

Athenea

Revista en Ciencias de la Ingeniería

ISSN: 2737-6439

DOI: 10.47460/athenea

Volume 5, Issue 17

September 2024

Published by:

AutanaBooks
Engineering & Sciences

ATHENEA JOURNAL

JOURNAL IN ENGINEERING SCIENCES

Electronic Journal Edited By AutanaBooks.

Quarterly Periodicity

Our cover:



Athenea Journal reveals the importance of engineering in medical sciences and education

Volume 5 // Issue 17 // Jul-Sep 2024
DOI:10.47460/athenea
ISSN: 2737-6439

Viewing the Journal:
<https://athenea.autanabooks.com/index.php/revista>

TECHNICAL TEAM

Webmaster and Metadata
Ing. Ángel Lezama (Quito, Ecuador).
a2lezama@gmail.com

Graphic design and layout:
Adrián Hauser
(AutanaBooks, Ecuador).
adrian.hauser@gmail.com

Translator: Fausto Bartolotta
Via Francesco Crispi, 309/A
98028 Santa Teresa Di Riva, Provincia Messina
Italia
email: fbartolotta@gmail.com

The articles, opinions and collaborations that are published in this journal do not necessarily represent the informative or institutional philosophy of AutanaBooks SAS and may be reproduced with the prior authorization of the Publisher. In case of reproduction, please cite the source and send copies of the medium used to AutanaBooks, Sector Mitad del Mundo, Quito, Ecuador.

"by the grace of God"

Publisher: Dr. Franyelit Suárez,
<http://orcid.org/0000-0002-8763-5513>
editorial@autanabooks.com
AutanaBooks, Quito, Ecuador

DIRECTORY OF THE ATHENEA
JOURNAL IN ENGINEERING SCIENCES
ACADEMIC COMMITTEE

Dr. Luis Rosales.
Universidad Nacional Experimental Politécnica
"Antonino José de Sucre", Vice Rectorado Puerto Ordaz
luis.rosals2@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7787-9178>
Venezuela.

Dr. José García-Arroyo.
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
jagarcia@uees.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9905-1374>
España

Dr. Valentina Millano.
<https://orcid.org/0000-0001-6138-4747>.
millanov@fing.luz.edu.ve , millanov@gmail.com
Directora. Universidad del Zulia.
Centro de Estudios de Corrosión (CEC).
Venezuela.

PhD. Yajaira Lizeth Carrasco Vega
<https://orcid.org/0000-0003-4337-6684>
ycarrasco@undc.edu.pe
Universidad Nacional de Cañete
Lima, Perú.

Dr. Edwin Flórez Gómez
<https://orcid.org/0000-0003-4142-3985>
Universidad de Puerto Rico en Mayagüez
edwin.florez@upr.edu
Mayagüez, Puerto Rico

Dr. Hilda Márquez
<https://orcid.org/0000-0002-7958-420X>
Universidad Metropolitana de Quito,
amarquez@umet.edu.ec
Quito, Ecuador

Dr. Diana Cristina Morales Urrutia
<https://orcid.org/0000-0002-9693-3192>
dc.moralesu@uta.edu.ec
Universidad Técnica de Ambato
Ambato, Ecuador

Dr. Hernan Mauricio Quisimain Santamaria
<https://orcid.org/0000-8491-8326>
hernanmquisimalin@uta.edu.ec
Universidad Técnica de Ambato.
Ambato, Ecuador

DIRECTORY OF THE ATHENEA
JOURNAL IN ENGINEERING SCIENCES

ACADEMIC COMMITTEE

Dr. Hernan Mauricio Quisimain Santamaria
<https://orcid.org/0000-8491-8326>
hernanmquisimalin@uta.edu.ec
Universidad Técnica de Ambato.
Ambato, Ecuador

Dr. Yelka Martina López Cuadra
<https://orcid.org/0000-0002-3522-0658>
ylopez@unibagua.edu.pe
Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar
Leguía de Bagua
Bagua, Perú

Dra. Irela Perez Magin
<https://orcid.org/0000-0003-3329-4503>
iperezmagin@pupr.edu
Universidad Politécnica de Puerto Rico
San Juan, Puerto Rico

PhD. Alejandro Suarez-Alvites
<https://orcid.org/0000-0002-9397-057X>
alejandrosualvites@hotmail.com
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Peru, Lima

Dr. Neris Ortega
<https://orcid.org/0000-0001-5643-5925>
Universidad Metropolitana de Quito,
Quito, Ecuador
nortega@umet.edu.ec

Dr. Juan Carlos Alvarado Ibáñez
<https://orcid.org/0000-0002-6413-3457>
jalvarado@unibagua.edu.pe
Universidad Nacional Intercultural Fabiola
Salazar Leguía de Bagua
Bagua-Perú

Mgt. Juan Segura
<https://orcid.org/0000-0002-0625-0719>
juansegura@uti.edu.ec
Universidad Tecnológica Indoamérica
Quito, Ecuador

Dr. Jairo José Rondón Contreras
<https://orcid.org/0000-0002-9738-966X>
Instituto tecnológico de Santo Domingo
rondonjjx@gmail.com/
jairo.rondon@intec.edu.do República
Dominicana

Dr. Angel Gonzalez Lizardo
<https://orcid.org/0000-0002-0722-1426>
Polytechnic University of Puerto Rico
agonzalez@pupr.edu
Puerto Rico, San Juan

Dr. Wilfredo Fariñas Coronado
<https://orcid.org/0000-0003-2095-5755>
Polytechnic University of Puerto Rico
wfarinascoronado@pupr.edu
Puerto Rico, San Juan

Dra. Diana Cristina Morales Urrutia
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9693-3192>
dc.moralesu@uta.edu.ec
Universidad Técnica de Ambato
Ambato-Ecuador

Dr. Carlos Alberto Gómez Cano
<https://orcid.org/0000-0003-0425-7201>
Corporación Unificada Nacional de Educación
Superior – CUN.
carlos_gomezca@cun.edu.co
carlosgomez325@gmail.com
Florencia, Caquetá, Colombia.

Mgr. Benjamín David Carril Verastegui
<https://orcid.org/0000-0001-6010-0175>
bcarril@unitru.edu.pe
Universidad Nacional de Trujillo
Trujillo, Perú.

Dr. Luis Concepción Atoche Alcas
I.E. N° 14100 – Paita – Perú.
<https://orcid.org/0000-0003-1454-2129>
luisatochealcas16@gmail.com
Paita-Perú

Dr. Orlando Rafael Gil Rubio
<https://orcid.org/0009-0005-0964-7112>
Universidad Católica Andrés Bello, sede Ciudad
Guayana
orgil@unexpo.edu.ve; orgil@ucab.edu.ve;
ogil07@gmail.com.ve
Puerto Ordaz, Venezuela

Dr. Jesús Ramón López Hercules
Universidad Experimental Politécnica UNEXPO.
<https://orcid.org/0009-0006-4577-6728>
Jlopezz@unexpo.edu.ve
Puerto Ordaz, Venezuela.

Content

- 7 Brexys Linares-Rodriguez , Yomber Montilla-Lopez. ***Use of Maple in the teaching of physics in engineering.***
- 16 Ernesto Armando Nunez Avila , Jesus Ramon Lopez Hercules , Cesar Alfredo Bisier Marin, Genaro Jose Stabilito Casares. ***Genesis, lithology, and mineralogy iron ore deposits with high-grade metamorphism.***
- 26 Natalia P. Vazquez-Lebron, Juan Valera-Marquez, Ricardo Bravo-Perez. ***Use of artificial intelligence in medical classification for hemiplegic patients.***

Editorial

In a world where technological and social demands are growing exponentially, engineering is positioned as a key discipline to face the challenges of humanity. When applied to fields such as health and education, its impact transcends the technical, promoting comprehensive and sustainable well-being. In this edition, we explore how engineering tools, methodologies and technological developments are transforming the way we care for health and train future generations of engineers.

The field of engineering applied to health has proven to be a driver of innovation by integrating disciplines such as biomechanics, bioinformatics and biomedical engineering. From the development of high-precision medical devices to the creation of advanced algorithms for the early diagnosis of diseases, these technical solutions not only improve the quality of life, but also redefine the healthcare landscape. In this issue, we highlight research that illustrates the potential of computer simulation models to personalize medical treatments and optimize hospital resources, as well as the development of portable sensors capable of monitoring health indicators in real time.

In a complementary way, engineering education is also evolving towards a more inclusive and multidisciplinary approach. Active methodologies, such as project-based learning and virtual simulation, have proven to be effective tools for fostering critical thinking and problem-solving in future engineers. In addition, the use of emerging technologies, such as augmented reality and artificial intelligence, is revolutionizing learning spaces, allowing students to interact with real-world problems in controlled environments. This edition includes studies that analyze the effectiveness of these pedagogical tools and propose strategies to improve the training of engineers in an increasingly interconnected world.

We invite you to explore this issue, to question and to contribute with ideas that continue to drive the dialogue between engineering, health and education. Together, let us continue to build solutions that transcend borders and challenge the limits of what is possible.

