Ciencia y Educación
(L-ISSN: 2790-8402 E-ISSN: 2707-3378)
Vol. 7 No. 11.1
Edición Especial XI 2026

APROXIMACIÓN NUMÉRICA Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA DEGRADACIÓN DE BATERÍAS DE ION-LITIO MEDIANTE CURVAS DE CARGA-DESCARGA

NUMERICAL APPROXIMATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF LITHIUM-ION BATTERY DEGRADATION USING CHARGE–DISCHARGE CURVES

Autores: [1]Vanessa Alexandra Vásconez Nuñez, [2]Evelin Lissette Quinaluiza Arias, [3]María Cristina Robayo Villarroel y [4]Gema Viviana Carvajal Zambrano.

[1]ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6336-5598
[2]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-2757-9697
[3]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-4746-2930
[4]ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8451-9683
[1]E-mail de contacto: vavasconez@unach.edu.ec
[2]E-mail de contacto: evelin.quinaluiza@unl.edu.ec
[3]E-mail de contacto: maria.robayo@unach.edu.ec
[4]E-mail de contacto: gema.carvajal@uleam.edu.ec
Afiliación: [1*3*]Universidad Nacional de Chimborazo, (Ecuador). [2*]Universidad Nacional de Loja, (Ecuador). [4*]Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, (Ecuador).
Artículo recibido: 3 de Octubre del 2026.
Artículo revisado: 15 de Octubre del 2026.
Artículo aprobado: 15 de Octubre del 2026.
[1]Ingeniera en Electrónica Telecomunicaciones y Redes, graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Magíster Universitario en Ingeniería de Computadores y Redes, graduada de la Universidad Politécnica de Valencia, (España). Magíster Universitario en Ingeniería Matemática y Computación, graduada de la Universidad Internacional de la Rioja, (España).
[2]Licenciada en Pedagogía de las Matemáticas y la Física, graduada de la Universidad Nacional de Chimborazo, (Ecuador). Magíster en Educación, con mención en Docencia Superior, graduada de la Universidad Nacional de Loja, (Ecuador).
[3]Ingeniera en Electrónica Control y Redes Industriales, graduada de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, (Ecuador). Magíster Universitario en Industria 4.0, graduada de la Universidad Internacional de La Rioja, (España). Magíster en Matemática Aplicada, mención en Matemática Computacional, graduada de la Universidad Nacional de Chimborazo, (Ecuador).
[4]Ingeniera Comercial, mención Proyectos de Inversión, graduada de la Universidad Particular San Gregorio de Portoviejo, (Ecuador). Magíster en Administración de Empresas, con mención en Marketing, graduada de la Universidad de Guayaquil, (Ecuador). Magíster en Educación, con mención en Docencia e Investigación en Educación Superior, graduada de la Universidad Estatal de Milagro, (Ecuador). PhD en Ciencias Técnicas, graduada de la Universidad de Matanzas, (Cuba).

Resumen

La degradación de las baterías de ion-litio puede analizarse mediante métodos matemáticos y estadísticos aplicados a registros experimentales. El objetivo fue evaluar la degradación mediante aproximación numérica de curvas de descarga y análisis de la evolución de la capacidad. Se desarrolló un estudio cuantitativo y retrospectivo de 636 descargas de cuatro baterías del repositorio experimental de NASA. La capacidad se reconstruyó mediante integración trapezoidal y de Simpson, utilizando un voltaje de corte común de 2,70 V. Se examinó la sensibilidad al umbral de integración y al tratamiento del punto final interpolado. Asimismo, se compararon cuatro modelos empíricos mediante una división temporal entre entrenamiento y prueba. La integración trapezoidal presentó errores absolutos medios de 3,297 a 3,494 mAh respecto de las capacidades registradas, inferiores a los correspondientes a Simpson. Las pérdidas relativas de capacidad entre el primer y último registro fueron de 24,25 % a 41,75 %, con fluctuaciones no monótonas. Los modelos exponenciales y de raíz cuadrada presentaron los menores errores según la batería, aunque uno de los ajustes registró un coeficiente de determinación negativo en el tramo de prueba. Se concluye que la elección del umbral y del procedimiento de interpolación incide en la capacidad estimada, mientras que la validación temporal permite identificar limitaciones de los modelos de degradación. Los resultados se circunscriben a los registros y condiciones experimentales analizados.

