos, sostenibilidad.

Abstract. Electric mobility is emerging as a key solution to combat climate change and reduce dependence on fossil fuels. The transition to electric vehicles (EVs) promises to reduce greenhouse gas emissions and promote environmental sustainability. However, the growth of the EV market demands an efficient, accessible and reliable charging infrastructure, capable of meeting the needs of electric mobility even in scenarios of energy scarcity. The evolution of EVs, from experimental models to competitive options, underlines the importance of a robust charging infrastructure, supported by advanced technologies such as fast-charging stations and energy storage systems, thus facilitating their mass adoption. This research aims to develop a neutrosophic method to assess the impact of electric vehicles, considering charging infrastructure and sustainability. The result of this study seeks to offer a comprehensive view of the advances, challenges and opportunities related to the installation of charging stations for electric vehicles.

Keywords: neutrosophic numbers, electric vehicles, electric vehicle charging infrastructure, electric vehicle autonomy, sustainability

1 Introducción

En los últimos años, la industria automotriz ha intensificado su enfoque en la sostenibilidad ambiental, buscando potencializar el factor sustentable de la economía y enfatizando la eficiencia energética dentro del sector del transporte [1]. Este cambio de paradigma se manifiesta en la creciente adopción de la movilidad eléctrica como una solución crucial para mitigar el cambio climático y reducir la dependencia de los combustibles fósiles [2]. El

aumento en la demanda de vehículos eléctricos (VE) exige la implementación de soluciones innovadoras para la carga, capaces de satisfacer las crecientes necesidades energéticas en diversos territorios.

Dentro de este contexto, la integración de fuentes de energía renovable, particularmente la energía solar, en la infraestructura de carga de VE se presenta como una alternativa viable para alcanzar la sostenibilidad energética. La combinación de la red eléctrica convencional con energía fotovoltaica tiene el potencial de reducir significativamente las emisiones promedio [3]. De hecho, se subraya que la huella de carbono se mitiga considerablemente cuando la carga de VE se realiza mediante energía solar o de forma mixta, integrada a la red eléctrica. Por lo tanto, la incorporación de paneles solares en estaciones de carga rápida se ha convertido en un foco de investigación para evaluar su viabilidad y eficiencia.

Diversos estudios proponen rutas de transición hacia una movilidad sostenible, donde la creciente adopción de VE ha generado un interés significativo en el desarrollo de marcos regulatorios y políticas nacionales que apoyen esta transformación [4]. Es fundamental considerar varios aspectos relacionados con las estaciones de carga, incluyendo la determinación de la potencia requerida en contraposición a la potencia instalada en la infraestructura. Se han propuesto metodologías para determinar la demanda de potencia, con el objetivo de reducir los costos asociados a pruebas y repotenciación de instalaciones. Además, [5] sugieren realizar evaluaciones estadísticas de las estaciones de carga rápida, considerando aspectos de la demanda relacionados con la autonomía de los vehículos y la eficiencia de las baterías a lo largo del tiempo.

El desarrollo y la evolución de los vehículos eléctricos han experimentado diversas etapas desde el siglo XIX hasta la actualidad. Los avances tecnológicos y una creciente conciencia ambiental han impulsado la adopción de VE como una solución viable y sostenible para el transporte. Los VE no solo ofrecen beneficios ambientales al reducir las emisiones de CO₂, sino que también presentan ventajas económicas, como menores costos de funcionamiento y mantenimiento. No obstante, la autonomía de los VE sigue siendo un factor crítico para su adopción masiva, y los avances en la tecnología de baterías son esenciales para mejorar la distancia que los VE pueden recorrer sin necesidad de recarga.

La infraestructura de carga se erige como un componente clave para el éxito de la movilidad eléctrica. La instalación de estaciones de carga debe ser eficiente y accesible para los usuarios de VE [6]. En este sentido, las estaciones de carga con energía solar representan una solución innovadora y sostenible, aprovechando una fuente de energía renovable y reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional. La optimización de la eficiencia y la fiabilidad de estas estaciones es fundamental para su implementación exitosa.

Los desafíos asociados con la implementación de estaciones de carga incluyen barreras técnicas, económicas y de políticas. Para superar estas barreras y promover la adopción de VE, es necesaria la cooperación entre los sectores público y privado. La integración de estaciones de carga solar con redes inteligentes, junto con la adopción de normativas y estándares adecuados, puede facilitar un crecimiento sostenible de la infraestructura de carga. En última instancia, la adopción de vehículos eléctricos y la implementación de estaciones de carga son fundamentales para avanzar hacia la movilidad eléctrica y la sostenibilidad ambiental [7]. Los avances en la tecnología de baterías y la infraestructura de carga son esenciales para superar los desafíos y aprovechar los beneficios de los VE. La cooperación entre diferentes sectores y la adopción de políticas públicas adecuadas son cruciales para promover un crecimiento sostenible y acelerado de la movilidad eléctrica [8].