Dr. Franyelit Suárez



Type of paper: paper review

Use of Maple in the teaching of physics in engineering

Brexys Linares-Rodríguez
<https://orcid.org/0009-0003-0423-4971>
blinares9307@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Yomber Montilla-López
<https://orcid.org/0000-0002-8592-248X>
ymontillal@uteq.edu.ec
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Quevedo, Ecuador

Correspondence author: blinares9307@utm.edu.ec

Received (13/01/2024), Accepted (25/06/2024)

Abstract. - This paper presents a theoretical analysis of the use of new technologies in teaching physics in engineering careers. Special emphasis is made using Maple software, since it is an easy-to-use and free-access tool, which allows students to learn quickly and efficiently, besides providing potential graphic resources. The literature is reviewed and the main results and proposals for academic development that can favor physics teaching in engineering and technical careers are presented. The results reveal that technology in education is a significant alternative to creating spaces for group interaction and learning, which includes computational skills as a valuable resource for the new professional.

Keywords: ICT in education, Maple, engineering, physics.

Uso de Maple en la enseñanza de física en ingeniería

Resumen: En este trabajo se presenta un análisis teórico sobre el uso de nuevas tecnologías en la enseñanza de la física en las carreras de ingeniería, se hace especial énfasis en el uso del software de Maple, por ser este una herramienta de fácil utilización y de acceso libre, que les permite un aprendizaje rápido y eficiente a los estudiantes, además de brindar un potencial en recursos gráficos. Se revisa la bibliografía y se exponen los principales resultados y las propuestas de desarrollo académico que pueden favorecer la enseñanza de física en ingeniería y en aquellas carreras técnicas. Los resultados revelan que el uso de la tecnología en la educación es una alternativa significativa para crear espacios de interacción grupal y de aprendizaje, que incluya las habilidades computacionales como un recurso valioso en el nuevo profesional.

Palabras clave: TIC en la educación, Maple, ingeniería, física.

I. INTRODUCTION

The use of new technologies in the teaching of physics in engineering has significantly transformed the way students learn fundamental concepts, integrating digital tools that enhance both theoretical understanding and practical application [1]. In a field where a deep understanding of physical principles is essential for solving complex problems, the incorporation of technologies such as interactive simulations, virtual labs, web-based learning environments, and augmented reality platforms has proven to improve academic performance and foster more meaningful learning.

Various studies [1]-[3] have highlighted the relevance of these technological resources in engineering education. According to a study conducted in Brazil, the use of simulations in virtual learning environments has been effective in teaching classical mechanics, allowing students to visualize physical phenomena that would otherwise be difficult to observe in a conventional laboratory. Similarly, other research suggests that the use of augmented reality environments has improved the understanding of electromagnetic concepts in electrical engineering students [2]. These technologies allow interaction with three-dimensional representations of magnetic and electric fields, helping students develop a clearer intuition about abstract phenomena.

Other authors confirm that virtual laboratories have been widely adopted in the teaching of physics for engineering, being integrated into university programs to complement traditional laboratory experiences [4]. In this way, the use of these labs not only increases accessibility for students but also facilitates real-time experimentation, allowing the repetition of experimental scenarios without the limitations of time or physical resources. Additionally, virtual laboratories offer an opportunity to explore scenarios that may be dangerous or impossible to recreate in a physical environment.

A competency-based learning approach has also been a key trend in the use of technologies in physics teaching. Previous research has shown that the impact of interactive platforms and online tutorials, along with the flexibility of access to interactive content, allows students to adjust the learning pace to their own needs, promoting greater autonomy and improving results in final assessments [5]. This transition to a new learning model aligns with the demands of the labor market, which requires engineers capable of applying theoretical concepts to solve real-world problems using advanced technological tools.

With these premises, it is also recognized that the integration of artificial intelligence (AI) and machine learning in the teaching of physics is beginning to show great potential. Preliminary studies have explored the use of AI-based virtual tutors to personalize the learning of complex concepts such as thermodynamics and quantum mechanics [6]. These tutors can adapt explanations and lesson pacing according to each student's progress and difficulties, providing immediate feedback and increasing the retention of key concepts.

This work is organized by beginning with this introduction, which outlines the general topic, followed by a theoretical development that acknowledges the relevance of concepts associated with technology in physics teaching, then with the methodology describing the evaluation of academic and scientific documents, continuing with the presentation of results and conclusions. Technological tools in engineering education have not only allowed students to access new ways of interacting with physical principles but also transformed the pedagogical approach, aligning it with the needs of a more practical and competency-oriented training. The contributions made by different authors and countries highlight the importance of continuing to explore and expand the use of these technologies in higher education.

II. DEVELOPMENT

Education is evolving rapidly. In developed countries, the use of technologies in engineering is increasingly advancing with the incorporation of tools that facilitate the understanding of concepts, though they do not replace them. This means that through the use of technology, it is possible to delve even deeper into scientific topics and appreciate their relevance.

Some authors [7] address how digitalization is reshaping education and training to promote sustainability, highlighting the crucial role of information and communication technologies (ICT) in this process. Additionally, emphasis has been placed on the integration of digital technologies, such as data analytics, and how this can enhance teaching and learning, particularly in the field of engineering, allowing for a more inclusive and sustainability-oriented education. This approach is key to meeting the Sustainable Development Goals (SDGs) in education.

Khalid and others [8] highlight that technological tools offer significant opportunities to improve student motivation and engagement, particularly in interactive environments. Through digital simulations, virtual labs, and multimedia resources, students can explore scientific and engineering concepts more practically and experimentally, leading to a greater understanding of complex topics. However, barriers are also noted, such as the lack of equitable access to technology in developing countries, and the difficulties faced by teachers in adequately integrating technologies into the classroom, requiring continuous support and training to maximize their impact.

In the context of engineering education, digital technologies not only facilitate more dynamic learning but also allow for the personalization and adaptation of teaching to the individual needs of students. Through intelligent tutoring systems and learning analytics, instructors can tailor lessons to particular learning styles, providing precise feedback and improving academic performance. Nevertheless, the effective incorporation of these technologies still faces challenges, highlighting the importance of a balanced approach that considers both the development of digital competencies and equity in access to technological resources [8].

Authors like Martínez and others [9] discuss the digital transition in engineering education, emphasizing the importance of integrating remote laboratories to complement practical training, especially in a context where information and communication technologies (ICT) play a crucial role. The authors emphasize the importance of creating laboratory networks that allow students to remotely access real experiments, ensuring more flexible and accessible learning. Remote laboratories have a key advantage: they are accessible without time restrictions. Additionally, they reduce the need for costly equipment and provide students with the opportunity to repeat practices as often as necessary, improving their understanding of concepts. Furthermore, these laboratories offer greater safety compared to physical labs, minimizing the risks of accidents and damage to equipment. This approach also fosters autonomy in learning, as students can conduct practices without the need for constant supervision.

However, significant challenges were experienced by engineering professors in universities around the world during the COVID-19 pandemic, as online teaching became the only available solution to continue the educational process. Among them were technical issues, a lack of effective interaction with students, and difficulties in maintaining integrity in online assessments. Furthermore, the quality of technological resources, such as IT support and internet access, was unsatisfactory for most teachers, negatively affecting the delivery of content and the execution of practical activities like labs.

Despite these challenges, online education has proven to have important advantages, such as the flexibility to access recorded classes and the reduction of costs associated with mobility. However, the lack of adequate practical experience, especially in engineering courses that require an experimental approach, has been one of the major drawbacks. These premises reinforce the need to adopt hybrid approaches and strengthen investment in professional development for teachers to ensure a smoother transition to digital learning [10].

Tools like Maple have stood out as a powerful resource for learning and teaching in engineering, providing a symbolic and numerical environment that allows students to solve complex problems efficiently [11]. Its use in engineering education facilitates the understanding of advanced mathematical concepts, such as differential and integral calculus, linear algebra, and differential equations, by offering dynamic visualizations and simulations that reinforce conceptual learning. Maple not only helps students perform precise calculations but also fosters critical thinking by allowing them to explore different approaches to solving engineering problems.

Additionally, Maple has proven to be a valuable tool for simulating physical systems and mathematical modeling, which is crucial in engineering fields such as mechanics, electricity, and thermodynamics. Teachers have also found Maple to be an ally in designing activities that promote active learning, such as real-time problem-solving during classes. Maple's ability to handle large volumes of data and generate high-quality visual results makes it an ideal platform for research and project-based learning, making it indispensable for modern engineering education [12].

These are some of Maple's main features:

- **Symbolic calculation:** Maple can manipulate algebraic expressions symbolically, enabling operations such as derivatives, integrals, simplifications, and solving symbolic equations, which is useful for solving complex problems in engineering and mathematics.
- **Numerical calculation:** In addition to its symbolic capabilities, Maple also allows high-precision numerical calculations, such as solving differential equations, optimization, and dynamic system simulations.
- **Graphical visualization:** Maple offers advanced visualization tools that allow the plotting of functions in 2D and 3D, creating interactive animations, and visualizing complex data, which facilitates the understanding of mathematical concepts and physical phenomena.
- **Simulation and modeling:** Maple can simulate physical systems and perform mathematical modeling, which is essential in fields like mechanical, electrical, and thermodynamic engineering.
- **Intuitive interface:** Maple's environment is designed to be user-friendly for both beginners and experts, with an interactive graphical interface that allows the creation of rich documents with mathematical content.
- **Programming language:** Maple includes its own programming language, enabling users to create customized scripts and algorithms to solve specific engineering or research problems.
- **Specialized libraries:** Maple has extensive mathematical and scientific libraries, including functions for linear algebra, calculus, probability and statistics, differential equations, and more.
- **Integration with other tools:** Maple can integrate with other software platforms and data formats, such as MATLAB, Excel, LaTeX, and CAD tools, facilitating its use in an interdisciplinary environment.

