



Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico

Neutrosophic Multicriteria Method for the evaluation of the photosensitive cart prototype implemented in arduino for didactic learning

Emily Belén Chiriboga Mera ¹, Marco Antonio González Partidas ², Doris Dayana López Carvajal³, and Luis Orlando Albarracín Zambrano ⁴

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. emilycm45@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. marcogp01@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. dorisl69@uniandes.edu.ec

⁴ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. uq.luisalbarracin@uniandes.edu.ec

Resumen. El desarrollo de prototipos tecnológicos educativos está ganando relevancia mundial, transformando cómo los estudiantes aprenden ciencia y tecnología. Esta tendencia impulsa herramientas innovadoras como los carros fotosensibles controlados por Arduino en entornos educativos. En América Latina, la integración de estas tecnologías ofrece una oportunidad para revolucionar el aprendizaje práctico en ciencias e ingeniería, enfrentando desafíos socioeconómicos y proporcionando educación tecnológica de calidad. La adopción de prototipos educativos basados en Arduino y máquinas virtuales de Linux es una estrategia prometedora para desarrollar habilidades en robótica y programación de manera flexible y económica. En Ecuador, este proyecto pionero busca fomentar el aprendizaje de tecnologías emergentes, mejorando la comprensión de electrónica y programación e inspirando carreras en STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). El objetivo de esta investigación es desarrollar un Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro fotosensible implementado en Arduino, enfocado en su efectividad como herramienta didáctica. La creación de un carro fotosensible combina teoría y práctica, permitiendo a los estudiantes diseñar, construir y programar sistemas robóticos en un entorno accesible. Estos proyectos abordan la falta de recursos didácticos, estimulando la curiosidad, el pensamiento crítico y la resolución de problemas.

Palabras Claves: método multicriterio neutrosófico, Arduino, programación, aprendizaje interactivo, recursos didácticos.

Abstract. The development of educational technological prototypes is gaining global relevance, transforming how students learn science and technology. This trend is driving innovative tools such as Arduino-controlled photosensitive cars in educational settings. In Latin America, the integration of these technologies offers an opportunity to revolutionize hands-on learning in science and engineering, addressing socioeconomic challenges and providing quality technology education. The adoption of educational prototypes based on Arduino and Linux virtual machines is a promising strategy for developing robotics and programming skills in a flexible and cost-effective manner. In Ecuador, this pioneering project seeks to foster the learning of emerging technologies, improving the understanding of electronics and programming and inspiring careers in STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics). The objective of this research is to develop a Neutrosophic Multicriteria Method for the evaluation of the photosensitive car prototype implemented in Arduino, focusing on its effectiveness as a teaching tool. The creation of a photosensitive car combines theory and practice, allowing students to design, build, and program robotic systems in an accessible environment. These projects address the lack of educational resources by stimulating curiosity, critical thinking, and problem-solving.

Keywords: neutrosophic multicriteria method, Arduino, programming, interactive learning, educational resources

1 Introducción

La necesidad de recursos didácticos creativos, prácticos y desafiantes se ha vuelto esencial en el ámbito educativo moderno, especialmente en disciplinas relacionadas con la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM). Este enfoque busca no solo mejorar la comprensión teórica, sino también facilitar la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos [1]. La utilización de prototipos tecnológicos en entornos educativos ha mostrado un impacto significativo al transformar la experiencia de aprendizaje, permitiendo que los estudiantes se involucren activamente en su proceso de formación [2].

En este contexto, la integración de herramientas innovadoras como los carros fotosensibles controlados por Arduino está emergiendo como una valiosa estrategia para revitalizar el aprendizaje en áreas STEM. Esta tendencia se ha consolidado a nivel mundial, impulsando transformaciones en la manera en que los estudiantes aprenden y aplican conceptos científicos y tecnológicos [3]. En particular, en América Latina, la adopción de tecnologías educativas ofrece un camino para abordar los desafíos socioeconómicos y mejorar la calidad de la educación.

La implementación de prototipos educativos basados en Arduino y máquinas virtuales de Linux se presenta como una solución flexible y económica para el desarrollo de habilidades técnicas. En Ecuador, este enfoque ha cobrado relevancia mientras se busca fomentar el aprendizaje de tecnologías emergentes, contribuyendo a mejorar el entendimiento de conceptos de electrónica y programación entre los estudiantes. Al hacerlo, se espera inspirar a futuras generaciones a explorar carreras en campos STEM, incrementando la representación y participación en estas áreas críticas [4].

El carro fotosensible, al ser una herramienta que combina teoría y práctica, permite a los estudiantes diseñar, construir y programar sistemas robóticos en un entorno accesible. A través de este proyecto, se ofrece una experiencia formativa que enfrentará la falta de recursos didácticos en educación científica, al mismo tiempo que se estimula la curiosidad y el pensamiento crítico, habilidades esenciales en el mundo contemporáneo.

Sin embargo, la falta de acceso equitativo a recursos educativos en áreas STEM sigue siendo un problema global. Las limitaciones económicas y la infraestructura deficiente obstaculizan el aprendizaje práctico y teórico, perpetuando la desigualdad socioeconómica. Esta brecha tecnológica no solo limita las oportunidades educativas de los estudiantes, sino que también agrava problemas más amplios como la pobreza y la exclusión social.

El uso de Arduino en la construcción del carro fotosensible permite a los estudiantes experimentar de primera mano con circuitos electrónicos, sensores y actuadores, favoreciendo un aprendizaje más profundo y significativo. Investigaciones han indicado que la interacción práctica, como la que se promueve a través de este prototipo, incrementa la comprensión de conceptos abstractos y potencia habilidades técnicas y cognitivas [5].