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un método neutrosófico para evaluar el impacto de los vehículos eléctricos, considerando la infraestructura de carga y la sostenibilidad.

2 Diseño del método para la evaluación del impacto de los VE basado en la infraestructura de carga y sostenibilidad

Esta sección se centra en el diseño del método propuesto para evaluar el impacto de los vehículos eléctricos, considerando tanto la infraestructura de carga como la sostenibilidad. La etapa de procesamiento garantiza la inferencia a través de una serie de actividades interrelacionadas. Estas actividades comprenden: la identificación de los criterios evaluativos relevantes; la determinación de las relaciones causales entre dichos criterios; la obtención del Mapa Cognitivo Neutrosófico (MCN) resultante de estas relaciones; y la inferencia del proceso en su conjunto.

El MCN es una herramienta poderosa para modelar sistemas complejos, ya que permite representar las relaciones causales entre diferentes variables, así como el grado de incertidumbre asociado a estas relaciones. En el contexto de la evaluación del impacto de los VE, el MCN permite capturar la interdependencia entre factores como la disponibilidad de infraestructura de carga, la eficiencia energética, el impacto ambiental y los aspectos socio-económicos. Al modelar estas relaciones de manera explícita, el MCN facilita la comprensión de cómo las decisiones relacionadas con la infraestructura de carga pueden influir en la sostenibilidad general del sistema de movilidad eléctrica. La figura 1 ilustra el flujo detallado de la etapa de procesamiento, proporcionando una visión clara de la secuencia de actividades y la interconexión dentro del método propuesto.



Figura 1. Flujo de trabajo de la etapa de procesamiento.

Actividad 1: Identificación de los criterios evaluativos.

La actividad inicia con la identificación de los expertos que intervienen en el proceso. A partir del trabajo del grupo de experto se determinan los criterios que se tendrán en cuenta para la inferencia del proceso. La actividad utiliza un sistema de trabajo en grupo mediante un enfoque multicriterios. Formalmente se puede definir el problema de recomendación de la evaluación del impacto de los VE, mediante:

El número de indicadores evaluativos del proceso donde:

$$I = \{i_1, \dots, i_n\} \quad (1)$$

El número de expertos que interviene en la valoración multicriterio donde:

$$E = \{m_1, \dots, m_n\} \quad (2)$$

El resultado de la actividad es la obtención de los diferentes indicadores evaluativos sobre los perfiles de evaluación basado en la infraestructura de carga y sostenibilidad de los VE.

Actividad 2: determinación de las relaciones causales de los criterios.

Una vez obtenidos los criterios evaluativos, se determina las relaciones causales. Las relaciones causales constituyen la expresión de causalidad entre los diferentes criterios evaluativos. La determinación de las relaciones causales consiste en establecer a partir del trabajo en grupo la implicación entre conceptos. La información resultante representa el conocimiento primario para nutrir el proceso de inferencia.

Las relaciones causales son representadas por variables difusas expresadas como términos lingüísticos. En los modelos lingüísticos se suelen usar conjuntos de etiquetas lingüísticas con granularidad no superior a 13. Es común utilizar conjuntos de granularidad impar, donde existe una etiqueta central y el resto de las etiquetas se distribuyen simétricamente a su alrededor.

Actividad 3: obtención del MCN.

Durante la etapa de ingeniería del conocimiento cada experto expresa la relación que existe entre cada par de conceptos C_i y C_j del mapa. Entonces, para cada relación causal se obtienen K reglas con la siguiente estructura: Si C_i es A entonces C_j es B y el peso W_{ij} es C. Cada nodo constituye un concepto causal, esta característica hace que la representación sea flexible para visualizar el conocimiento humano. La matriz de adyacencia se obtiene a partir los valores asignados a los arcos [9].

Los valores que se obtienen por el grupo de experto que intervienen en el proceso son agregados conformándose el conocimiento general con las relaciones entre los criterios. La actividad obtiene como resultado el MCN resultante [10].