III. METHODOLOGY

This study conducted a documentary analysis on the use of technologies in engineering programs. Sources published in high- and medium-impact journals, as well as academic materials from other categories, were reviewed. Tables 1 shows the works selected from the different sources.

Table 1. Sources consulted.

Title	Material Type	Indexation Type
Evaluating the learning process of mechanical CAD students using virtual reality [1]	Scientific article	Scopus
Virtual reality systems: A method to evaluate the applicability based on the design context [2].	Conference	Scopus
Personalized learning tool for thermodynamics [3].	Scientific article	Scopus
Intelligent Tutoring System Using Decision Based Learning for Thermodynamic Phase Diagrams [4].	Scientific article	Scopus
An experience in using metaverses for the teaching of mechanical physics to engineering students [5].	Scientific article	Latindex
Intelligent systems applied to teaching programming in engineering [6].	Conference	N/A
Re-engineering education and training: Fostering digitalization for sustainability [7].	Scientific article	Latindex
A systematic review: Digital learning in STEM education [8].	Scientific article	Scopus
The challenge of digital transition in engineering: A solution made from a European collaborative network of remote laboratories based on renewable energies technology [9].	Scientific article	Scopus
Online Mode of Teaching and Learning Process in Engineering Discipline: Teacher Perspective on Challenges Faced and Recommendations [10].	Scientific article	Scopus
MAPLE program and academic performance in Civil Engineering students, mathematics area [11].	Scientific article	Latindex
Mathematics didactics and cognition of differential equations assisted by Maple 17 for civil engineering students [12].	Thesis	N/A
Tools for learning mathematics in engineering with Maple [13].	Thesis	N/A
Assistance of mathematical software in the study of differential calculus in engineering students [14].	Scientific article	Latindex

This selection of material was conducted considering the following inclusion criteria:

- The document considered the use of technology in engineering education.
- The document was published in recent years.
- The document outlined a clear methodology.
- The document was open Access.
- The document was written in either English or Spanish.

Additionally, an analysis was carried out to understand how technology is impacting the way engineering careers are taught in different countries around the world. The analysis also examined the impact of these technologies on the future professional landscape.

IV. RESULTS

Once analyzed the documents, the following was confirmed:

The main works published in recent years (2019 to present) have been received by journals indexed in Scopus (figure 1). It is observed that the number of publications has considerably decreased in recent years. This may be because the use of technologies in engineering education is now considered a common practice that has gained ground as a natural part of the discipline, rather than an innovation.

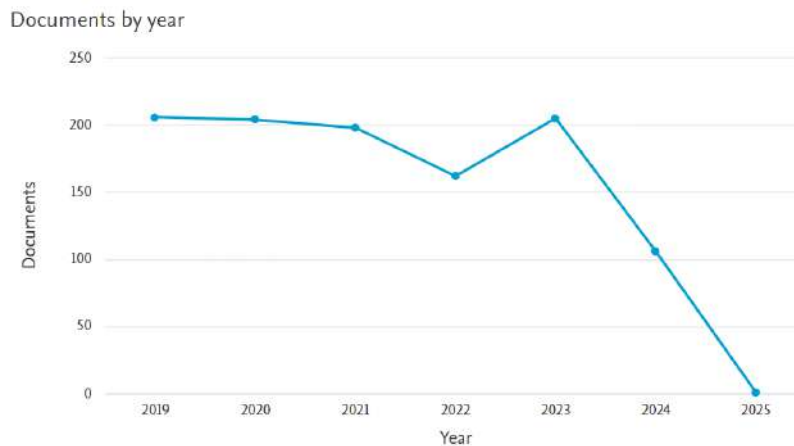


Fig. 1. Documents published per year in high-impact journals.
Source: [15].

Another aspect analyzed was the international affiliation of universities, noting that the institutions leading in the number of publications are Kherson State University and The Bulgarian Academy of Sciences, with about 10 documents each (fig. 2). These universities have been very active in research on technology applied to engineering education. Other notable institutions include Universitas Pendidikan Indonesia, Universitat Politècnica de Catalunya, and Tecnológico de Monterrey, which have a similar number of publications, around 8 documents. This indicates strong participation from these universities in the research and development of methodologies and technological tools to enhance engineering education.

In a lower range, with approximately 7 documents, are the Institute of Information and Communication, Lapin ammattikorkeakoulu, and Universiti Kebangsaan Malaysia. Finally, with a slightly lower number of publications is the Instituto Politécnico do Porto. These data reflect a global trend in researching technology applied to engineering education, where several institutions from different countries are significantly contributing to the development of the field. The variety of institutions involved, from Europe, Asia, and Latin America, underscores the global interest in improving teaching methods in engineering through the use of advanced technologies, suggesting that this is a topic of great international relevance.

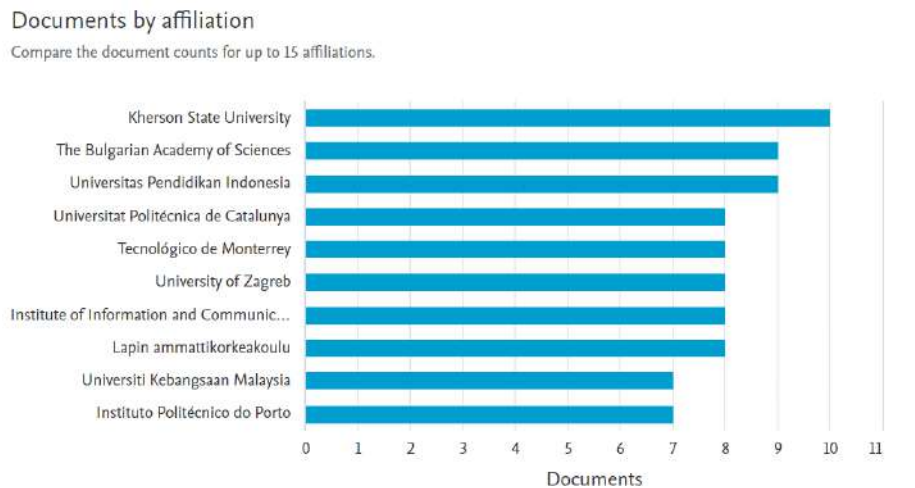


Fig. 2. Main affiliations observed in the publications.

Source: [15].

On the other hand, it was observed that conference articles are the predominant type of document, representing 62.9% of the total, with 681 documents. This suggests that much of the research in this field is presented and discussed at conferences, reflecting the importance of these events for disseminating new knowledge and advances in engineering education.

Scientific articles represent 27.9% of the total, with 302 documents, indicating a solid output in academic journals. This type of document is essential for the validation and peer review of advancements in the use of technology in engineering education. Other types of documents, such as book chapters (40 documents, 3.7%) and conference reviews (34 documents, 3.1%), have a smaller representation but remain relevant. Book chapters reflect an interest in offering broader approaches or collaborations that include multiple authors, while conference reviews compile advancements and discussions from academic events. Additionally, a marginal number of other types of documents were observed, such as reviews (18 documents, 1.7%), books (2 documents), errata, retracted documents, and one editorial, which together represent less than 1% of the total. These documents provide additional context to the advancements and also correct or adjust the published content.

Other observed results show that the use of remote laboratories in engineering programs is a powerful teaching tool, highlighting that simulations allow students to interact responsibly with engineering designs without risking equipment and personnel. However, achieving this requires adequate infrastructure that supports its application. Moreover, one of the most consistent findings is that the use of Maple significantly improves students' understanding of advanced mathematical topics, such as calculus, linear algebra, and differential equations. Studies have shown that students who use Maple tend to grasp abstract concepts better through graphical visualization and symbolic computation that the software facilitates.

Maple has been widely used in engineering courses to foster the development of analytical and problem-solving skills. By allowing students to experiment with different approaches to solving mathematical or simulation problems, Maple encourages a more exploratory learning environment. Students can evaluate different scenarios and verify the results of their solutions, enabling deeper and more autonomous learning. In this sense, engineers need to conduct simulations of physical systems and model complex phenomena. Maple has proven to be an effective tool in this regard, allowing students to create models of dynamic systems (such as control systems or electrical circuits) and simulate their behavior in real-time. This simulation capability not only enhances theoretical understanding but also allows for visualizing the effects of changes in system parameters, something that would be difficult to achieve with traditional methods.

Another important finding is that Maple helps students reduce the time required to perform complex calculations, enabling them to focus on interpreting the results and applying them to engineering problems. Instead of spending time on manual calculations that may be prone to errors, students can delegate these calculations to the software and instead concentrate on conceptualization and critical analysis. Several studies have found that the use of Maple in engineering classrooms increases student motivation and, consequently, improves their academic performance. Students reported feeling more engaged and motivated when using technological tools like Maple that allow them to interact more directly with concepts. In some cases, performance in exams and projects improved due to a stronger understanding of theoretical foundations.

A highlighted finding is that to maximize the benefits of using Maple, studies have shown that it is crucial to adequately train teachers in the use of the software. Those teachers who master Maple and effectively integrate it into their lessons provide a better learning experience for their students. This training enables teachers to design more enriching activities and problems, making the most of the software's capabilities.

CONCLUSIONS

Applied technologies, such as remote laboratories and interactive simulations, allow engineering students to access practical learning environments, even remotely, improving their understanding of complex concepts without the need for physical infrastructure. In this way, tools like Maple provide advanced 2D and 3D visualizations that help students intuitively grasp complex mathematical and engineering problems, enhancing their ability to solve differential equations, linear algebra, and simulations of physical systems.