Palabras clave: Baterías de ion-litio, Degradación, Integración numérica, Análisis estadístico, Descarga.

Abstract

Lithium-ion battery degradation can be investigated using numerical and statistical procedures applied to experimental records. This study evaluated battery degradation through numerical approximation of discharge curves and statistical analysis of capacity evolution. A quantitative retrospective analysis was conducted on 636 discharge records from four batteries in the NASA experimental repository. Discharge capacity was reconstructed using trapezoidal and Simpson integration with a common 2.70 V cutoff. Sensitivity to the integration threshold and interpolation of the final point was assessed. Four empirical degradation models were compared using chronological training and test subsets. Trapezoidal integration yielded mean absolute discrepancies of 3.297–3.494 mAh relative to NASA capacity records, lower than those from Simpson integration. Relative capacity losses between the first and last discharge ranged from 24.25% to 41.75%, with non-monotonic fluctuations. Exponential and square-root models achieved the smallest test errors depending on the cell; however, one fitted model showed a negative coefficient of determination on the held-out period. The findings indicate that cutoff selection and endpoint interpolation influence reconstructed capacity, and chronological assessment exposes limitations of empirical degradation models. Conclusions are limited to the batteries and experimental conditions examined. The integration threshold and interpolation procedure were explicitly examined to distinguish numerical processing effects from cell-to-cell variability. Outlying cycle-to-cycle differences were retained instead of automatically removed, and model performance was assessed only on later observations from the same batteries. Consequently, extrapolation to independent cells or different discharge protocols was not demonstrated.

Keywords: Lithium-ion batteries, Degradation, Numerical integration, Statistical analysis, Discharge.

Sumário

A degradação de baterias de íons de lítio pode ser avaliada mediante métodos numéricos e estatísticos aplicados a registros experimentais. O objetivo foi estudar a degradação por aproximação numérica de curvas de descarga e análise da evolução da capacidade. Foram examinados 636 registros de descarga de quatro baterias do repositório NASA. A capacidade foi reconstruída pela integração trapezoidal e pelo método de Simpson, com tensão de corte comum de 2,70 V. Avaliaram-se a sensibilidade ao limite de integração e a interpolação do ponto final. Quatro modelos empíricos foram comparados mediante divisão cronológica entre treinamento e teste. A integração trapezoidal apresentou erros absolutos médios de 3,297 a 3,494 mAh em relação aos valores fornecidos por NASA, menores que os de Simpson. As perdas relativas da primeira à última descarga variaram de 24,25% a 41,75%, com flutuações não monótonas. Os modelos exponencial e de raiz quadrada tiveram os menores erros de teste de acordo com a bateria, embora um ajuste tenha apresentado coeficiente de determinação negativo. Conclui-se que a escolha do limite de integração e a interpolação afetam a capacidade reconstruída, e que a avaliação cronológica evidencia limitações dos modelos estatísticos. A interpretação restringe-se aos registros e condições experimentais estudados. O limite de integração e a interpolação permitiram examinar efeitos do processamento numérico. As diferenças atípicas entre descargas consecutivas foram mantidas, sem exclusão automática. A avaliação dos modelos foi retrospectiva e limitada a ciclos posteriores das mesmas baterias; portanto, os resultados não demonstram generalização para novas células ou protocolos de operação independentes.

Palavras-chave: Baterias de íons de lítio, Degradação, Integração numérica, Análise estatística, Descarga.