A partir de la obtención de las relaciones causales, se realiza el análisis estático [11]. Se toma de referencia el conocimiento almacenado en la matriz de adyacencia. Para el desarrollo del presente método se trabaja con el grado de salida tal como muestra la ecuación (3) [12].

$$id_i = \sum_{j=1}^n \|I_{ji}\| \quad (3)$$

Actividad 4: procesamientos de la inferencia:

El modelado de un sistema a través de un Mapa Cognitivo Neutrosófico (MCN) implica una representación dinámica que evoluciona con el tiempo. En este contexto, la activación de cada neurona o nodo dentro del MCN no es estática; en cambio, depende directamente del grado de activación de sus nodos antecedentes en la iteración

temporal previa [13, 14]. Esta característica es crucial, ya que refleja la interdependencia y la causalidad inherente a los sistemas complejos que el MCN busca representar.

El proceso de iteración continua, donde la activación de cada nodo influye en la activación de otros en el siguiente paso, permite simular el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo. Esta simulación se repite típicamente hasta que el sistema alcanza un estado de equilibrio o estabilidad, o hasta que se cumple un número máximo de iteraciones predefinido. La estabilización del sistema modelado por el MCN indica que las influencias entre los nodos han alcanzado un punto en el que no se producen cambios significativos en la activación de los mismos. Este punto de equilibrio puede ser interpretado como una predicción del estado futuro del sistema, dadas las condiciones y relaciones modeladas en el MCN. En esencia, el MCN no solo representa las relaciones causales, sino que también permite simular y predecir el comportamiento del sistema a medida que evoluciona en el tiempo.

El procesamiento para la inferencia, consiste en calcular el vector de estado A a través del tiempo, para una condición inicial A^0 [15]. De forma análoga a otros sistemas neuronales, la activación de C_i dependerá de la activación las neuronas que inciden directamente sobre el concepto C_i y de los pesos causales asociados a dicho concepto. La ecuación 6 muestra la expresión utilizada para el procesamiento.

$$A_i^{(K+1)} = f\left(A_i^{(K)} \sum_{j=1; j \neq i}^n A_j^{(K)} * W_{ji}\right) \quad (4)$$

Donde:

$A_i^{(K+1)}$: es el valor del concepto C_i en el paso k+1 de la simulación,

$A_i^{(K)}$: es el valor del concepto C_j en el paso k de la simulación,

W_{ji} : es el peso de la conexión que va del concepto C_j al concepto C_i y $f(x)$ es la función de activación.

Los sistemas inestables pueden ser totalmente caóticos o cíclicos, y son frecuentes en modelos continuos. El proceso de inferencia en un MCN puede mostrar una de las siguientes características:

- Estados de estabilidad: si $\exists tk \in \mathbb{N}: A_i^{(t+x)} = A_i^{(t)} \forall t > tk$ por tanto, después de la iteración tk el MCN producirá el mismo vector de estado. Después esta configuración es ideal, pues representa la codificación de un patrón oculto en la causalidad [16].
- Estados cíclicos: si $\exists tk, P \in \mathbb{N}: A_i^{(t+p)} = A_i^{(t)} \forall t > tk$. El mapa tiene un comportamiento cíclico con periodo P . En este caso el sistema producirá el mismo vector de estado cada P -ciclos del proceso de inferencia [17].
- Estado caótico: el mapa produce un vector de estado diferente en cada ciclo. Los conceptos siempre varían su valor de activación [18].

3 Implementación del método neutrosófico para la evaluación del impacto de los VE basado en la infraestructura de carga y sostenibilidad

La presente sección ilustra la implementación del método propuesto para evaluar el impacto de los VE basado en la infraestructura de carga y sostenibilidad. Se describe un estudio de caso centrado en un parque de vehículos eléctricos en Ecuador, donde se llevará a cabo un análisis exhaustivo del impacto del uso y generalización de estos vehículos. A continuación se describen los resultados del estudio:

Actividad 1 Identificación de los criterios evaluativos:

El panel de expertos consultados para la identificación de los criterios evaluativos en este estudio estuvo compuesto por cinco profesionales con experiencia y conocimientos específicos en las siguientes áreas:

- Experto 1: Ingeniero eléctrico con especialización en sistemas de potencia y energías renovables. Este experto posee más de 10 años de experiencia en el diseño e implementación de sistemas de generación distribuida con energías renovables, incluyendo la integración de paneles solares en estaciones de carga para vehículos eléctricos. Su experiencia se centra en la optimización de la eficiencia energética y la gestión de la demanda en redes eléctricas inteligentes.
- Experto 2: Ingeniero ambiental con enfoque en evaluación de impacto ambiental y sostenibilidad. Con una trayectoria de 8 años en consultoría ambiental, este experto ha participado en numerosos estudios de impacto ambiental relacionados con proyectos de infraestructura, incluyendo la evaluación de los beneficios ambientales de la adopción de vehículos eléctricos en términos de reducción de emisiones y mejora de la calidad del aire.
- Experto 3: Economista con experiencia en análisis de costo-beneficio de proyectos de movilidad sostenible. Este economista ha trabajado durante 12 años en la evaluación económica de proyectos de

transporte público y movilidad sostenible, incluyendo la estimación de los costos y beneficios asociados con la adopción de vehículos eléctricos, como la reducción de costos de operación y mantenimiento, y el impacto en la economía local.

- Experto 4: Planificador Urbano con experiencia en diseño de infraestructura para vehículos eléctricos. Este experto ha trabajado durante 15 años en la planificación y diseño de infraestructura urbana, incluyendo la ubicación estratégica de estaciones de carga para vehículos eléctricos, considerando factores como la densidad de población, el flujo de tráfico y la disponibilidad de espacio público.
- Experto 5: Especialista en políticas públicas y regulación del sector energético. Con una experiencia de 7 años en el sector público, este experto ha participado en la formulación e implementación de políticas públicas y regulaciones relacionadas con la eficiencia energética, la movilidad sostenible y la promoción de energías renovables. Su trabajo se centra en la creación de incentivos para la adopción de vehículos eléctricos y el desarrollo de una infraestructura de carga accesible y confiable.

Este panel multidisciplinario asegura una visión integral y balanceada de los aspectos técnicos, ambientales, económicos y sociales relacionados con la evaluación del impacto de los vehículos eléctricos y su infraestructura de carga, garantizando la pertinencia y validez de los criterios evaluativos identificados.

El grupo de expertos consultados representa la base para la definición de los criterios evaluativos y las relaciones causales. A partir del trabajo realizado por el grupo de expertos se identificaron el conjunto de criterios. La tabla 1 muestra el resultado de los criterios identificados.

Tabla 1. Criterios evaluativos.

No.	Criterios
1	Eficiencia energética de la infraestructura de carga: Este criterio evalúa la eficiencia con la que la infraestructura de carga suministra energía a los VE. Se considera la cantidad de energía perdida durante el proceso de carga, la optimización del uso de la red eléctrica y la integración de fuentes de energía renovables, como la solar, en la infraestructura. Una alta eficiencia energética implica un menor consumo de energía primaria para cargar los VE, lo que reduce la huella de carbono y los costos operativos. Se evalúan métricas como la tasa de conversión de energía, las pérdidas en el sistema de carga y el uso de sistemas de gestión de energía inteligentes.
2	Impacto ambiental de la generación de energía para la carga: Este criterio mide el impacto ambiental asociado con la generación de la energía utilizada para cargar los VE. Se considera el origen de la energía (fuentes renovables vs. combustibles fósiles), las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes atmosféricos. Un menor impacto ambiental implica una mayor proporción de energía renovable en la mezcla energética y menores emisiones de GEI. Se evalúan métricas como las emisiones de CO ² por kWh de energía consumida, el uso de energías renovables y la implementación de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono.
3	Disponibilidad y accesibilidad de la infraestructura de carga: Este criterio evalúa la disponibilidad y accesibilidad de las estaciones de carga para los usuarios de VE. Se considera la cantidad de estaciones de carga disponibles, su ubicación estratégica, los tiempos de carga, la interoperabilidad de los sistemas de carga y la facilidad de acceso para diferentes tipos de usuarios. Una alta disponibilidad y accesibilidad implica una mayor comodidad para los usuarios de VE, lo que fomenta su adopción y uso. Se evalúan métricas como la densidad de estaciones de carga por kilómetro cuadrado, los tiempos de espera promedio, la cobertura geográfica y la disponibilidad de diferentes tipos de conectores.
4	Impacto socioeconómico de la adopción de VE y la infraestructura de carga: Este criterio evalúa los efectos socioeconómicos de la adopción de VE y la implementación de la infraestructura de carga. Se considera la creación de empleos, el desarrollo de nuevas industrias, la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, la mejora de la calidad del aire y los beneficios para la salud pública. Un impacto socioeconómico positivo implica un mayor bienestar para la sociedad en su conjunto. Se evalúan métricas como la creación de empleos directos e indirectos, el aumento del PIB, la reducción de costos de salud y la mejora de la calidad de vida.