The implementation of active methodologies, such as Peer Instruction combined with the use of ICT, fosters the development of critical thinking, collaboration among students, and increased participation in engineering classrooms. Thus, the use of Maple and other technologies enables a more flexible and personalized teaching approach, where students can progress at their own pace and repeat simulations or exercises, enhancing their mastery of concepts.

Moreover, the combination of active learning with digital tools, such as simulations with Maple, has been shown to increase long-term knowledge retention compared to traditional passive teaching methods, which is crucial in technical disciplines like engineering. Additionally, platforms like Maple, along with online learning and digital resources, promote students' self-efficacy by allowing them to explore different approaches and solutions to engineering problems, better preparing them for real-world situations.

Similarly, digital technologies, including software like Maple, help create a more dynamic and interactive learning environment that increases students' interest and motivation, making learning more engaging and accessible. Despite these advancements, the adoption of technologies like Maple faces challenges in developing countries due to a lack of access to quality technological resources and the need to train teachers in the effective use of these tools. In this context, Maple provides a robust environment for real-time simulation and modeling of physical systems, allowing students to experiment with diverse scenarios and evaluate different solutions, enhancing their ability to model real-world engineering problems. The use of these technologies in engineering education better prepares students for the workforce by teaching them to use tools they will encounter in the industry, promoting efficient and effective problem-solving.

REFERENCES

- [1] R. Hamade, H. Artail, and M. Jaber, "Evaluating the learning process of mechanical CAD students using virtual reality," *Computers & Education*, vol. 49, no. 3, pp. 640-661, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.compedu.2005.11.015.
- [2] M. Mengoni, M. Germani, and M. Bordegoni, "Virtual reality systems: A method to evaluate the applicability based on the design context," in *Proc. Int. Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, Sept. 2007, doi: 10.1115/DETC2007-35461.
- [3] Q. M. Clark and J. V. Clark, "Personalized learning tool for thermodynamics," in *2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, San Jose, CA, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/FIE.2018.8658894.
- [4] M. Hagge, M. Amin-Naseri, J. Jackman, E. Guo, S. Gilbert, G. Starns, and L. Faidley, "Intelligent Tutoring System Using Decision Based Learning for Thermodynamic Phase Diagrams," *Advances in Engineering Education*, vol. 6, no. 1, pp. 1-10, 2017.
- [5] J. A. Jaramillo-Mujica, L. F. Morales-Avella, and D. M. Coy-Mondragón, "Una experiencia en el uso de metaversos para la enseñanza de la física mecánica en estudiantes de ingeniería," *Revista Digital Educación en Ingeniería*, vol. 12, no. 24, pp. 20-30, 2017.
- [6] C. G. Bartoli and L. C. Díaz, "Proyecto: Sistemas inteligentes aplicados a la enseñanza de la programación en Ingeniería," in *XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 2012.
- [7] K. Kaur, J. Kaur, and R. Singh, "Re-engineering education and training: Fostering digitalization for sustainability," in *Digital Analytics Applications for Sustainable Training and Education*, 2024, pp. 191-209.
- [8] I. L. Khalid, M. N. S. Abdullah, and H. Fadzil, "A systematic review: Digital learning in STEM education," *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 98-115, 2025, doi: 10.37934/araset.51.1.98115.
- [9] M. Martínez, F. Segura, and J. M. Andújar, "The challenge of digital transition in engineering: A solution made from a European collaborative network of remote laboratories based on renewable energies technology," *Applied System Innovation*, vol. 6, no. 2, p. 52, 2023, doi: 10.3390/asi6020052.
- [10] S. Akhtar, M. Nadeem, M. Rashdan, B. Hussain, E. A. Ansari, and M. H. Aslam, "Online Mode of Teaching and Learning Process in Engineering Discipline: Teacher Perspective on Challenges Faced and Recommendations," *Education Sciences*, vol. 13, no. 2, p. 200, 2023, doi: 10.3390/educsci13020200.
- [11] R. Rayco and J. Yeudy, "Programa MAPLE y rendimiento académico en estudiantes de Ingeniería Civil, área de matemática, UNC 2019," *Revista Digital UNC*, 2022.
- [12] C. Uscovilca and M. Lorenzo, "Didáctica de la matemática y cognición de las ecuaciones diferenciales asistido por Maple 17 para estudiantes de ingeniería civil ciclo III 2018-2 de la Universidad Peruana los Andes Huancayo," *Revista de Investigación Educativa*, vol. 12, no. 3, pp. 41-50, 2021.
- [13] J. Guerrero Castelló, *Herramientas para el aprendizaje de las matemáticas en la ingeniería con MAPLE*, Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cataluña, 2009. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/2099.1/7386>.
- [14] U. C. Durán Pico and L. A. R. Alava, "Asistencia de softwares matemáticos en el estudio de cálculo diferencial en estudiantes de ingeniería: Assistance of mathematical software in the study of differential calculation in engineering students," *Revista Bases de la Ciencia*, vol. 3, no. 2, pp. 61-76, 2018.

Tipo de artículo: artículo de investigación

Génesis, litología y mineralogía de depósitos ferríferos con alto grado de metamorfismo

Ernesto Armando Núñez Avila
<https://orcid.org/0000-0002-1212-4719>
enunez@orinoco-iron.com
Orinoco Iron SCS
Ciudad Guayana, Venezuela

Jesús Ramón Lopez Hércules
<https://orcid.org/0009-0006-4577-6728>
jlopez@unexpo.edu.ve
UNEXPO Vicerrectorado Puerto Ordaz
Ciudad Guayana, Venezuela

Cesar Alfredo Bisier Marín
<https://orcid.org/0009-0007-6391-3260>
calfredbis@gmail.com
Universidad de Oriente - UDO
Ciudad Bolívar, Venezuela

Genaro José Stabilito Casares
<https://orcid.org/0009-0003-1301-8103>
genaros9500@gmail.com
Universidad de Oriente - UDO
Ciudad Bolívar, Venezuela

Correspondence author: enunez@orinoco-iron.com

Received (05/04/2024), Accepted (25/08/2024)

Resumen: En este estudio se presenta una investigación documental de la génesis del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro, ubicado en el Estado Bolívar, Venezuela, con énfasis en la mina de Los Barrancos, describiendo el origen de las cuarcitas ferruginosa y la formación por metamorfismo de las diferentes menas de hierro. La metodología para la evaluación de estas menas estuvo compuesta por una caracterización mineralógica, un análisis químico y una inspección macroscópica, para luego clasificarlas por su mineralogía y textura. Los principales resultados muestran que fue posible definir la génesis, la litología y la mineralogía de este depósito ferrífero.

Palabras clave: menas de hierro, litología, mineralogía.

Genesis, lithology and mineralogy iron ore deposits with high-grade metamorphism

Abstract. - This study presents a documentary investigation of the genesis of the San Isidro Ferrous Quadrilateral, located in the Bolivar State, Venezuela, with emphasis on Los Barrancos mine, describing the origin of the ferruginous quartzites and the formation by metamorphism of the iron-ore lithologies. The methodology for the evaluation of these ores was composed of a mineralogical characterization, a chemical analysis and a macroscopic inspection, to then classify them by their mineralogy and texture. The main results show that it was possible to define the genesis, lithology and mineralogy of this ferrous deposit.

Keywords: iron ore, lithology, mineralogy.

I. INTRODUCCIÓN

Las formaciones y depósitos de menas de hierro han sido de gran interés en el campo de la geología y la mineralogía, en la actualidad, con la alta demanda de acero a nivel global y mayores exigencias para hacer a los procesos industriales más productivos y con menores consumos energéticos e impactos ambientales, es de imperiosa necesidad, el conocer a fondo los orígenes y características de estas menas con el fin de optimizar su procesamiento. Los grandes productores de menas de hierro están dedicando líneas de investigación al estudio geometalúrgico de estos depósitos, un ejemplo de ello son las investigaciones llevadas a cabo por *The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)* en áreas de la génesis, geología, geometalurgia, exploración, minería y procesamiento de menas de hierro. Los depósitos de mineral de hierro alojados en formaciones de hierro representan la mayor parte de la producción mundial actual de mineral de hierro [1], los depósitos de alto tenor formados por enriquecimiento hidrotermal y supergénico de formaciones bandeadas de hierro (BIF o *Banded Iron-Formation*) constituyen la fuente más importante de minerales de hierro [2], por lo que es necesario el poder clasificar las menas de estos depósitos por su mineralogía y textura para poder definir sus mezclas que se adecuen a las exigencias del mercado siderúrgico.

Estudios similares al presentado en esta investigación se han desarrollado en la zona oriental de la India, encontrándose que la caracterización geoquímica y mineralógica de sus depósitos de hierro sugiere que las texturas de las menas de hierros masivas, laminadas duras, laminadas blandas y friable en microplacas (*blue dust*) tenían un linaje genético con las BIF ayudado con ciertos aportes de actividad hidrotermal [3]. Otro estudio, llevado a cabo en Carajás, Brasil, menciona que la génesis de los minerales de hierro lateríticos derivados de las BIF consiste principalmente en la disolución de bandas de cuarzo, oxidación, fracturación, colapso e hidrolización de algunos silicatos primarios y neoformación de minerales de hierro-aluminio, tales como como Al-goethita y gibbsita. La historia de la meteorización comienza con la oxidación de los cristales de magnetita a hematita, inicialmente preservando el volumen de BIF erosionado. La descomposición de cuarzo y la lixiviación de la sílice aumenta la porosidad, generando una gama de minerales de hierro altamente porosos. La pérdida de volumen provocó la rotura y el colapso de las bandas de hierro, mientras que el cuarzo se lixivia casi por completo. La corteza de hierro cubre el perfil de meteorización y contiene martita y hematitas en microplacas, cementadas con goethita [4].