Introducción

Las baterías de ion-litio son componentes esenciales en la movilidad eléctrica, los equipos electrónicos y el almacenamiento energético. Su envejecimiento reduce progresivamente la

capacidad disponible y dificulta la estimación del estado de salud. Los mecanismos internos de pérdida de inventario de litio y de material activo, junto con factores externos de operación, condicionan las trayectorias experimentales de degradación (Liu et al., 2023); (Yang et al., 2021). Los mecanismos de degradación y sus indicadores de salud han sido sistematizados en revisiones recientes (Liu et al., 2023); (Kraytsberg y Ein, 2024); (Tang et al., 2025); (Li et al., 2025).

Las mediciones de voltaje, corriente y tiempo permiten reconstruir la capacidad y obtener indicadores derivados de las curvas de carga y descarga. Los enfoques publicados abarcan modelos físicos, estadísticos y de aprendizaje automático, pero su desempeño puede variar considerablemente con las condiciones de prueba, el protocolo y la población de celdas (Severson et al., 2019; Lu et al., 2023; Zhao et al., 2024b). Los enfoques revisados incluyen aprendizaje profundo y estimaciones de capacidad derivadas de señales de operación y relajación (Luo et al., 2022); (Roman et al., 2021); (Zhu et al., 2022).

Una cuestión fundamental para la reproducibilidad es que la capacidad derivada de señales discretas depende del intervalo de integración, del tratamiento del cruce de voltaje y del algoritmo de cuadratura. Una segunda cuestión es que las buenas medidas de ajuste dentro de la muestra no garantizan un desempeño comparable en ciclos posteriores, especialmente ante fluctuaciones transitorias y variabilidad entre celdas (Thelen et al., 2024). Los desafíos para la predicción de vida útil y la estimación de salud han sido examinados desde métodos tradicionales y enfoques informados por física (Ansari et al., 2022); (Wang et al., 2024); (Thelen et al., 2024). Aunque los métodos predictivos recientes alcanzan gran sofisticación, sigue siendo pertinente cuantificar la sensibilidad de procedimientos numéricos transparentes y contrastar modelos empíricos sencillos mediante validación cronológica. El objetivo de este estudio fue evaluar la degradación de baterías de ion-litio mediante integración numérica de sus curvas de descarga y análisis estadístico de la evolución de capacidad en cuatro baterías del repositorio NASA (Saha y Goebel, 2007). Investigaciones recientes con arquitecturas de aprendizaje profundo han utilizado múltiples indicadores de salud, aunque sus objetivos y validaciones no son equivalentes al análisis numérico planteado aquí (Zhao et al., 2024a, 2024b).

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio cuantitativo, longitudinal y retrospectivo de registros experimentales secundarios del conjunto Battery Data Set del NASA Ames Prognostics Center of Excellence. Se seleccionaron B0005, B0006, B0007 y B0018, con 168, 168, 168 y 132 operaciones de descarga, respectivamente. Las unidades de análisis fueron las descargas individuales, sin excluir curvas por fluctuaciones de capacidad. Se verificó la existencia de vectores temporales crecientes y del primer cruce del voltaje de 2,70 V. El análisis de capacidad empleó las curvas de descarga, aunque la fuente también registra operaciones de carga e impedancia. El repositorio fue identificado y citado conforme a Saha y Goebel (2007).

La capacidad descargada se estimó mediante la integral de la corriente en el intervalo comprendido entre el inicio de la descarga y el primer cruce de 2,70 V (ecuación 1). Para los registros discretos se utilizó la regla compuesta del trapecio (ecuación 2). El cruce de voltaje se estimó por interpolación lineal entre mediciones consecutivas; adicionalmente, se aplicó scipy.integrate.simpson sobre los tiempos

experimentales, que admiten espaciamiento desigual. Se evaluaron umbrales de 2,65, 2,70 y 2,75 V, así como la omisión del punto final interpolado.