Actividad 2 determinaciones de las relaciones causales de los criterios:

Para la identificación de las relaciones causales se obtuvo la información del grupo de expertos que participa en el proceso. Como resultado se identificaron 5 matrices de adyacencia con el conocimiento expresado por cada experto. Las matrices pasaron por un proceso de agregación en la que se genera como resultado final una matriz de adyacencias resultante. La tabla 2 muestra la matriz de adyacencia resultante del proceso.

Tabla 2. Matriz de adyacencia de los criterios evaluativos.

	C₁	C₂	C₃	C₄
C₁	[0.00]	[1,0,0]	[0.90,0,15,0.20]	[1,0,0]
C₂	[1,0,0]	[0.00]	[0.8,0,15,0.20]	[1,0,0]
C₃	[0.90,0,15,0.20]	[0.8,0,15,0.20]	[0.00]	[0.90,0,15,0.20]
C₄	[1,0,0]	[1,0,0]	[1,0,0]	[0.00]

Actividad 3 obtención del MCN:

Una vez obtenidos los indicadores evaluativos y sus relaciones causales correspondientes en la actividad 2, se realiza la representación del conocimiento en el MCN resultante.

Actividad 4 procesamientos de la inferencia:

La matriz de adyacencia posee el conocimiento necesario para determinar los pesos atribuidos a cada indicador evaluativo. Para calcular los pesos, se emplea la ecuación 3. La tabla 3 muestra los resultados del cálculo realizado.

Tabla 3: Peso atribuido a los criterios evaluativos

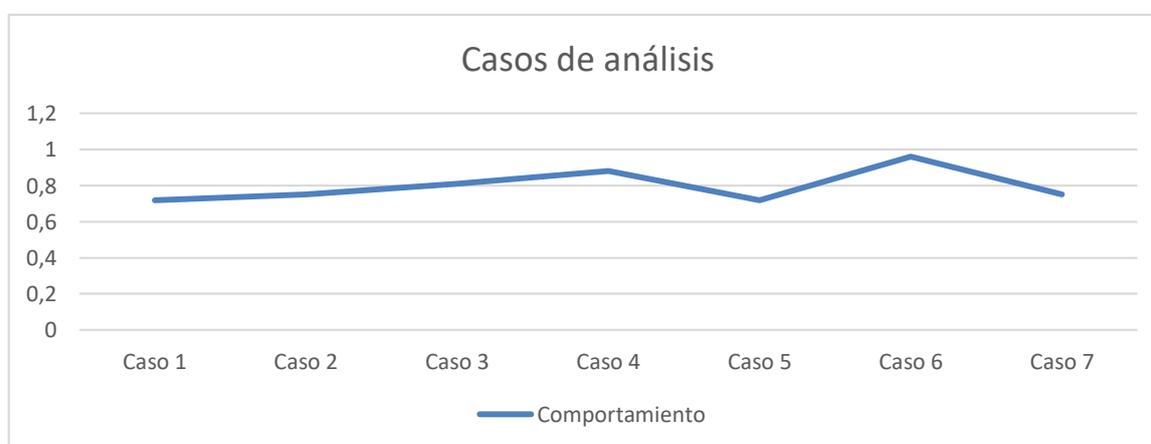
ID	Criterio evaluativo	Peso
C ₁	Eficiencia energética de la infraestructura de carga	[0.96,0,15,0.20]
C ₂	Impacto ambiental de la generación de energía para la carga	[0.93,0,15,0.20]
C ₃	Disponibilidad y accesibilidad de la infraestructura de carga	[0.86,0,15,0.20]
C ₄	Impacto socioeconómico de la adopción de VE y la infraestructura de carga	[1,0,0]

Una vez determinado los pesos de los indicadores. Se determinan las preferencias del comportamiento de 7 casos de análisis. Las tabla 4 muestran los resultados del cálculo realizado.

Tabla 4: Cálculo de preferencias atribuidas al impacto de la rabia bovina en la ganadería.

Criterio	Peso	Preferencia	Agregación
C ₁	[0.96,0,15,0.20]	[1,0,0]	[0.98,0,15,0.20]
C ₂	[0.93,0,15,0.20]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.91,0,15,0.20]
C ₃	[0.86,0,15,0.20]	[1,0,0]	[0.93,0,15,0.20]
C ₄	[1,0,0]	[1,0,0]	[1,0,0]
Índice			[0.95,0,15,0.20]

La figura 2 muestra una gráfica las preferencias del comportamiento de 7 casos de análisis.