Se espera que las investigaciones en las áreas mencionadas contribuyan en última instancia a mejorar procesos de beneficio y, por lo tanto, recuperación de Fe potencialmente mejorada [5], de allí la importancia de realizar una evaluación del cuadrilátero ferrífero San Isidro, del distrito ferrífero Piar, ubicado al sureste de Venezuela, siendo este el principal yacimiento de hierro en explotación en este país. El trabajo incluye un desarrollo donde se exponen aspectos teóricos, la metodológica aplicada, los resultados obtenidos y por último las conclusiones.

II. DESARROLLO

A. Menas y Minerales de Hierro

Una mena es una roca o material natural compuesto de un mineral o minerales de valor económico que puede extraerse con un beneficio razonable. Un mineral es, por definición, un sólido homogéneo de origen natural con una estructura definida, pero composición química no fija y disposición atómica muy ordenada. Puede ser formado por procesos tanto inorgánicos como orgánicos [6] y [7]. En inglés estos términos se denominan Ore para la mena y Mineral para el mineral. Los minerales de hierro más comunes son magnetita, hematita y goethita, que en conjunto representan aproximadamente más del 99% de los minerales contenidos en las menas de hierro comercializadas a nivel mundial [5]. La magnetita (Fe_3O_4) es un mineral de hierro común en depósitos de zonas metasedimentarias y de origen magmático.

La hematita (Fe_2O_3) se forma a partir de la oxidación de la magnetita en un ambiente superficial cercano y se puede lograr también mediante un cambio de pH sin reacciones de óxido-reducción. La goethita es un oxihidróxido de hierro ($\alpha\text{-FeOOH}$), que se cree que es el mineral de hierro más común en los depósitos sedimentarios y cercanos a la superficie, metasedimentarios alterados [5].

Algunos autores han reconocido que, si bien la mineralogía de muchas menas de hierro es relativamente simple, las texturas de estas menas suelen ser bastante complejas y están directamente relacionadas con la génesis de las menas del depósito. Además, se ha proporcionado evidencia de que son estas texturas complejas y no solo la mineralogía las que controlan el rendimiento de los procesos metalúrgicos [8] y [1].

B. Formaciones Geológicas de Menas de Hierro

La formación primaria de hierro no enriquecido es una fuente importante de mineral de hierro en muchas partes del mundo, especialmente en la República Popular China y América del Norte, e incluye tanto a las formaciones de magnetita y hematita ricas en hierro. En Australia, África, Brasil y Venezuela se ha extraído poco mineral de hierro no enriquecido minado hasta la fecha, debido a la presencia de recursos significativos de menas de alto tenor y fácilmente beneficiables de hematita y magnetita-goethita [5]. Se ha estimado que más del 95% de todos los depósitos de menas de hierro explotadas a la fecha de hoy son de origen sedimentario, originándose como precipitados químicos del agua del océano, de los cuales los depósitos de menas de hierro alojados en las formaciones de hierro son el ejemplo más abundante. Las formaciones de hierro se han dividido en tres subtipos según la textura y la edad geológica del huésped de la formación de hierro: Las formaciones bandeadas de hierro (BIF o Banded Iron-Formation), Las formaciones granulares de hierro (GIF o Granular Iron-Formation) y Las formaciones de hierro rapitan (RIF o Rapitan Iron-Formation) [2].

Las BIF, se depositaron en cuencas intracratónicas de márgenes continentales pasivas, plataformas, durante períodos de alto nivel del mar, transgresivos, particularmente en el Neoarqueozoico y en el Paleoproterozoico. El hierro en estas formaciones es de origen volcánico hidrotermal (exhalativo) [9].

C. Depósitos de Menas de Hierro en Venezuela

En Venezuela se pueden identificar, por lo menos, los siguientes sistemas fisiográficos, controlados por las características litológicas y tectónicas de cada región: Sistema Andino, Sistema Montañoso del Caribe, Precordilleras y Pie de monte, Planicie del Lago de Maracaibo y Planicies Costeras, Sistema de los Llanos, Sistema Deltáico Oriental y el Escudo de Guayana [9]. El Escudo de Guayana se extiende al sur del Río Orinoco. En este, fisiográficamente, se diferencian cuatro provincias geológicas: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima [9]. Imataca es la provincia del hierro y, en ella se pueden distinguir, según el tamaño del grano, tres grandes tipos de depósitos de menas de hierro, que son los siguientes [10]: Depósitos de hierro de grano grueso (mayor a 1 mm), tipo El Pao, Las Grullas y Picoa; Depósitos de hierro de grano medio (1 mm), tipo Cerro María Luisa; y Depósitos de hierro de grano fino (menor a 1 mm), tipos Cerros Bolívar, San Isidro, Los Barrancos, El Trueno, Altamira, Redondo, Toribio y Arimagua. Los depósitos de menas de hierro, que se cree que son de tipo Algoma o Lago Superior, son abundantes en la provincia Imataca, pero, porque las rocas de la provincia Imataca están muy deformadas y metamorfoseadas en anfíbolita y facies de granulita, el ambiente de deposición de las menas de hierro es difícil de determinar y asignar a este modelo, es incierto. Estos depósitos de hierro están compuestos de finas y alternas capas de minerales de cuarzo y óxido de hierro (hematita, goethita y en menor proporción magnetita) [11].

El Distrito Ferrífero Piar, donde en la actualidad se ejecutan las operaciones mineras en Venezuela, tiene como basamento las BIF anfibolitas, gneises piroxénicos y gneises tonalíticos. Mendoza considera a las menas de hierro tipo Cerro Bolívar y San Isidro, equivalentes al tipo Dos Carajás en Brasil y recomienda que el Complejo metamórfico de Imataca debe ser re-estudiado con mucho mayor detalle, tanto geológica como geoquímica y geofísicamente, así como tratar de obtener nuevas determinaciones radiométricas, para determinar los diferentes eventos tectonometamórficos y el protolito registrados en esas rocas [9]. Este Distrito Ferrífero se originó a partir de la cuarcita ferruginosa de Imataca mediante enriquecimiento supergénico. El proceso de generación de los minerales consistió en la eliminación por meteorización de la sílice y silicatos de las cuarcitas ferruginosas, y la consiguiente concentración residual de óxidos e hidróxidos de hierro. El proceso de enriquecimiento supergénico de las cuarcitas ferruginosas ha originado diferentes tipos de minerales según la intensidad y naturaleza del proceso. Los principales cambios son: la magnetita se oxida a hematita y martita, los minerales de ganga como piroxenos y anfíboles se reemplazan por goethita, lo que da como resultado esencialmente hematitas – goethitas – minerales de martita, figura 1 [12].

Los depósitos de menas de hierro tipo el Cerro Bolívar y San Isidro (con los siguientes tipos de menas desde la superficie a la zona profunda: cangas y ripios, costras, finos marrones, finos negros, finos negros silíceos y cuarcitas parcialmente lixiviadas), figura 1, se formaron por lixiviación de sílice (son tipo óxidos), a 600-800 m.s.n.m., nivel Imataca, desde hace unos 20 o más millones de años a partir de "itabiritas" o cherts ferruginosos, de grano fino a muy fino [13].

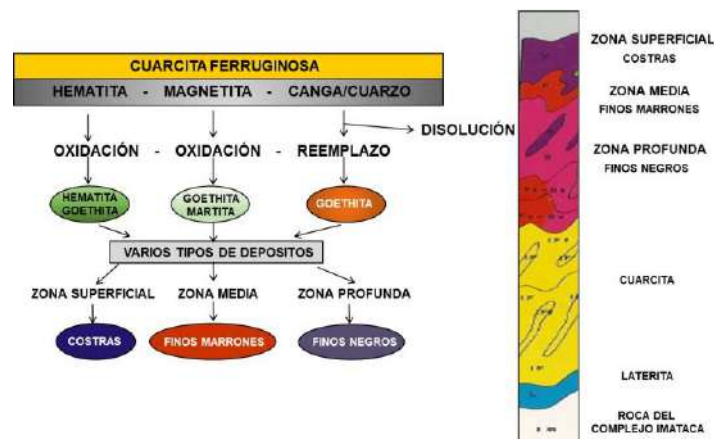


Fig. 1. Esquema del enriquecimiento supergénico de las menas de hierro del cuadrilátero ferrífero San Isidro.

El Cuadrilátero Ferrífero de San Isidro representa la mayor de las reservas de hierro conocido en Venezuela. Está ubicado en la parte más meridional de la provincia Imataca cerca de la zona de la falla de Guri y consta de cuatro yacimientos: San Isidro, Las Pailas, San Joaquín y Los Barrancos. De acuerdo a Ferencic las menas se depositaron como un precipitado químico de origen volcánico exhalativo. La composición química promedio del mineral del cuadrilátero es Fe, 61-68 por ciento; SiO₂, 0,5-4,05 por ciento; Al₂O₃, 0,6 por ciento; PPC, 3-4 por ciento; y P₂O₅, 0,01-0,45 por ciento [14].