La oportunidad de programar en C/C++ utilizando el IDE de Arduino en una máquina virtual de Linux asegura que los estudiantes tengan acceso a un entorno seguro para prácticas y experimentaciones sin riesgo de daños al hardware [6]. Esta accesibilidad no solo optimiza el aprendizaje, sino que también fomenta la colaboración y el intercambio de conocimientos entre los estudiantes, creando un entorno educativo enriquecedor [7].

La iniciativa del carro fotosensible no solo representa un avance en la educación STEM, sino que también alinea la enseñanza con las demandas tecnológicas del siglo XXI. La participación activa en el aprendizaje, como se promueve en este tipo de proyectos, es clave para la comprensión y retención de conceptos complejos [8]. Así, esta investigación se propone evaluar la utilidad del prototipo de carro fotosensible mediante Arduino en una máquina virtual de Linux para aprendizaje didáctico, propuesto en [9], con el objetivo de determinar su efectividad como herramienta en la enseñanza de principios de electrónica y programación en un contexto educativo. Siendo así, se define como objetivo general de la presente investigación desarrollar un Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en Arduino para aprendizaje didáctico.

2 Materiales y métodos

2.1 Descripción del recurso a evaluar

Los autores [9] propusieron el desarrollo de un prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para el aprendizaje didáctico en estudiantes de carreras STEM. El prototipo fue desarrollado con el objetivo de crear un vehículo autónomo capaz de seguir una fuente de luz. Gracias a la programación realizada con un Arduino Nano y a la inclusión de tres fotoceldas, el carro mostró una notable capacidad para dirigirse hacia la luz, alcanzando una precisión del 90% durante diversas pruebas. Esta funcionalidad fue complementada con un módulo Bluetooth, lo que permitió manejar el prototipo de manera remota a través de un teléfono móvil, aumentando su flexibilidad y usabilidad en diversos contextos.

Para su construcción, se adquirieron materiales esenciales que incluyeron accesorios como reles, baterías, alambre de estaño, un cable UTP, resistencias, y el Arduino Nano y una máquina virtual con Ubuntu para la programación. Uno de los pasos cruciales fue modificar el servo motor para que encajara perfectamente en la carcasa del prototipo, asegurando que todos los componentes estuvieran correctamente alineados y funcionales.

Las fotoceldas se instalaron en el carro junto con sus respectivas resistencias, utilizando tres resistencias de cinco kilo ohmios y una de un kilo ohmio, optimizando la lectura de luz. El Arduino Nano fue montado en un

proto-board para facilitar su uso y las conexiones necesarias. Las fotoceldas fueron conectadas a los pines A1, A2 y A3 del Arduino Nano, mientras que los cables se unieron a los dos relés, que controlan el movimiento del vehículo.

Se integró el módulo Bluetooth en el Arduino para establecer el control remoto, permitiendo a los usuarios gestionar el carro desde su teléfono, lo que añadió una dimensión interactiva al prototipo. Posteriormente, se soldaron los cables y se procedió a la programación del Arduino Nano utilizando una máquina virtual de Ubuntu. Para esto, se activaron las capacidades de virtualización en el BIOS del sistema, se instaló VirtualBox, y se configuró la máquina virtual de Ubuntu.

La imagen ISO de la distribución de Ubuntu se descargó e instaló, seguidas de la instalación del Arduino IDE para el desarrollo del código necesario. Una vez que la detección de los puertos USB fue activada en la máquina virtual, se pudo conectar el Arduino para proceder con la programación. El código fue diseñado para asegurar que el prototipo funcionara de manera efectiva, y se llevaron a cabo pruebas para evaluar tanto la durabilidad del vehículo como la efectividad del código. Para conocer más características, consultar [9].

2.2 Diseño del Método Multicriterio Neutrosófico propuesto

La presente sección describe el funcionamiento del Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico. Se presentan las características generales de la solución propuesta. Se describen las principales etapas y actividades que conforman el método. El método multicriterio neutrosófico propuesto se fundamenta en varias cualidades clave que garantizan su efectividad y adaptabilidad en la evaluación de este recurso didáctico específico para estudiantes de carreras STEM:

- Integración: Este método asegura la interconexión de diversos componentes que permiten la evaluación del prototipo desarrollado referente a su pertinencia y utilidad para la enseñanza de estudiantes de la carrera de Software.
- Flexibilidad: Utiliza 2-tuplas para representar la incertidumbre, lo que enriquece la interoperabilidad entre los usuarios del método.
- Interdependencia: Se basa en la colaboración con expertos, quienes proporcionan los datos de entrada necesarios. Estos aportes son fundamentales, ya que los resultados obtenidos no solo se convierten en información valiosa, sino que también alimentan una base de conocimientos que fortalece el proceso de inferencia y análisis en futuras evaluaciones.

El método se apoya también en los siguientes principios esenciales:

- Identificación de indicadores: Un equipo de expertos es responsable de identificar los indicadores pertinentes para la evaluación del prototipo de carro foto sensible como recurso didáctico.
- Uso de métodos multicriterios: La aplicación de estos métodos en la evaluación permite una mejor consideración de los diferentes criterios que afectan la utilidad y eficacia del recurso, facilitando así una toma de decisiones más informada y justa.

Estas características y principios son fundamentales para abordar adecuadamente las complejidades en la evaluación de recursos didácticos.

El método para la evaluación del prototipo de carro foto sensible como recurso didáctico, está estructurado para gestionar el flujo de trabajo del proceso de evaluación a partir de un método de inferencia multicriterio. Este método posee tres etapas fundamentales: (1) Entrada; (2) Procesamiento, y (3) Salida de información. La Figura 1 muestra un esquema que ilustra el funcionamiento general del método.



Figura 1. Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico.