**Figura 2.** Comportamiento de los diferentes casos de análisis.

A partir de la simulación, se identificaron los casos 2, 4 y 7 como los más críticos. Estos casos son descritos a continuación:

Caso 2: Este caso se caracteriza por una limitada disponibilidad de estaciones de carga en relación con la alta demanda de los usuarios del parque de vehículos eléctricos. La insuficiente infraestructura genera largas colas y tiempos de espera prolongados para la carga, lo que disminuye la comodidad y la eficiencia para los usuarios. Adicionalmente, la red eléctrica existente no está preparada para soportar la alta demanda, lo que ocasiona fluctuaciones en el suministro y posibles cortes de energía. El impacto ambiental de la generación de energía para la carga es elevado debido a la dependencia de fuentes no renovables y la ineficiencia en la distribución. Socioeconómicamente, la falta de infraestructura limita el crecimiento del parque de vehículos eléctricos y desincentiva la adopción de esta tecnología.

Caso 4: En este escenario, la infraestructura de carga presenta una baja eficiencia energética, lo que significa que una proporción significativa de la energía se pierde durante el proceso de carga. Esto se debe a la utilización de tecnologías obsoletas y la falta de mantenimiento adecuado. Adicionalmente, la energía utilizada para cargar los vehículos proviene principalmente de fuentes no renovables, como plantas termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que genera un alto impacto ambiental en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación del aire. El impacto socioeconómico es negativo, ya que la dependencia de combustibles fósiles perpetúa la vulnerabilidad ante la volatilidad de los precios del petróleo y contribuye a problemas de salud pública derivados de la contaminación.

Caso 7: Este caso se caracteriza por una falta de planificación y diseño adecuado de la infraestructura de carga, lo que resulta en una ubicación ineficiente de las estaciones, una falta de interoperabilidad entre los diferentes sistemas de carga y una limitada accesibilidad para los usuarios. La falta de planificación también se traduce en una inadecuada gestión de la demanda, lo que genera problemas de congestión en la red eléctrica y dificultades para integrar fuentes de energía renovables. El impacto socioeconómico es negativo, ya que la falta de planificación limita el potencial de crecimiento del parque de vehículos eléctricos y genera frustración entre los usuarios, lo que dificulta la adopción de esta tecnología como una alternativa viable al transporte tradicional.

Los resultados del estudio han demostrado la importancia crítica de varios factores interrelacionados para el éxito y la sostenibilidad de la movilidad eléctrica, tal como se evidenció en el análisis del parque de vehículos eléctricos en Ecuador.

En primer lugar, la evolución continua de la tecnología de baterías emerge como un pilar fundamental. Los casos analizados, particularmente el caso 4, resaltan cómo una baja eficiencia energética y un alto impacto ambiental están directamente ligados a la necesidad de baterías más eficientes y con mayor autonomía. Las innovaciones en este campo son esenciales para superar las limitaciones actuales y fomentar una adopción más amplia de los VE, reduciendo la dependencia de fuentes de energía no renovables y minimizando las emisiones contaminantes.

En segundo lugar, se reafirma que la infraestructura de carga es un componente crucial para el éxito de los VE. Los casos 2 y 7 ilustran cómo la falta de disponibilidad, accesibilidad y planificación adecuada de las estaciones de carga pueden obstaculizar la adopción de VE y generar frustración entre los usuarios. La inversión en una infraestructura de carga robusta, ubicaciones estratégicas, interoperabilidad y la integración de fuentes de energía renovables, como la solar, son fundamentales para promover la movilidad eléctrica y reducir la dependencia de combustibles fósiles. En tercer lugar, se subraya la necesidad de una cooperación efectiva entre el sector público, el sector privado y la sociedad civil.

4 Discusión

En la evaluación del impacto de los vehículos eléctricos (VE) y su infraestructura de carga, es crucial considerar varios aspectos que sustentan la viabilidad y sostenibilidad de esta tecnología. Los VE representan una oportunidad significativa para reducir las emisiones de CO₂, lo cual es fundamental para la sostenibilidad global [19]. Además, ofrecen ventajas económicas palpables, incluyendo menores costos de funcionamiento y mantenimiento en comparación con los vehículos de combustión interna. En este contexto, los VE emergen como una respuesta directa a la dependencia de los combustibles fósiles y sus consiguientes impactos medioambientales adversos. De hecho, la tecnología de emisiones cero tiene el potencial de reemplazar a los vehículos de combustión interna, transformando radicalmente el panorama del transporte [20].