Venezuela ocupa la novena posición a nivel mundial en reservas de mineral de hierro y cuarta posición a nivel del continente americano. Dispone de 14.575 millones de toneladas en reservas geológicas, de las cuales 18% son medidas, 17% indicadas y 65% inferidas. De un total de 2.651 millones de toneladas de reservas medidas, el 51% (1.353 MMT) son de alto tenor y de 1.299 millones de toneladas medidas de mineral de bajo tenor friable [15]. La ubicación de estos yacimientos se muestra en la figura 2 [15].

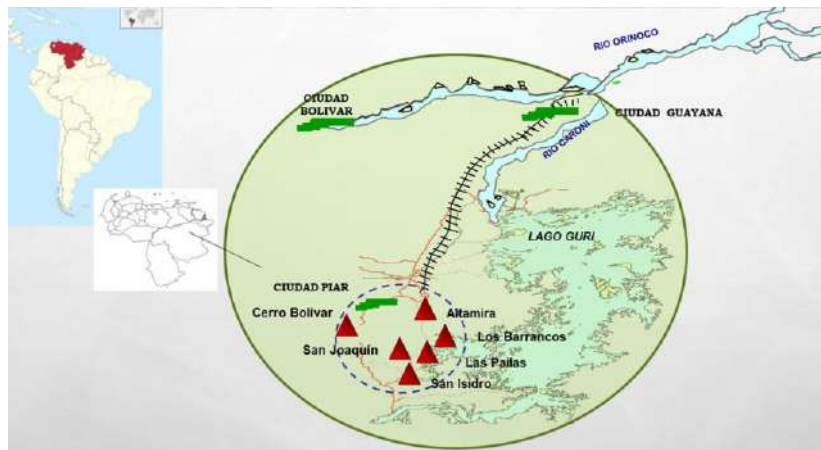


Fig. 2. Localización de los principales yacimientos de hierro en Venezuela.

III. METODOLOGÍA

La presente investigación partió de un análisis documental para el estudio de la génesis de cuadrilátero ferrífero San Isidro, acompañada de una investigación cuantitativa descriptiva, al realizar un muestreo por conveniencia, representativo de las menas de hierro presentes en el yacimiento, para su posterior caracterización tecnológica, y así determinar su mineralogía, composición química y textura. El criterio utilizado para la aplicación del muestreo por conveniencia es debido a que este estudio, desde el punto de vista geológico, es exploratorio y porque debido a las condiciones del yacimiento es difícil y costoso realizar un muestreo probabilístico. Es importante mencionar que para la selección de las zonas de muestreo y toma de los incrementos se tomó en cuenta el modelo geológico, lo que permite hacer más representativas a las muestras recolectadas.

La caracterización tecnológica incluyó análisis químicos, físicos, estudios macroscópicos y microscópicos con el fin de comprender las características texturales y microestructurales de las menas. Los métodos de análisis aplicados fueron: la titulación por vía húmeda, la foto-colorimetría, la absorción atómica, la espectrometría de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la fluorescencia de rayos X, siguiendo los estándares de las normas ISO para garantizar la precisión y reproducibilidad de los resultados. Los estudios macroscópicos se realizaron con la observación directa, uso de lupas y amplificador de imagen digital USB, considerando las siguientes características físicas: Color, Brillo, Forma, Textura, Fractura y Tenacidad, utilizando el formulario "Identificación y cuantificación de menas de hierro", donde son clasificadas las menas de acuerdo a las características mencionadas. Las texturas fueron determinadas por revisión bibliográfica y comparación con imágenes de otras menas de minerales, no se consideraron estudios adicionales debido al alcance de la investigación que abarca solo la clasificación de las menas por mineralogía y textura. Para la microscopía óptica se utilizó un microscopio de luz polarizada para la detección de los minerales presentes y con una preparación de muestras que requirió su molienda a un tamaño de partícula menor a 325 mallas y su montaje en baquelita. El método utilizado para determinar la composición mineralógica (porcentaje en peso) fue el conteo de las especies mineralógicas por campo de visión del microscopio (500 partículas equivalentes a 50 campos), en una porción de muestra que le es medido su volumen aparente. El conteo de partículas se registra en un formato para posteriormente proceder a calcular las proporciones volumétricas y las proporciones en peso ponderadas por la densidad de los minerales. La aplicación de esta metodología fue porque permitió diferenciar los tipos de hematita y su accesibilidad. Al ser caracterizadas mineralógicamente las menas de hierro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro es notoria la gran variabilidad en cuanto a proporciones y minerales presentes (tabla 1), confirmándose las alternancias de capas de minerales de óxido de hierro (hematita, goethita y en menor proporción magnetita) y que los depósitos se originaron por metamorfismo y enriquecimiento supergénico (secundario) por lixiviación.

IV. RESULTADOS

Tabla 1. Mineralogía de Menas de Hierro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro.

Mena	%Peso				
	Hematita	Ghoethita	Magnetita	Cuarzo	Agregado Terroso
Finos Negros (FN)	98,90	0,02	0,37	0,61	0,00
Finos Negros Silíceos (FNS)	96,13	1,46	1,54	0,86	0,00
Ultra Finos Negros (UFN)	99,90	0,03	0,03	0,04	0,00
Finos Marrones (FM)	78,40	17,22	2,65	0,00	1,69
Finos Marrones Silíceos (FMS)	75,13	11,90	2,32	10,18	0,35
Costra Hematítica (CH)	88,66	7,92	3,10	0,00	0,33
Costra Laminada (CLa)	64,24	34,72	0,17	0,00	0,86
Costra Masiva (CM)	53,37	45,55	0,19	0,00	0,88
Costra Limonítica (CLi)	35,45	62,31	0,11	0,07	2,06
Canga	59,13	38,82	0,42	0,36	1,27

Al evaluar la mineralogía de las menas de la superficie (costras) a zona profunda (finos) se observa que las menas se van deshidratando (menor contenido de goethita). En las costras, sin considerar la hematítica, el rango de contenido de goethita es del 34,72% al 62,31%, los finos marrones, que se podrían considerar una degradación de las costras, tienen un contenido de goethita de 11,90 a 17,22% y por último los finos negros con muy bajos contenidos de goethita de 0,02 a 1,46%. Todo lo contrario, ocurre con los contenidos de hematita que se va enriqueciendo desde un 35,45% para la Costra Limonítica hasta un 98,90% para los Finos Negros (figura 3).

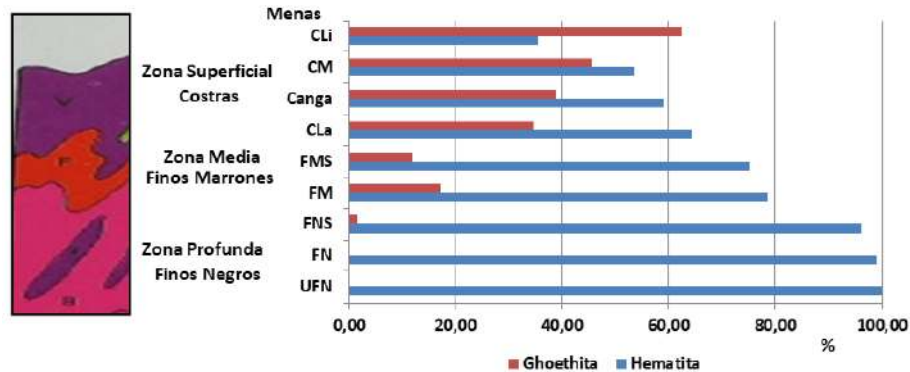


Fig. 3. Porcentajes de hematita y goethita en Menas de Hierro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro agrupadas por zona superficial, media y profunda del yacimiento.

Debido al metamorfismo presente, de oxidación, reemplazo y disolución, de igual manera se presentan diferentes tipos de hematitas (tabla 2), siendo resaltante la presencia de proporciones altas de martita en la costra limonítica, costra laminada, finos marrones y finos negros.

Tabla 2. Mineralogía de Menas de Hierro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro – Tipos de Hematitas.

Mena	%Peso					
	Hematita Tabular	Hematita Granular	Hematita Tabular Policristalina	Hematita Granular Policristalina	Hematita Lobular	Martita
Finos Negros	14,29	14,01	3,50	8,56	17,13	41,41
Finos Negros Síliceos	3,67	2,92	3,04	3,74	71,75	11,01
Ultra Finos Negros	28,42	49,17	5,79	10,87	2,17	3,47
Finos Marrones	4,06	2,98	1,72	1,55	47,29	20,80
Finos Marrones Síliceos	6,15	8,65	0,00	0,00	13,92	46,41
Costra Hematítica	23,21	35,16	0,19	0,31	23,89	5,89
Costra Laminada	0,00	0,00	0,00	0,00	25,74	38,50
Costra Masiva	9,77	13,39	0,47	0,19	22,64	6,92
Costra Limonítica	0,93	1,41	0,00	0,11	16,67	16,34
Canga	13,38	14,63	0,53	0,53	22,67	7,37

En términos generales, se pueden considerar a las menas de hierro de Cuadrilátero Ferrífero San Isidro como menas hematíticas – ghoetíticas, (tabla 3) siendo las hematíticas los finos negros y la costra hematítica, esperándose altos contenidos de hierros en estas menas, en el resto de menas prevalece también una alta proporción de hematita combinada con goethita. Solo la costra limonítica presentó un mayor contenido de goethita. Se le agrega la clasificación de hematítica martítica para algunas menas por la alta proporción presente de este tipo de mineral.