2.3 Descripción de las etapas del método

El método propuesto está diseñado para garantizar la gestión del flujo de trabajo en el proceso de evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico. Utiliza un enfoque multicriterio multiexperto donde se identifican indicadores evaluativos para determinar el funcionamiento del procesamiento del método. La etapa de procesamiento está estructurada por cuatro actividades que rigen el proceso de inferencia del procesamiento. A continuación se detalla su funcionamiento:

Actividad 1: Selección de expertos.

El primer paso en este proceso es determinar el grupo de expertos que participará en la investigación. La selección se basa en la metodología propuesta por Fernández [10-30]. Este proceso inicia con el envío de un modelo a los posibles expertos, que incluye una breve explicación sobre los objetivos del estudio y el área del conocimiento relevante. Las actividades que se llevan a cabo son las siguientes:

- Establecimiento de contacto: Se contacta a expertos en la materia y se les invita a unirse al panel de participantes. Esta etapa tiene como objetivo reunir un grupo de expertos con conocimientos significativos para la aplicación del método.
- Filtrar expertos: Es crucial filtrar a aquellos expertos que no posean un nivel adecuado de conocimiento. El proceso de selección se centra en aquellos con mayor experiencia y prestigio en el área específica del estudio. Para llevar a cabo esta filtración, se utiliza un cuestionario de autoevaluación, que busca determinar el coeficiente de conocimiento o información (K_c). La fórmula correspondiente se expresa en la ecuación 1.

$$K_c = n(0,1) \quad (1)$$

Donde:

K_c : coeficiente de conocimiento o información

n : rango seleccionado por el experto

Actividad 2 Identificación de criterios de evaluación

Una vez seleccionados los expertos, se inicia el proceso de identificación de los criterios evaluativos que alimentarán el método de investigación y servirán como parámetros para la fase de análisis. Las actividades que se llevarán a cabo son las siguientes:

- Cuestionario inicial: Se enviará un cuestionario diseñado a los panelistas con el objetivo de recabar sus opiniones sobre los criterios evaluativos relevantes para la investigación. Este cuestionario ha sido elaborado previamente y tiene como finalidad generar un conjunto de criterios consensuados entre los expertos, lo que asegura una base sólida para el estudio.
- Análisis de respuestas: Las respuestas recibidas serán analizadas minuciosamente para identificar áreas de acuerdo y desacuerdo entre los panelistas. Esta actividad permitirá realizar un examen detallado del comportamiento de las respuestas, resaltando tanto los elementos comunes como las divergencias significativas. Este análisis proporcionará una visión clara de las perspectivas de los expertos y contribuirá a afinar los criterios

- propuestos.
- Retroalimentación y re-evaluación: Se enviará a los expertos un análisis resumido de las respuestas obtenidas, solicitándoles que completen nuevamente el cuestionario y que expliquen sus discrepancias. Esta etapa es esencial, ya que brinda una nueva perspectiva sobre el conocimiento recopilado, y fomenta un diálogo más profundo entre los panelistas, lo que puede enriquecer el desarrollo de los criterios.
 - Iteración del proceso: Este proceso se repetirá hasta que las respuestas tiendan a estabilizarse. Una vez alcanzada esta estabilidad, se considera que el método ha cumplido su propósito; esto se traduce en la obtención de un conjunto de criterios evaluativos que gozan de aceptación general entre los expertos. Este enfoque iterativo garantiza que los criterios seleccionados sean robustos y reflejen un consenso informado, lo que aumenta la validez y fiabilidad de la investigación.

Este método permite no solo la construcción colaborativa y consensuada de criterios evaluativos, sino también la mejora continua del proceso mediante la iteración y la retroalimentación. Este procedimiento no solo sostiene la rigurosidad del proceso sino que también garantiza que los criterios evaluativos sean representativos de la experiencia acumulada en el panel, enriqueciendo así la validez de los resultados obtenidos. La actividad obtiene como resultado el conjunto de criterios evaluativos del método. Emplea un enfoque multicriterio expresado como muestra la ecuación 2.

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\} \quad (2)$$

Donde:

$$m > 1, \quad (3)$$

Actividad 3 Determinación de los pesos de los criterios.

Para determinar los pesos atribuidos a los criterios evaluativos se utiliza el grupo de expertos que intervienen en el proceso. Se les pide que determinen el nivel de importancia atribuido a los criterios evaluativos identificados en la actividad previa.

Los pesos de los criterios evaluativos son expresados mediante un dominio de valores difusos. Los conjuntos difusos dan un valor cuantitativo a cada elemento, el cual representa el grado de pertenencia al conjunto. Un conjunto difuso A es una aplicación de un conjunto referencial S en el intervalo [0, 1], Tal que: $A: S \rightarrow [0,1]$, y se define por medio de una función de pertenencia:

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1. \quad (4)$$

Para mejorar la interpretabilidad en la determinación de los vectores de pesos asociados a los criterios, se emplean términos lingüísticos basados en 2-tuplas Neutrosóficas [11], [12], [13-31-32-33]. La utilización de etiquetas lingüísticas en modelos de decisión implica, a menudo, la realización de operaciones con estas etiquetas [14-16]. En este contexto, se presenta la tabla 1, que da cuenta del conjunto de términos lingüísticos y sus respectivos valores.

Tabla 1: Dominio de valores para expresar causalidad.

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]

Una vez obtenidos los vectores de pesos de los diferentes expertos que intervienen en el proceso se realiza un proceso de agregación de información a partir de una función promedio tal como muestra la ecuación 5.

$$VA = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ij}}{E} \quad (5)$$

Donde:

VA: valor agregado,

Emily B. Chiriboga M, Marco A. González P, Doris D. López C, Luis O. Albarracín Z. Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico

E : cantidad de expertos que participan en el proceso,

C_{ij} : vector de pesos expresado por los expertos para los criterios C .

Actividad 4 determinación de las preferencias de las alternativas.