Un factor crítico en la adopción de VE es la autonomía, definida como la distancia máxima que un VE puede recorrer sin necesidad de recargar sus baterías, y cuya determinación se basa en ciclos de homologación. Para optimizar esta autonomía y el rendimiento general, la selección de tecnologías de almacenamiento de energía se torna esencial, especialmente en el contexto de estaciones de carga solar [21]. La gestión eficiente de la energía generada por paneles solares, a través de sistemas de almacenamiento como baterías de iones de litio, no solo optimiza el autoconsumo sino que también reduce la dependencia de la red eléctrica convencional [3].

Las infraestructuras de carga son, por tanto, fundacionales para la adopción masiva de la movilidad eléctrica. Estas infraestructuras se clasifican en diferentes tipos, como la carga lenta (Nivel 1), semi-rápida (Nivel 2) y rápida (Nivel 3 o DCFC), y su disponibilidad y eficiencia son cruciales para el desarrollo de la movilidad eléctrica [22]. Una infraestructura de carga accesible y eficiente es vital para abordar la preocupación por la autonomía, especialmente en áreas urbanas y rutas de larga distancia, y tiene un impacto positivo en la economía y la infraestructura

energética general.

A pesar de los beneficios evidentes, la implementación de la infraestructura de carga enfrenta desafíos como el costo inicial de instalación, el mantenimiento continuo y la integración con la infraestructura eléctrica existente. Además, la interoperabilidad entre diferentes estaciones y vehículos es crucial para garantizar una experiencia óptima para los usuarios. Superar estos desafíos fomenta la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y mejora la calidad del aire urbano, además de ofrecer beneficios económicos, como la creación de empleo y la reducción de costos operativos para los propietarios de vehículos eléctricos.

En el contexto específico de Ecuador, la adopción de vehículos eléctricos se encuentra en una fase inicial, pero se proyecta un aumento significativo para 2040, impulsado por una creciente conciencia climática y la reducción de los precios de los VE [23]. Este panorama destaca la necesidad de una planificación estratégica y la inversión en infraestructura de carga para asegurar un futuro sostenible en el transporte [24].

5 Conclusión

La implementación del Método Neutrosófico para la evaluación del impacto de los vehículos eléctricos (VE) basado en la infraestructura de carga y sostenibilidad ha demostrado ser una herramienta valiosa para identificar áreas críticas que requieren atención. Los resultados obtenidos permitieron considerar factores técnicos, ambientales, económicos y sociales, proporcionando una visión integral del impacto de la movilidad eléctrica. La capacidad del método para manejar la incertidumbre y la información incompleta resultó particularmente útil al analizar escenarios complejos con datos limitados, facilitando la toma de decisiones informadas y el diseño de estrategias efectivas para promover una adopción más sostenible y equitativa de los VE.

Los desafíos identificados en los casos analizados requieren un enfoque colaborativo para superar las barreras económicas, técnicas y regulatorias que dificultan el desarrollo de la infraestructura de carga y la promoción de los VE. Un marco de colaboración sólido puede facilitar la implementación de políticas de incentivos, la inversión en investigación y desarrollo, y la creación de un entorno favorable para la adopción de VE.

En este contexto, se destaca la importancia de la educación y la concienciación pública. La información sobre los beneficios de los VE y la sostenibilidad ambiental es esencial para aumentar la aceptación y la demanda de estos vehículos. Campañas informativas, programas educativos y la promoción de experiencias positivas con los VE pueden desempeñar un papel fundamental en cambiar las percepciones y los comportamientos del público, fomentando así una transición hacia una movilidad más limpia y sostenible.