La mineralogía en conjunto con su génesis define la textura de las menas de hierro, para evaluarlas se consideró el mismo criterio aplicado a la mineralogía, de superficie (costras) a zona profunda (finos) (tabla 3). En el tope o superficie encontramos menas duras cementadas por la presencia de minerales hidratados (goethita) y minerales de ganga, debido al efecto de la deshidratación y lixiviación se modifica su textura a menas blandas y friables en la base o zona profunda del depósito.

Tabla 3. Clasificación de Menas de Hierro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro por Mineralogía y Textura.

Mena	Mineralogía	Textura
Finos Negros	Hematítica Martítica	Friable Microplacas
Finos Negros Síliceos	Hematítica	Friable Microplacas
Ultra Finos Negros	Hematítica	Friable Microplacas
Finos Marrones	Hematítica Martítica – Ghoetítica	Friable Microplacas
Finos Marrones Síliceos	Hematítica – Ghoetítica	Friable Microplacas
Costra Hematítica	Hematítica	Dura Bandeada
Costra Laminada	Hematítica Martítica – Ghoetítica	Dura Laminada
Costra Masiva	Hematítica – Ghoetítica	Dura Masiva -
Costra Limonítica	Ghoetítica – Hematítica	Blanda Terrosa
Canga	Hematítica – Ghoetítica	Dura Cementada

Su condición de mena con textura bandeada, laminada, masiva, terrosa o cementada es dada por las condiciones de presión y temperatura a la que ha estado sometida la roca durante su metamorfismo. Las texturas de las menas son típicamente complicadas y están directamente relacionadas a la génesis del depósito de mena y es esta compleja textura y no la mineralogía solamente que controla el comportamiento en un proceso metalúrgico [1]. La dureza es claramente independiente de solo la mineralogía, por ejemplo, las menas hematíticas varían de duras (costra hematítica) a friables (finos negros). Las menas duras tienen baja porosidad con mineralogías hematíticas – goethíticas, hematíticas martíticas – goethíticas. Friable es el término usado para describir las menas que pueden ser fácilmente desmenuzables manualmente. Blanda es el término usado cuando la mena puede ser removida in situ manualmente o con un cargador frontal [6]. En la figura 4 se pueden observar las diferentes texturas de algunas menas de hierro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro.



Fig. 4. Menas de hierro. (a) Finos Negros – Textura Friable en Microplacas, (b) Costra Hematítica – Textura Dura Bandeada, (c) Costra Masiva – Textura Dura Densa, (d) Costra Limonítica – Textura Blanda Terrosa. Aumento 50X.

Al evaluar los contenidos de hierro en las menas (tabla 4) se pueden considerar de alto tenor, siendo los de más alto tenor los finos negros y la costra hematítica, debido a su bajo contenido de ganga. Los minerales hidratados (costras) poseen mayores contenidos de ganga con altos contenidos de alúmina y fósforo. Como es de esperarse las menas más hidratadas (mayor contenido de goethita) presentaron mayor pérdida por calcinación.

Tabla 4. Análisis Químicos y PPC de Menas de Hierro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro.

Mena	%Peso					
	FeT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	S	PPC
Finos Negros	69,20	0,39	0,23	0,015	0,005	0,25
Finos Negros Silíceos	67,76	1,77	0,37	0,022	0,003	0,71
Ultra Finos Negros	69,50	0,08	0,07	0,006	0,001	0,09
Finos Marrones	64,83	0,36	0,69	0,079	0,028	3,82
Finos Marrones Silíceos	64,87	3,99	0,22	0,066	0,002	2,73
Costra Hematítica	68,42	0,17	0,14	0,036	0,004	1,83
Costra Laminada	65,77	0,26	0,43	0,091	0,013	5,10
Costra Masiva	64,30	0,68	0,77	0,105	0,015	6,19
Costra Limonítica	62,08	0,42	1,57	0,149	0,032	8,54
Canga	65,85	0,76	0,66	0,092	0,020	3,67

Nota: % CaO, MgO, MnO y TiO₂ menores a 0,05.

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis documental realizado, la génesis del cuadrilátero ferrífero San Isidro se puede describir como formaciones de hierro bandeada (BIF), con depósitos de hierro de grano fino debido a un alto grado de metamorfismo y que se originaron a partir de la cuarcita ferruginosa de la Provincia de Imataca mediante enriquecimiento supergénico. Los cambios metamórficos presentes son: la magnetita se oxida a hematita y martita, los minerales de ganga como piroxenos y anfíboles se reemplazan por goethita, lo que da como resultado esencialmente hematitas – goethitas – minerales de martita. Varios autores relacionan al cuadrilátero ferrífero San Isidro con los tipos de depósitos tipo Lago Superior y Dos Carajás, basado en su origen de las BIF y su enriquecimiento supergénico, diferenciándose por su alto metamorfismo, recomendando nuevos estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos con mucho mayor detalle, así como tratar de obtener nuevas dataciones isotópicas con el fin de mejorar estas comparaciones. Las litologías de estos depósitos de hierro están compuestas de finas y alternadas capas de minerales de cuarcita y óxido de hierro, con los siguientes tipos de menas desde la superficie a la zona profunda: cangas y ripios, costras, finos marrones, finos negros, finos negros silíceos y cuarcitas parcialmente lixiviadas.

El estudio mineralógico realizado a las menas de hierro, presentes en el depósito, confirman su enriquecimiento supergénico desde menas hidratadas (hematíticas – goethíticas) en la superficie (costras) a menas hematíticas - martíticas (finos) en la zona profunda. En base a los resultados de los análisis químicos, las menas de hierro del cuadrilátero ferrífero San Isidro se pueden considerar de alto tenor desde 62,08% hasta 69,20% de hierro, presentando las menas hidratadas (costras) altos valores de ganga y PPC. Debido a su tenor se pueden considerar a estas menas de alto valor económico. Las menas de hierro evaluadas del depósito presentaron diferentes texturas desde duras masivas a blandas y friables en microplacas, lo que es indicativo del alto grado de metamorfismo a que han sido sometidas, confirmando su génesis. Es de esperarse, debido a su textura y mineralogía, diferentes comportamientos de las menas del cuadrilátero ferrífero San Isidro en los procesos metalúrgicos, de ahí la importancia de su caracterización tecnológica con un enfoque geometalúrgico.

RECONOCIMIENTOS

Agradecimiento de los autores a las empresas Orinoco Iron S.C.S. y CVG Ferrominera Orinoco C.A. por permitir el desarrollo de esta investigación en sus instalaciones.

REFERENCIAS

- [1] J. Clout, "Iron formation-hosted iron ores in the Hamersley Province of Western Australia", Applied Earth Science: IMM Transactions section B, pp. 115–125, diciembre 2006.
- [2] J. Gutzmer y N. Beukes, "Iron and manganese ore deposits: mineralogy, geochemistry, and economic geology", Geology, vol. 4. Eolss Publishers Co. Ltd/UNESCO, Oxford, Reino Unido, ISBN: 978-1-84826-007-8, 2009, pp 43-69, Resumen disponible en: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c01/e6-15-06-03.pdf>
- [3] R. Subrata y A. Venkatesh, "Mineralogy and geochemistry of banded iron formation and iron ores from eastern India with implications on their genesis", J. Earth Syst. Sci. 118, No. 6. pp. 619–641, December 2009.
- [4] A. Sousa y M. Lima, "Genesis of the "soft" iron ore at S11D Deposit, in Carajás, Amazon Region, Brazil", Brazil Journal of Geology, Vol. 50, Número:1, pp. 1-19, Mayo 2020.
- [5] L. Liming, "Iron Ore. Mineralogy, processing and environmental sustainability", 2da. Edición, Elsevier Ltd, 2022, pp 59-107.
- [6] O. Thalhammer y A. Mogessie, "Ore mineralogy", Geology, vol. 3, Eolss Publishers Co. Ltd/UNESCO, Oxford, Reino Unido, 2009, pp 245-281, Resumen disponible en: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c01/E6-15-05-06.pdf>.
- [7] P. Tropper, "Introduction to the mineralogical sciences", Geology, vol. 3, Eolss Publishers Co. Ltd/UNESCO, Oxford, Reino Unido, 2009, pp. 1-59, Resumen disponible en: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c01/e6-15-05-00.pdf>.

- [8] R. C. Morris, "A textural and mineralogical study of the relationship of iron ore to banded iron formation in the Hamersley iron province of Western Australia", *Econ. Geol.* 75, pp 184–209, Abril 1980.
- [9] V. Mendoza, "Geología de Venezuela". Tomo I. Gran Colombia Gold Corp. Bogotá, 2012, pp. 91-100.
- [10] G. Ascanio, "Yacimientos de mineral de hierro del Precámbrico de Venezuela". 1er Simp. Amazónico. Puerto Ayacucho. Ven., *Bol. Geól. Publ. Esp.* N°10, pp. 464-473, 1985.
- [11] P. Cox, N. Page y F. Gray, "Algoma- and Superior-Type Iron Deposits", *Geology and Mineral Resource Assessment of the Venezuelan Guayana Shield*, U.S. Geological Survey and Corporación Venezolana de Guayana, Técnica Minera, C.A., pp. 58-61, 1992.
- [12] C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. "The mining of iron ore in Venezuela ", Technical presentation, FMO, pp. 16-17, 1992.
- [13] J. Ruckmick, "The Iron Ores of Cerro Bolivar, Venezuela". *Econ. Geol.*, Vol. 58, Núm. 2, pp. 218-236, Abril 1963.
- [14] A. Ferencic, "Geology of the San Isidro iron ore deposit, Venezuela", *Mineralium Deposita*, Vol. 4, No. 3, pp. 283-297, septiembre 1969.
- [15] Corporación Venezolana de Guayana (CVG), "La ventaja estratégica del Hierro, Acero y Aluminio en Guayana", presentada en la ExpoMetal, Puerto Ordaz, Venezuela, 2024.