La actividad para la determinación de las preferencias consiste en identificar el impacto que poseen los criterios para la evaluación del prototipo de carro foto sensible como recurso didáctico. El proceso de evaluación es realizado mediante una escala numérica de modo que se exprese el nivel de pertenencia de los indicadores [17, 18]. La figura 2 muestra una gráfica con los conjuntos de etiquetas lingüísticas utilizados.

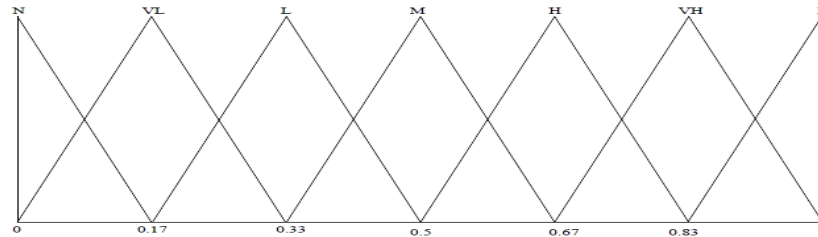


Figura 2. Conjunto de etiquetas lingüísticas.

Nota: N: Nulo; VL: Muy Bajo; L: Bajo; M: Medio; H: Alto; VH: Muy Alto; P: Preferido

Para la evaluación del prototipo de carro foto sensible como recurso didáctico, se describe el problema y la evaluación de cada alternativa a partir del cual se forma la matriz de evaluación [19-21]. La matriz está compuesta por las alternativas, los criterios y la valoración de cada criterio para cada alternativa [22-24-34]. A partir de obtener las preferencias de cada criterio evaluativo sobre el objeto de estudio, se realiza el proceso de inferencia de información [12, 25]. La inferencia es guiada mediante el uso de operadores de agregación de información.

Se parte del conjunto de alternativas A :

$$A = \{A_1, \dots, A_m\} \quad (6)$$

A las cuales se les obtienen las preferencias P :

$$P = C_1, \dots, C_n \quad (7)$$

A los criterios evaluativos se les aplica un método multicriterio para procesar las alternativas a partir de los vectores de pesos W definidos por los expertos sobre los criterios evaluativos.

$$W = \{w_1, \dots, w_n\} \quad (8)$$

El proceso de agregación se realiza con la utilización de operadores de agregación de información [26]. El objetivo fundamental consiste en obtener valoraciones colectivas a partir de valoraciones individuales mediante el uso de operadores de agregación. Para el procesamiento del método propuesto se utiliza el operador de agregación OWA (*Ordered Weighted Averaging*) [27-34].

Los operadores OWA funcionan similar a los operadores media ponderada, aunque los valores que toman las variables se ordenan previamente de forma decreciente y, contrariamente a lo que ocurre en las medias ponderadas, los pesos no están asociados a ninguna variable en concreto [28, 29, 35].

Definición 1: Dado un vector de pesos $W = w_1, \dots, w_n \in [0, 1]^n$ tal que: $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, el operador (OWA) asociado a w es el operador de agregación $f_n^w: \rightarrow R$ definido por:

$$f_n^w(u) = \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad (9)$$

donde v_i es el i -ésimo mayor elemento de $\{u_1, \dots, u_n\}$

Para la presente investigación se define el proceso de agregación de la información empleado, tal como expresa la ecuación 10.

$$F(p_1, \dots, p_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (10)$$

Donde:

P : conjunto de preferencias obtenidas de la evaluación del prototipo de carro foto sensible como recurso didáctico.

w_j : son los vectores de pesos atribuidos a los criterios evaluativos.
 b_j : es el j -ésimo más grande de las preferencias p_n ordenados.

3 Resultados y discusión

3.1 Implementación del método multicriterio neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro foto sensible como recurso didáctico

A continuación se presentan las valoraciones alcanzadas por cada actividad del Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico:

Actividad 1: Selección de los expertos.

Para la aplicación del método, se aplicó un cuestionario con el objetivo de seleccionar el grupo de expertos a intervenir en el proceso. Se convocó un panel de once expertos en educación, tecnología y robótica para evaluar el prototipo de carro fotosensible como recurso didáctico. Este grupo multidisciplinario incluye docentes universitarios con experiencia en la enseñanza de tecnologías emergentes, ingenieros especializados en electrónica y programación, así como académicos dedicados a la investigación en metodologías educativas innovadoras. La diversidad de perspectivas dentro del panel garantiza un análisis integral del prototipo, considerando no solo sus aspectos técnicos y funcionales, sino también su efectividad pedagógica y su capacidad para fomentar el aprendizaje en contextos educativos. Se logró el compromiso desinteresado de 9 expertos. Se les aplicó el cuestionario de autoevaluación a los 9 expertos donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- 3 expertos se autoevalúan con un nivel de competencia sobre el tema objeto de estudio de 10 puntos.
- 2 expertos se autoevalúan con un nivel de competencia de 9 puntos.
- 2 expertos se autoevalúa con un nivel de competencia de 8 puntos.
- 2 expertos se autoevalúan con un nivel de competencia de 6 puntos.

El coeficiente de conocimiento K_c representa un parámetro importante en la aplicación del método propuesto. Para la investigación se obtienen los K_c por experto tal como refiere la tabla 2

Tabla:

Tabla 2. Coeficiente de conocimiento por expertos ϵ .

E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
0,60	0,90	0,60	1	0,90	1	0,80	0,80	1

Adicionalmente, se realizaron cuatro preguntas a los expertos con el objetivo de evaluar su nivel de conocimiento sobre el tema. Los resultados fueron los siguientes:

- Pregunta 1: En relación a los análisis teóricos realizados por los expertos sobre el uso de tecnología arduino en clases de asignaturas STEM, 5 expertos se autoevaluaron con un nivel Alto y 2 con un nivel Medio.
- Pregunta 2: Respecto a estudios publicados por autores ecuatorianos sobre la misma evaluación, 5 expertos se calificaron con un nivel Alto, 2 con un nivel Medio y 2 con un nivel Bajo.
- Pregunta 3: Sobre el contacto directo en impartición de clases prácticas de programación, 5 expertos indicaron un nivel Alto, 3 un nivel Medio y 1 un nivel Bajo.
- Pregunta 4: En cuanto al conocimiento del estado actual de esta actividad, 4 expertos se autoevaluaron con un nivel Alto, 4 con un nivel Medio y 1 con un nivel Bajo.