Referencias

- [1] R. Basso, B. Kulcsár, B. Egardt, P. Lindroth, and I. Sanchez-Diaz, "Energy consumption estimation integrated into the electric vehicle routing problem," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 69, pp. 141-167, 2019.
- [2] T. Alquthami, A. Alsubaie, M. Alkhrajah, K. Alqahtani, S. Alshahrani, and M. Anwar, "Investigating the impact of electric vehicles demand on the distribution network," *Energies*, vol. 15, no. 3, pp. 1180, 2022.
- [3] O. Kanz, A. Reinders, J. May, and K. Ding, "Environmental impacts of integrated photovoltaic modules in light utility electric vehicles," *Energies*, vol. 13, no. 19, pp. 5120, 2020.
- [4] J. E. Guasumba-Maila, D. D. Oramas-Proaño, M. A. Trujillo-León, and D. A. Rojas-Cobos, "Factibilidad de los Vehículos Eléctricos en la Problemática Energética del Mundo," *Polo del Conocimiento*, vol. 6, no. 8, pp. 1084-1095, 2021.
- [5] P. Otero, L. Mera, and E. Calle, "Aplicación de la Simulación de Montecarlo para el Análisis de la Implementación de Estaciones de Carga Rápida para Vehículos Eléctricos en la Provincia de Galápagos," *Revista Técnica energía*, vol. 17, no. 2, pp. 143-152, 2021.
- [6] G. E. M. Maurad, and L. V. S. Parrales, "Métodos de reciclaje de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos en el Ecuador," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 6, no. 6, pp. 200-210, 2024.
- [7] J. B. Lopez, O. M. Reyes, C. S. Lara, and A. G. M. Yanzapanta, "Selección del motor y análisis estructural fem del vehículo tipo volksrod de propulsión eléctrica," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 4, pp. 342-367, 2023.
- [8] D. D. P. Valdez, and C. R. C. Plúa, "Arquitectura empresarial para el desarrollo de un prototipo de Terminal de Autobuses Inteligente en la ciudad de Quindé," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 5, pp. 86-105, 2023.
- [9] B. B. Fonseca, and O. M. Cornelio, "Método para el análisis lingüístico de estadísticas médica," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 110-127, 2025.
- [10] A. P. Anninou, and P. P. Groumpos, "A new mathematical model for fuzzy cognitive maps-application to medical problems," *Системная инженерия и информационные технологии*, vol. 1, no. 1, pp. 63-66, 2019.

- [11] Y. Martínez, A. Nowé, J. Suárez, and R. Bello, "A reinforcement learning approach for the flexible job shop scheduling problem." pp. 253-262.
- [12] M. Y. L. Vasquez, G. S. D. Veloz, S. H. Saleh, A. M. A. Roman, and R. M. A. Flores, "A model for a cardiac disease diagnosis based on computing with word and competitive fuzzy cognitive maps," *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Guayaquil*, vol. 19, no. 1, 2018.
- [13] F. Smarandache, "Neutrosophía y Plitogenia: fundamentos y aplicaciones," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 17, no. 8, pp. 164-168, 2024.
- [14] F. Smarandache, "Significado Neutrosófico: Partes comunes de cosas poco comunes y partes poco comunes de cosas comunes," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 1-14, 2025.
- [15] R. Giordano, and M. Vurro, *Fuzzy cognitive map to support conflict analysis in drought management fuzzy cognitive maps*, 2010.
- [16] M. Amer, A. Jetter, and T. Daim, "Development of fuzzy cognitive map (FCM)-based scenarios for wind energy," *International Journal of Energy Sector Management*, 2011.
- [17] G. Felix, G. Nápoles, R. Falcon, W. Froelich, K. Vanhoof, and R. Bello, "A review on methods and software for fuzzy cognitive maps," *Artificial Intelligence Review*, vol. 52, no. 3, pp. 1707-1737, 2019.
- [18] H. Song, C. Miao, Z. Shen, W. Roel, D. Maja, and C. Francky, "Design of fuzzy cognitive maps using neural networks for predicting chaotic time series," *Neural Networks*, vol. 23, no. 10, pp. 1264-1275, 2010.
- [19] A. G. C. Medina, E. F. L. Espinel, G. V. P. Silva, and J. A. R. Buenaño, "Examen de la transición hacia la movilidad eléctrica: impacto de la infraestructura de carga en la adopción de vehículos eléctricos enchufables," *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2024.
- [20] Z. Ji, and X. Huang, "Plug-in electric vehicle charging infrastructure deployment of China towards 2020: Policies, methodologies, and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 710-727, 2018.
- [21] A. Hassoun, P. K. Linden, and B. Friedman, "Incidence, prevalence, and management of MRSA bacteremia across patient populations—a review of recent developments in MRSA management and treatment," *Critical care*, vol. 21, pp. 1-10, 2017.
- [22] A. Balal, and M. Giesselmann, "Design of a Level-3 electric vehicle charging station using a 1-MW solar system via the distributed maximum power point tracking technique," *Clean Energy*, vol. 8, no. 1, pp. 23-35, 2024.
- [23] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, "A review on electric vehicles: Technologies and challenges," *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp. 372-404, 2021.
- [24] C. C. Tapia, G. T. Estrella, G. V. Ortega, and R. S. Flores, "Análisis de calidad y eficiencia energética en el sistema de distribución del SECAP-Ambato," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 4, pp. 21-40, 2023.

Recibido: febrero 27, 2025. Aceptado: marzo 17, 2025