$$Q_n = \frac{1}{3600}\int_{t_0}^{t_f} |I_n(t)|\, dt \quad (1)$$

$$Q_n \approx \frac{1}{3600}\sum_i \frac{|I_i| + |I_{i+1}|}{2}(t_{i+1} - t_i) \quad (2)$$

El estado de salud relativo se definió respecto de la capacidad del primer registro de descarga de cada batería (ecuación 3), utilizando el campo Capacity publicado por NASA, sin confundirlo con la capacidad reconstruida mediante integración. Las diferencias consecutivas de capacidad se examinaron mediante un criterio robusto de tres veces 1,4826 × MAD, centrado en la mediana de las diferencias. Se ajustaron los modelos lineales, cuadrático, de raíz cuadrada y exponencial sobre el índice acumulado de descarga. Las observaciones se dividieron cronológicamente entre entrenamiento (aproximadamente 70 %) y prueba (30 %); MAE, RMSE y R^2 se calcularon sobre el tramo de prueba. El procesamiento se ejecutó mediante Python y las bibliotecas NumPy, SciPy, pandas, scikit-learn y Matplotlib. Se conservaron los archivos originales, las tablas derivadas, el código de procesamiento y las representaciones gráficas. Las versiones exactas del entorno se deben añadir a partir del equipo que ejecute el script definitivo.

$$SOH_n = 100 \times \frac{Capacity_n}{Capacity_1} \quad (3)$$

Resultados y Discusión

Como se resume en la Tabla 1 y se representa en las Figuras 1 y 2, las 636 operaciones cumplieron los criterios computacionales para integración hasta 2,70 V. La pérdida relativa entre la primera y la última descarga varió entre 24,25% (B0007) y 41,75% (B0006). Estas variaciones descriptivas no constituyen comparaciones causales entre protocolos, dado que los voltajes de corte originales fueron diferentes. Las curvas experimentales muestran disminución general de la duración de descarga y variaciones puntuales que impiden suponer monotonicidad estricta.

Tabla 1. *Caracterización experimental y variación de la capacidad de descarga de las baterías de ion-litio analizadas.*

Batería	Descargas	Inicial (Ah)	Final (Ah)	Pérdida (%)
B0005	168	1.8565	1.3251	28.62
B0006	168	2.0353	1.1857	41.75
B0007	168	1.8911	1.4325	24.25
B0018	132	1.8550	1.3411	27.71

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 2 y la Figura 1, el método trapezoidal produjo discrepancias medias absolutas de 3,297–3,494 mAh respecto al campo Capacity, inferiores a las de Simpson (4,306–4,491 mAh). Estas cifras expresan concordancia con la capacidad ya procesada de NASA, no exactitud metrológica frente a un patrón externo. La diferencia puede reflejar el algoritmo de muestreo o el tratamiento del extremo. Según el análisis complementario de sensibilidad, la sensibilidad al umbral mostró errores más elevados para 2,75 V que para 2,70 V. A 2,65 V solo 66 de 168 descargas de B0005 alcanzaron el umbral, por lo que la comparación allí no es sobre la misma población de ciclos. La

interpolación del cruce final redujo el MAE respecto de no interpolar en las cuatro baterías.

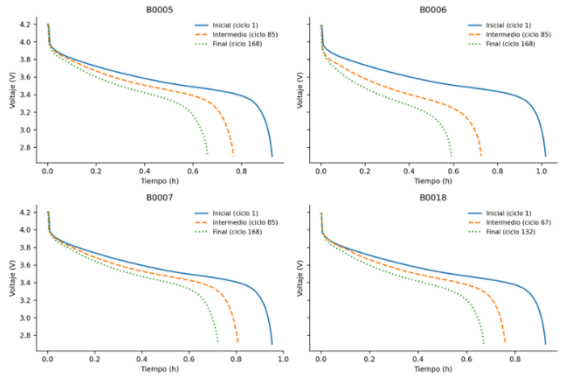


Figura 1. *Curvas de descarga representativas a distintas edades, truncadas a 2,70 V.*

Fuente: Elaboración propia.