La figura 3 muestra una gráfica con el comportamiento de los coeficientes de conocimiento de los expertos. A partir del análisis de los resultados se determina utilizar 7 de los 9 expertos previstos inicialmente.

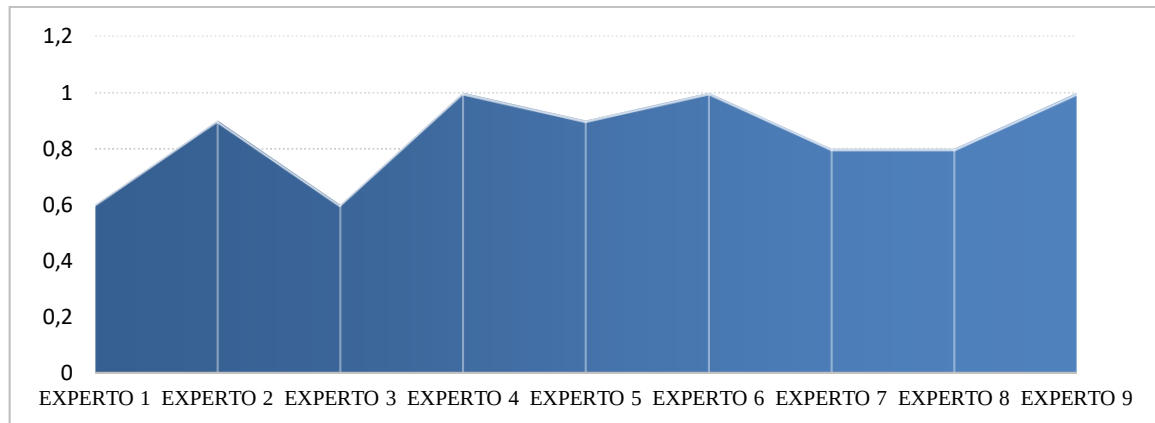


Figura 3. Representación del coeficiente de conocimiento de los expertos.

Actividad 2 Identificación de criterios de evaluación

Para la actividad se realizó una encuesta a los expertos que intervienen en el proceso. El objetivo consistió en identificar los criterios para la evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico. Los indicadores constituyen el elemento fundamental sobre el cual se realiza el procesamiento en etapas siguientes. La tabla 3 visualiza los criterios evaluativos obtenidos de la actividad.

Tabla 3: Criterios evaluativos obtenidos.

ID	Criterios	Descripción
C_1	Efectividad en el aprendizaje	Se evaluará cómo el prototipo contribuye a la comprensión de conceptos de electrónica y programación, así como su impacto en el aprendizaje activo de los estudiantes.
C_2	Interactividad	Se analizará el nivel de participación activa que el recurso proporciona a los estudiantes, incluyendo la capacidad del prototipo para facilitar experimentación y resolución de problemas en entornos prácticos.
C_3	Accesibilidad	Se considerará la facilidad de uso del prototipo, tanto en términos técnicos como de costo, evaluando si los recursos necesarios son asequibles y si su implementación es viable en diferentes contextos educativos.
C_4	Flexibilidad	Se verificará la capacidad del prototipo para adaptarse a diferentes escenarios de enseñanza y aprendizaje, así como su potencial para ser utilizado en diversas actividades y materias.
C_5	Durabilidad y fiabilidad	Este criterio enfocará en la resistencia del prototipo durante el uso en el aula, incluyendo su desempeño en condiciones variadas y la capacidad de mantener la funcionalidad a lo largo del tiempo.
C_6	Innovación	Se valorará la originalidad del enfoque pedagógico proporcionado por el prototipo, así como su capacidad para introducir nuevas metodologías y tecnologías en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Actividad 3 Determinación de los pesos de los criterios

Para determinar los pesos sobre los criterios se utilizó un enfoque multiexperto, en el que participaron los 7 seleccionados en la actividad 1. Con el empleo de 2-tuplas tal como propone la tabla 1 se realizó el trabajo por el grupo de expertos. A partir de la agregación realizada mediante la ecuación 9 se unifican los pesos de los 7 expertos en un valor agregado. La tabla 4 muestra el resultado de los vectores de pesos resultantes de la actividad.

Tabla 4: Pesos de los criterios a partir del criterio de experto.

ID	Vectores de pesos W para los criterios C
C_1	[0.80, 0.1, 0.1]
C_2	[1,0,0]
C_3	[1,0,0]
C_4	[0.9, 0.1, 0.1]
C_5	[1,0,0]
C_6	[0.90, 0.1, 0.1]

Actividad 4 determinación de las preferencias de las alternativas

Para el estudio de caso propuesto con el objetivo de evaluar el prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico, se realizó una evaluación del cumplimiento de los criterios. Se tomó como información de partida los vectores de pesos atribuidos a cada criterio evaluativo. Se evaluó el cumplimiento de los indicadores con el empleo del conjunto de etiquetas lingüísticas. Se obtuvo como resultado un sistema con valores difusos que se agregan como valores de salidas. La tabla 5 muestra el resultado del procesamiento realizado.

Tabla 5: Resultado de las evaluaciones obtenidas por los expertos.

ID	W	Preferencia	$\sum_{j=1}^n w_j b_j$
C_1	[0.80, 0.1, 0.1]	[0.80, 0.1, 0.1]	[0.80, 0.1, 0.1]
C_2	[1,0,0]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.95, 0.1, 0.1]
C_3	[1,0,0]	[0.60,0.35,0.40]	[0.80, 0.1, 0.1]
C_4	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.9, 0.1, 0.1]
C_5	[1,0,0]	[0.60,0.35,0.40]	[0.86, 0.1, 0.1]
C_6	[0.90, 0.1, 0.1]	[0.80, 0.1, 0.1]	[0.85, 0.1, 0.1]
Índice			[0.85, 0.1, 0.1]

La figura 4 muestra el comportamiento de las inferencias sobre los criterios evaluativos para el caso de estudio propuesto.

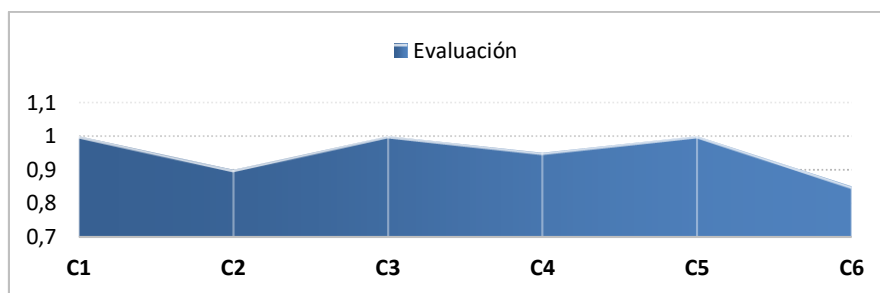


Figura 4. Comportamiento de las inferencias.

A partir del análisis presentado en la tabla 5, el método multicriterio neutrosófico devolvió como resultado un índice de impacto de 0.85 para el prototipo de carro foto sensible empleado como recurso de aprendizaje, lo que constituye una evaluación muy favorable.

4 Discusión

El uso de recursos de aprendizaje prácticos en la educación STEM ha demostrado ser fundamental para facilitar una comprensión más profunda de los conceptos relacionados con la electrónica y la programación. Al aplicar un prototipo de carro fotosensible basado en Arduino, se ha observado que los estudiantes no solo se involucran de manera activa en su aprendizaje, sino que también logran una conexión directa con la teoría mediante la práctica. Esta metodología no solo enriquece su experiencia educativa, sino que también les permite enfrentar problemas reales y desarrollar habilidades críticas necesarias en sus futuras carreras [8-36].

La efectividad de este tipo de recursos en el aprendizaje activo es especialmente relevante, dado que los estudiantes tienden a retener mejor la información cuando están activamente implicados en su proceso educativo. Este enfoque práctico no solo mejora la comprensión de los conceptos técnicos, sino que también fomenta el pensamiento crítico y la creatividad. Los alumnos pueden experimentar con distintos escenarios, realizar pruebas y ajustar variables, lo que no solo promueve el aprendizaje, sino que también genera un entorno en el que la exploración y el error se convierten en oportunidades de crecimiento.

La interactividad del prototipo es otro aspecto crucial que se debe destacar. Este tipo de recursos permite a los estudiantes jugar un rol protagónico en su educación, al experimentar con el carro y observar en tiempo real cómo sus decisiones afectan el comportamiento del modelo. La capacidad de experimentar y resolver problemas en un entorno práctico no solo fortalece su confianza, sino que también los prepara para futuros entornos laborales, donde el aprendizaje continuo y la adaptabilidad son esenciales [6].

La usabilidad del prototipo es igualmente importante. La evaluación de la accesibilidad técnica y económica
Emily B. Chiriboga M, Marco A. González P, Doris D. López C, Luis O. Albarracín Z. Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico

del recurso revela que es un modelo que puede ser implementado en diversos contextos educativos. Esta característica lo convierte en una herramienta valiosa, ya que permite a instituciones con diferentes niveles de recursos adoptar metodologías innovadoras sin la necesidad de grandes inversiones. La facilidad de uso del hardware y software involucrados también juega un papel vital, ya que permite a los educadores implementar el recurso con un mínimo esfuerzo técnico, centrándose en la enseñanza en lugar de en la tecnología [1].

La flexibilidad del prototipo expande aún más su aplicabilidad. Este recurso no está limitado a un solo campo de estudio; podría integrarse en diversas materias, desde ciencias físicas hasta matemáticas y programación. La capacidad de adaptar el uso del carro fotosensible a diferentes ambientes de enseñanza permite a los educadores personalizar su implementación, sacando el máximo provecho de las diversas realidades educativas de sus alumnos.

La durabilidad y fiabilidad del prototipo se convierten en elementos esenciales para su uso exitoso en el aula. Un recurso que puede resistir el uso continuo y enfrentar diversas condiciones presenta un gran valor a largo plazo. Los educadores deben confiar en que las herramientas que utilizan en sus clases mantendrán su funcionalidad a lo largo del tiempo, lo que se traduce en una inversión que realmente impacta en el aprendizaje de los estudiantes.

Asimismo, es relevante considerar la innovación que aporta este enfoque pedagógico [9]. La introducción de nuevas metodologías y tecnologías es necesaria para mantener el interés y el compromiso de los estudiantes. Al incorporar un prototipo que aumenta la interacción y la experimentación, se revitaliza el entorno de aprendizaje, creando una atmósfera más dinámica y estimulante que atrae la atención de los estudiantes hacia conceptos que podrían parecer abstractos o monótonos.

El alto índice de impacto obtenido a través del Método Multicriterio Neutrosófico, con un resultado de 0.85, valida la efectividad del prototipo como un recurso educativo eficaz. Esta evaluación positiva no solo resalta la calidad del prototipo, sino que también sugiere que otros educadores podrían beneficiarse al adoptarlo en sus aulas, ofreciendo un modelo que podría servir como referencia para desarrollos futuros en el ámbito de herramientas audiovisuales y prácticas.