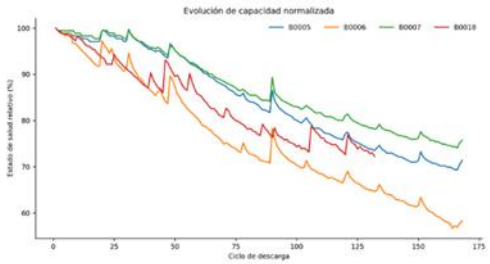


Figura 2. *Evolución del estado de salud relativo basado en capacidad NASA.*

Fuente: Elaboración propia.

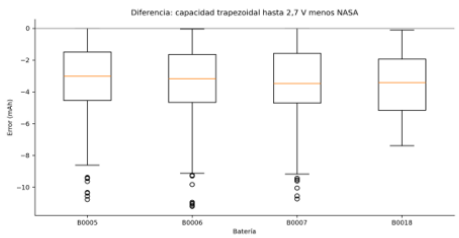


Figura 3. *Distribución de los errores firmados de integración trapezoidal.*

Tabla 3. *Desempeño de los modelos matemáticos de degradación de capacidad mediante validación temporal.*

Batería	Mejor modelo	MAE (Ah)	RMSE (Ah)	R^2
B0005	exponencial	0.01524	0.01824	0.788
B0006	raiz	0.02152	0.02698	0.836
B0007	exponencial	0.01745	0.02217	0.622
B0018	raiz	0.02673	0.03340	-0.435

Fuente: Elaboración propia.

No se eliminaron; su atribución a causas electroquímicas requeriría mediciones y controles adicionales. La preservación de estas observaciones evita crear tendencias artificialmente suavizadas.

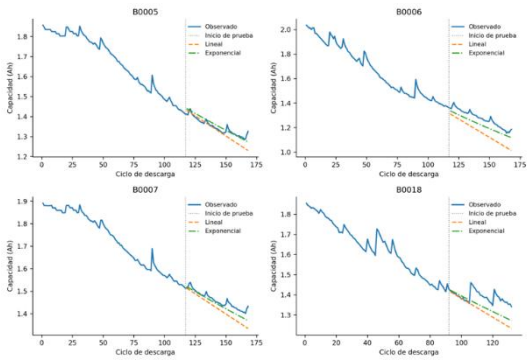


Figura 4. *Capacidad observada y proyecciones de los modelos lineal y exponencial; la Tabla 3 identifica el modelo mejor clasificado entre los cuatro evaluados.*

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 3 y la Figura 6 permiten contrastar los resultados de validación temporal. Los modelos exponenciales y de raíz cuadrada presentaron el menor MAE de prueba según la batería. Para B0018, incluso el modelo mejor clasificado obtuvo R^2 negativo, por lo que no debe describirse como validación predictiva satisfactoria. En B0005, el cuadrático obtuvo MAE de prueba de 0,14812 Ah frente a 0,01524 Ah del exponencial, lo que ilustra la diferencia entre buen ajuste retrospectivo y extrapolación temporal. La validación se hizo sobre ciclos posteriores de las mismas celdas, no sobre

nuevas baterías (Thelen et al., 2024); (Severson et al., 2019). La distinción entre validación de ciclos y generalización entre celdas también es relevante en estudios basados en señales y aprendizaje automático (Roman et al., 2021); (Lu et al., 2023). Se registraron 131 incrementos positivos de capacidad entre descargas consecutivas y 48 saltos clasificados como atípicos por el criterio robusto aplicado.

Conclusiones

Los registros de las cuatro baterías permiten reconstruir capacidad por integración y cuantificar su degradación. La integración trapezoidal mostró mayor concordancia con la capacidad de referencia que la variante de Simpson aplicada, sin probar superioridad universal. El umbral y la interpolación del punto final alteraron las estimaciones y deben especificarse para reproducibilidad. Las pérdidas de capacidad y las fluctuaciones observadas desaconsejan suponer trayectorias monótonas. Ninguno de los cuatro modelos empíricos fue consistentemente mejor para todas las baterías, y el caso B0018 evidencia limitaciones de extrapolación. La conclusión se restringe al conjunto y condiciones experimentales utilizados.