Además, conviene mencionar que el aprendizaje basado en proyectos, similar al que propicia el uso del carro fotosensible, ha demostrado ser esencial para fomentar la participación activa y el compromiso de los estudiantes. Esta metodología les permite trabajar de manera colaborativa, desarrollando habilidades interpersonales que son vitales en el mundo laboral. La combinación de aprendizaje práctico y colaboración refuerza el impacto educativo, generando un entorno donde los estudiantes se sienten motivados a contribuir y aprender.

El empleo de recursos educativos prácticos como el prototipo de carro fotosensible tiene el potencial de revolucionar la manera en que se enseña y aprende en las áreas STEM. Al fomentar la interactividad, accesibilidad, flexibilidad y durabilidad, se establece un nuevo estándar para la educación, asegurando que los estudiantes estén preparados para enfrentar los desafíos del futuro con confianza y creatividad.

5 Conclusión

El presente trabajo de investigación ha puesto de manifiesto la efectividad del prototipo de carro fotosensible como una herramienta educativa que permite a los estudiantes aplicar y comprender los principios fundamentales de la electrónica, electricidad y programación. A través de un enfoque didáctico e interactivo, los estudiantes no solo se familiarizan con conceptos técnicos, sino que adquieren un aprendizaje significativo que trasciende la mera memorización, favoreciendo una comprensión más profunda de los principios en cuestión.

La implementación de una máquina virtual de Linux como plataforma de desarrollo para el código del Arduino se reveló como una estrategia eficaz. Esta configuración no solo permitió a los estudiantes aprender sobre los diferentes aspectos de los sistemas operativos, como procesadores, núcleos, hilos y máquinas virtuales, sino que también proporcionó un entorno controlado que facilitó la aplicación práctica de conceptos básicos de programación. La posibilidad de experimentar en un entorno flexible es crucial para fomentar la curiosidad y el aprendizaje activo en un ámbito tan técnico y en constante evolución.

Los resultados obtenidos a través del Método Multicriterio Neutrosófico corroboran que el uso del prototipo tuvo un impacto positivo en la enseñanza de la electrónica y la programación. Los estudiantes mostraron mayores niveles de interés y comprensión de los temas tratados, lo que es un indicador alentador sobre la efectividad de metodologías basadas en el aprendizaje práctico. Al mismo tiempo, los educadores valoraron la incorporación de una herramienta tan práctica, reconociendo su potencial para enriquecer la experiencia educativa y ofrecer una forma más tangible de abordar conceptos abstractos.

Es importante señalar que el aprendizaje activo promovido por la interacción con el prototipo no solo aumenta la retención del conocimiento, sino que también contribuye al desarrollo de habilidades críticas, como la resolución de problemas y el pensamiento lógico. Estas habilidades son esenciales en el contexto actual, donde la innovación y la capacidad de adaptarse rápidamente a nuevas tecnologías son fundamentales.

El prototipo de carro fotosensible, junto con la configuración de la máquina virtual, representa un avance significativo en la educación STEM. Su flexibilidad y facilidad de uso lo convierten en un recurso valioso en aulas de diversas características. Este enfoque dinámico y práctico sugiere que existen nuevas posibilidades para mejorar

la educación en disciplinas técnicas y científicas, contribuyendo no solo al crecimiento académico de los estudiantes, sino también a su preparación para futuros desafíos en el ámbito laboral.