Referencias Bibliográficas

Ansari, S., Ayob, A., Lipu, M., Hussain, A., & Saad, M. (2022). Remaining useful life prediction for lithium-ion battery storage system: A comprehensive review of methods, key factors, issues and future outlook. Energy Reports, 8, 12153–12185. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.043

Kraytsberg, A., & Ein-Eli, Y. (2024). Degradation processes in current commercialized Li-ion batteries and strategies to mitigate them. Annual Review of Materials Research, 54, 143–173. https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-080522-104112

Li, M., Xu, W., Zhang, S., Liu, L., Hussain, A., Hu, E., Zhang, J., Mao, Z., & Chen, Z. (2025). State of health estimation and battery management: A review of health indicators, models and machine learning. Materials, 18(1), Article 145. https://doi.org/10.3390/ma18010145

Liu, Y., Liu, C., Liu, Y., Sun, F., Qiao, J., & Xu, T. (2023). Review on degradation mechanism and health state estimation methods of lithium-ion batteries. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 10(4), 578–610. https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.06.001

Lu, J., Xiong, R., Tian, J., Wang, C., & Sun, F. (2023). Deep learning to estimate lithium-ion battery state of health without additional degradation experiments. Nature Communications, 14, Article 2760. https://doi.org/10.1038/s41467-023-38458-w

Luo, K., Chen, X., Zheng, H., & Shi, Z. (2022). A review of deep learning approach to predicting the state of health and state of charge of lithium-ion batteries. Journal of Energy Chemistry, 74, 159–173. https://doi.org/10.1016/j.jechem.2022.06.049

Roman, D., Saxena, S., Robu, V., Pecht, M., & Flynn, D. (2021). Machine learning pipeline for battery state-of-health estimation. Nature Machine Intelligence, 3, 447–456. https://doi.org/10.1038/s42256-021-00312-3

Saha, B., & Goebel, K. (2007). Battery data set [Conjunto de datos]. NASA Prognostics Data Repository, NASA Ames Research Center. https://www.nasa.gov/intelligent-systems-division/discovery-and-systems-

Severson, K., Attia, P., Jin, N., Perkins, N., Jiang, B., Yang, Z., Chen, M., Aykol, M., Herring, P., Fraggedakis, D., Bazant, M., Harris, S., Chueh, W., & Braatz, R. (2019). Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation. Nature Energy, 4, 383–391. https://doi.org/10.1038/s41560-019-0356-8

Tang, K., Luo, B., Chen, D., Wang, C., Chen, L., Li, F., Cao, Y., & Wang, C. (2025). The state of health estimation of lithium-ion

batteries: A review of health indicators, estimation methods, development trends and challenges. World Electric Vehicle Journal, 16(8), Article 429. https://doi.org/10.3390/wevj16080429

Thelen, A., Huan, X., Paulson, N., Onori, S., Hu, Z., & Hu, C. (2024). Probabilistic machine learning for battery health diagnostics and prognostics—review and perspectives. npj Materials Sustainability, 2, Article 14. https://doi.org/10.1038/s44296-024-00011-1

Wang, F., Zhai, Z., Zhao, Z., Di, Y., & Chen, X. (2024). Physics-informed neural network for lithium-ion battery degradation stable modeling and prognosis. Nature Communications, 15, Article 4332. https://doi.org/10.1038/s41467-024-48779-z

Yang, S., Zhang, C., Jiang, J., Zhang, W., Zhang, L., & Wang, Y. (2021). Review on state-of-health of lithium-ion batteries: Characterizations, estimations and applications. Journal of Cleaner Production, 314, Article 128015. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128015

Zhao, F., Gao, D., Cheng, Y., & Yang, Q. (2024a). Application of state of health estimation and remaining useful life prediction for lithium-ion batteries based on AT-CNN-BiLSTM. Scientific Reports, 14, Article 29026. https://doi.org/10.1038/s41598-024-80421-2

Zhao, F., Gao, D., Cheng, Y., & Yang, Q. (2024b). Estimation of lithium-ion battery health state using MHATTCN network with multi-health indicators inputs. Scientific Reports, 14, Article 18391. https://doi.org/10.1038/s41598-024-69424-1

Zhu, J., Wang, Y., Huang, Y., Gopaluni, R., Cao, Y., Heere, M., Mühlbauer, M., Mereacre, L., Dai, H., Liu, X., Senyshyn, A., Wei, X., Knapp, M., & Ehrenberg, H. (2022). Data-driven capacity estimation of commercial lithium-ion batteries from voltage relaxation. Nature Communications, 13, Article 2261. https://doi.org/10.1038/s41467-022-29837-w

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Vanessa Alexandra Vásconez Nuñez, Evelin Lissette Quinaluiza Arias, María Cristina Robayo Villarroel y Gema Viviana Carvajal Zambrano.

Declaraciones éticas y editoriales del artículo

Contribución de los autores (Taxonomía CRediT)

Vanessa Alexandra Vásconez Nuñez: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Evelin Lissette Quinaluiza Arias: curación y organización de los datos, participación en la recolección de información, validación de los resultados obtenidos y elaboración de representaciones gráficas y visualización de los datos.

María Cristina Robayo Villarroel: provisión de recursos académicos y materiales para el desarrollo del estudio, apoyo en la administración del proyecto investigativo y revisión editorial del manuscrito antes de su publicación.

Gema Viviana Carvajal Zambrano.: conceptualización de la investigación, diseño metodológico, desarrollo del proceso investigativo, análisis formal de los datos, redacción del borrador original del manuscrito, revisión crítica del contenido científico y supervisión general del estudio.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con la investigación presentada, la autoría del manuscrito ni la publicación del presente artículo.

Declaración de financiamiento

La presente investigación no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o de organizaciones sin fines de lucro. En caso de existir financiamiento institucional o externo, este deberá ser declarado explícitamente por los autores en esta sección.

Declaración del editor

El editor responsable certifica que el proceso editorial del presente artículo se desarrolló conforme a los principios de integridad científica, transparencia y buenas prácticas editoriales. El manuscrito fue sometido a un proceso de evaluación mediante revisión por pares doble ciego, garantizando la confidencialidad de la identidad de los autores y revisores durante todo el proceso de dictamen académico. Asimismo, el editor declara que el artículo cumple con los criterios científicos, metodológicos y éticos establecidos por la revista.

Declaración de los revisores

Los revisores externos que participaron en la evaluación del presente manuscrito declaran haber realizado el proceso de revisión de manera objetiva, independiente y confidencial. Asimismo, manifiestan que no mantienen conflictos de interés con los autores ni con la investigación evaluada, y que sus observaciones y recomendaciones se fundamentan exclusivamente en criterios científicos, metodológicos y académicos.

Declaración ética de la investigación

Los autores declaran que la investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica, garantizando la confidencialidad de los datos y el respeto a los participantes del estudio. En los casos en que la investigación involucre seres humanos, los procedimientos deben ajustarse a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki y a las normativas institucionales correspondientes.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que el uso de herramientas de inteligencia artificial, en caso de haberse utilizado durante el proceso de investigación o redacción del manuscrito, se realizó únicamente como apoyo técnico para mejorar la claridad del lenguaje o el análisis de información, manteniendo siempre la responsabilidad intelectual sobre el contenido del artículo. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron utilizadas como autoras del manuscrito ni sustituyen la responsabilidad académica de los investigadores.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los resultados de esta investigación estarán disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia, respetando las normas éticas y de confidencialidad establecidas por la investigación.