Referencias

- [1] K. Xie, G. Di Tosto, S.-B. Chen, and V. W. Vongkulluksn, "A systematic review of design and technology components of educational digital resources," *Computers & education*, vol. 127, pp. 90-106, 2018.
- [2] A. T. Ottenbreit-Leftwich, T. A. Brush, J. Strycker, S. Gronseth, T. Roman, S. Abaci, S. Shin, W. Easterling, and J. Plucker, "Preparation versus practice: How do teacher education programs and practicing teachers align in their use of technology to support teaching and learning?," *Computers & Education*, vol. 59, no. 2, pp. 399-411, 2012.
- [3] C. Peña, *Arduino IDE: Domina la programación y controla la placa*: RedUsers, 2020.
- [4] E. Campos, S. Tecpan, and G. Zavala, "Argumentación en la enseñanza de circuitos eléctricos aplicando aprendizaje activo," *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 43, pp. e20200463, 2021.
- [5] O. Y. Rivera Rojas, and C. E. Rippe Valbuena, "Desarrollo e Implementación de un Carro Robótico con Movimiento Autónomo en Arduino incorporando IoT," UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, 2022.
- [6] A. L. Veloz, and D. V. Acuña, "Sistema de riego automatizado en el caserío Sigualo del Cantón Pelileo," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 4, pp. 271-281, 2023.
- [7] C. Hernández, R. H. Palacios, and F. de Jesús Núñez-Cárdenas, "Instalación y configuración de Pfsense en máquina virtual con VirtualBox," *Ciencia Huasteca Boletín Científico de la Escuela Superior de Huejutla*, vol. 11, no. 22, pp. 22-31, 2023.
- [8] D. E. R. Porras, S. M. Olán, S. A. G. Vivas, and I. d. C. T. Gómez, "Variables que inciden en el déficit de programadores en México," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 6, pp. 774-794, 2023.
- [9] E. B. Chiriboga-Mera, M. A. González-Partidas, D. D. López-Carvajal, and L. O. Albarracín-Zambrano, "Carro foto sensible mediante Arduino en una máquina virtual de Linux para aprendizaje didáctico," *CIENCIAMATRIA*, vol. 10, no. 2, pp. 1706-1715, 2024.
- [10] S. H. d. M. Fernández. "Criterio de expertos. Su procesamiento a través del método Delphy," http://www.ub.edu/histodidactica/index.php?option=com_content&view=article&id=21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy&catid=11.
- [11] Z.-S. Chen, K.-S. Chin, and K.-L. Tsui, "Constructing the geometric Bonferroni mean from the generalized Bonferroni mean with several extensions to linguistic 2-tuples for decision-making," *Applied Soft Computing*, vol. 78, pp. 595-613, 2019.
- [12] 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.
- [13] J. Giráldez-Cru, M. Chica, O. Córdón, and F. Herrera, "Modeling agent-based consumers decision-making with 2-tuple fuzzy linguistic perceptions," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 35, no. 2, pp. 283-299, 2020.
- [14] D. F. Coka Flores, I. F. Barcos Arias, M. E. Infante Miranda, and O. Mar Cornelio, "Applying Neutrosophic Natural Language Processing to Analyze Complex Phenomena in Interdisciplinary Contexts," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 74, no. 1, pp. 26, 2024.
- [15] J. P. Ramos-Carpio, O. J. A. Machado, J. E. Ricardo, and A. B. M. Vasquez, "Assessing Higher Education's Role in Personality Formation Using NeutroAlgebra," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 71, pp. 50-57, 2024.
- [16] M. L. Vázquez, J. E. Ricardo, and F. Smarandache, *Enhancing set-theoretic research methods with neutrosophic sets*: Infinite Study, 2024.
- [17] M. Y. L. Vázquez, N. B. Hernández, J. E. Ricardo, and J. F. G. García, "Aplicación de análisis de sentimientos y enfoques neutrosóficos para la comprensión de información textual en la investigación," *Revista Conrado*, vol. 19, no. 94, pp. 294-300, 2023.
- [18] M. Y. L. Vázquez, J. E. Ricardo, and N. B. Hernández, *La Neutrosofía como herramienta para abordar la vaguedad lingüística en el análisis de textos de dilemas ético*: Infinite Study, 2024.
- [19] S. Schmied, D. Großmann, S. G. Mathias, and S. Banerjee, "Vertical Integration via Dynamic Aggregation of Information in OPC UA." pp. 204-215.
- [20] P. T. Schultz, R. A. Sartini, and M. W. Mckee, "Aggregation and use of information relating to a users context for personalized advertisements," Google Patents, 2019.
- [21] N. Gospodinov, and E. Maasoumi, "Generalized Aggregation of Misspecified Models: With An Application to Asset Pricing," 2019.
- [22] B. B. Fonseca, L. C. M. Benitez, and Á. M. H. Oliva, "La estructura de desglose del trabajo como mecanismo viable para la generación de proyectos exitosos," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 12, no. 5, pp. 63-75, 2019.

Emily B. Chiriboga M, Marco A. González P, Doris D. López C, Luis O. Albarracín Z. Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación del prototipo de carro foto sensible implementado en arduino para aprendizaje didáctico

- [23] A. Rodríguez, A. D. C. R. Gonzalez, J. C. P. Tarragó, and D. L. D. Gálvez, "Implementación de algoritmos de Inteligencia Artificial en la predicción de nuevos conocimientos mediante enseñanza constructivista," *Serie Científica de La Universidad de Las Ciencias Informáticas*, vol. 14, no. 3, pp. 131-141, 2021.
- [24] V. d. R. P. Rodríguez, "Las TIC y la educación en los tiempos de pandemia," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 14, no. 6, pp. 104-117, 2021.
- [25] F. Smarandache, "Neutrosophia y Plitogenia: fundamentos y aplicaciones," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 17, no. 8, pp. 164-168, 2024.
- [26] X. He, "Typhoon disaster assessment based on Dombi hesitant fuzzy information aggregation operators," *Natural Hazards*, vol. 90, no. 3, pp. 1153-1175, 2018.
- [27] R. R. Yager, and D. P. Filev, "Induced ordered weighted averaging operators," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 29, no. 2, pp. 141-150, 1999.
- [28] 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.
- [29] Y. Martínez, A. Nowé, J. Suárez, and R. Bello, "A reinforcement learning approach for the flexible job shop scheduling problem." pp. 253-262.
- [30] Vásquez, Á. B. M., Carpio, D. M. R., Faytong, F. A. B., & Lara, A. R. "Evaluación de la satisfacción de los estudiantes en los entornos virtuales de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes". Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores, 2024.
- [31] Romero, A. V., Sánchez, F. M., & Estupiñán, C. P. "Inteligencia artificial en gestión hotelera: aplicaciones en atención al cliente". El patrimonio y su perspectiva turística, pp. 409-423, 2024.
- [32] Márquez Carriel, D. C., Oña Garcés, L., Vergara Romero, A., & Márquez Sánchez, F. "Assessing the need for a feminist foreign policy in Ecuador through a sentiment analysis based on neutroAlgebra". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 71, num. 1, pp. 16, 2024.
- [33] Vergara-Romero, A., Macas-Acosta, G., Márquez-Sánchez, F., & Arencibia-Montero, O. "Child Labor, Informality, and Poverty: Leveraging Logistic Regression, Indeterminate Likert Scales, and Similarity Measures for Insightful Analysis in Ecuador". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol 66, pp 136-145, 2024
- [34] von Feigenblatt, O. F. "Research Ethics in Education. In *Ethics in Social Science Research: Current Insights and Practical Strategies*", pp. 97-105. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025.
- [35] von Feigenblatt, O. F. "Immediacy and Sustainable Development: The Perspective of Youth". *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, vol. 19, num 2, 2024
- [36] de León, E. R., Marqués, L. L., Poleo, A., & von Feigenblatt, O. F. "El estilo del liderazgo educativo en el proceso de enseñanza: una revisión de la literatura". In *Anales de la Real Academia de Doctores*. vol. 9, num. 2, pp. 289-308, 2024

Recibido: febrero 25, 2025. Aceptado: marzo 15, 2025