LOS AUTORES



Núñez Avila Ernesto Armando, de nacionalidad venezolana, MsC en Ingeniería Metalúrgica, Doctorando en Ciencias de la Ingeniería en la UNEXPO. Superintendente de I & D Orinoco Iron S.C.S. y docente de postgrado en la UNEXPO Puerto Ordaz. Especializado en el área Siderúrgica y Geometalurgia.



Lopez Hércules Jesús Ramón de nacionalidad venezolana, PhD en Ingeniería Metalúrgica y Materiales. Investigador y Docente de Postgrado en la UNEXPO Puerto Ordaz. Especializado en Procesos Metalúrgicos del Hierro y Aluminio.



Bisier Marín Cesar Alfredo, de nacionalidad venezolana, Ingeniero Geólogo de la Universidad de Oriente (UDO). Especializado en Minería de Hierro y Geometalurgia.



Stabilito Casares Genaro José, de nacionalidad venezolana, Ingeniero Geólogo de la Universidad de Oriente (UDO). Especializado en Geología de Yacimientos de Petróleo, Geología de Yacimientos de Hierro, Planificación Minera y Operaciones Mineras.

Tipo de artículo: artículo de investigación

Uso de la inteligencia artificial en la clasificación médica de pacientes hemipléjicos

Natalia P. Vázquez-Lebrón
<https://orcid.org/0009-0002-5091-4655>
vazquez_131431@students.pupr.edu
Biomedical Engineering Department
Politechnic University of Puerto Rico
Puerto Rico, Estados Unidos

Juan Valera-Marquez
<https://orcid.org/0009-0009-6470-6049>
jvalera@pupr.edu
Biomedical Engineering Department
Politechnic University of Puerto Rico
Puerto Rico, Estados Unidos

Ricardo Bravo-Pérez
<https://orcid.org/0000-0002-8554-3797>
rbravo@pupr.edu
Biomedical Engineering Department
Politechnic University of Puerto Rico
Puerto Rico-Estados Unidos

Correspondence author: vazquez_131431@students.pupr.edu

Received (15/12/2023), Accepted (6/07/2024)

Resumen: Este estudio explora un sistema de redes neuronales basado en aprendizaje automático que utiliza MATLAB para clasificar la hemiplejía, una enfermedad que causa parálisis en un lado del cuerpo. Se desarrolló un algoritmo para categorizar a los pacientes en cuatro tipos de hemiplejía establecidos. Se utilizaron técnicas como el Análisis de Componentes Principales (PCA) y los Mapas Autoorganizados (SOM) para la reducción de la dimensionalidad y la agrupación de datos, mientras que una Red Neuronal Convolutiva (CNN) refinó la clasificación. El algoritmo identificó distintos subgrupos dentro de las categorías, lo que indica una estructura de datos más compleja. A pesar de los resultados prometedores para ayudar al diagnóstico clínico, es necesaria la exploración de estas subcategorías con mayor profundidad.

Palabras clave: inteligencia artificial, hemiplejía, estudios clínicos, SOM, tratamiento médico.

Use of artificial intelligence in medical classification for hemiplegic patients

Abstract. - This study explores a machine learning-based neural network system that uses MATLAB to classify hemiplegia, a disease that causes paralysis on one side of the body. An algorithm was developed to categorize patients into four established types of hemiplegia. Techniques such as Principal Component Analysis (PCA) and Self-Organizing Maps (SOMs) were used for dimensionality reduction and data clustering, while a Convolutional Neural Network (CNN) refined the classification. The algorithm identified distinct subgroups within the categories, indicating a more complex data structure. Despite promising results to aid clinical diagnosis, further exploration of these subcategories is needed.

Keywords: artificial intelligence, hemiplegia, clinical studies, SOM, medical treatment.

I. INTRODUCCIÓN

La hemiplejía, se caracteriza por la parálisis de un lado del cuerpo y puede ser temporal o permanente dependiendo de su gravedad. Este trastorno afecta principalmente a personas que han sufrido accidentes cerebrovasculares, lesiones traumáticas en el cerebro o la médula espinal, o lesiones en la infancia temprana. Los pacientes con hemiplejía enfrentan desafíos significativos en su movilidad y calidad de vida, y su tratamiento adecuado depende de un diagnóstico preciso que clasifique correctamente el tipo de hemiplejía que presentan. La clasificación médica de este trastorno se realiza en cuatro categorías principales (Tipo I, II, III y IV), cada una con implicaciones terapéuticas distintas. El diagnóstico erróneo de la hemiplejía es un problema serio que afecta a una cantidad considerable de pacientes. Según estudios recientes, se estima que más del 20% de los casos de hemiplejía son diagnosticados erróneamente y hasta el 66% de los diagnósticos iniciales son incorrectos. Estas cifras reflejan la necesidad urgente de mejorar los métodos de diagnóstico, ya que un error en la identificación del tipo de hemiplejía puede llevar a tratamientos inadecuados o incluso a la falta de intervención oportuna, lo que impacta negativamente en la recuperación del paciente. La inteligencia artificial (IA) se ha convertido en una herramienta prometedora para abordar los desafíos del diagnóstico en diversas disciplinas médicas, incluida la hemiplejía. Al entrenar algoritmos con datos de casos reales y utilizando métodos de aprendizaje supervisado y no supervisado, se puede aumentar la precisión en la clasificación de este trastorno neurológico. Los patrones de movimiento y las imágenes de diagnóstico pueden ser analizados en profundidad por los sistemas de IA, ofreciendo a los especialistas en salud una visión más detallada y precisa de cada caso.

En este estudio, se exploran las capacidades de la IA para mejorar el diagnóstico de hemiplejía mediante la clasificación automatizada en las cuatro categorías principales. Esta investigación se enfoca en la utilización de algoritmos de aprendizaje supervisado, que permiten al sistema identificar correctamente los patrones de hemiplejía al comparar datos previamente etiquetados, y de aprendizaje no supervisado, donde el sistema detecta por sí mismo nuevos patrones sin intervención humana directa. Ambos enfoques han mostrado resultados prometedores en la clasificación de otros trastornos neurológicos, lo que justifica su aplicación en este contexto. Además, la implementación de IA en el diagnóstico de hemiplejía podría tener un impacto significativo en regiones con acceso limitado a especialistas. En áreas rurales o en países en desarrollo, donde la infraestructura médica es insuficiente, la posibilidad de contar con sistemas de diagnóstico basados en IA podría mejorar notablemente los resultados clínicos. Con herramientas automatizadas que ayuden a realizar diagnósticos más precisos, los profesionales de la salud locales podrían brindar un tratamiento más efectivo y oportuno, disminuyendo la necesidad de referir a los pacientes a centros especializados. La mejora de los métodos de diagnóstico de la hemiplejía mediante la inteligencia artificial no solo tiene el potencial de reducir la tasa de diagnósticos erróneos, sino también de transformar la forma en que se trata a los pacientes en todo el mundo. Este estudio busca contribuir a ese avance, ofreciendo nuevas perspectivas para la clasificación precisa de la hemiplejía y resaltando la importancia de la IA en el campo de la medicina moderna.

II. DESARROLLO

Algunas investigaciones proponen el uso de indicadores difusos, que son variables y no presentan límites estrictos, para analizar el comportamiento cinético de las articulaciones del tobillo y la rodilla durante la marcha [1]. Además, mediante la combinación de estas herramientas, se establece una clasificación más precisa y comprensible de los tipos de marcha espástica, lo que puede ser de gran utilidad para mejorar la toma de decisiones clínicas y optimizar los planes de rehabilitación.

El uso de indicadores difusos en este análisis cinético es relevante porque permite manejar la naturaleza variable y no lineal de las características del movimiento en pacientes con hemiplejía espástica. A diferencia de los métodos tradicionales de análisis, esta técnica no se limita a definir categorías rígidas, sino que trabaja con rangos de variabilidad, lo que facilita la identificación de patrones únicos en la marcha de cada paciente. Además, la implementación del diagrama de flujo contribuye a una mejor visualización de los resultados y a una mayor facilidad en la interpretación de los datos, haciendo que los hallazgos sean más accesibles para los profesionales de la salud. Este enfoque innovador subraya la importancia de integrar técnicas avanzadas de análisis cinético en el tratamiento y la rehabilitación de pacientes con hemiplejía, ofreciendo una herramienta potencial para personalizar los enfoques terapéuticos y mejorar los resultados clínicos.

Otros autores, destacan la importancia de la tecnología en la rehabilitación de pacientes con hemiplejía [2]. El uso de dispositivos robóticos en la rehabilitación proporciona una terapia controlada y repetitiva, fundamental para promover la neuroplasticidad y mejorar la funcionalidad del miembro inferior afectado. Estos dispositivos permiten personalizar los ejercicios según las necesidades y capacidades de cada paciente, ofreciendo un entrenamiento intensivo que es difícil de lograr con la rehabilitación tradicional. Además, el uso del entrenamiento robótico no solo mejora la fuerza y el rango de movimiento, sino que también puede ayudar a reducir el tiempo de recuperación al proporcionar un apoyo continuo y preciso en el control del movimiento. Este enfoque tiene el potencial de mejorar significativamente la calidad de vida de los pacientes hemipléjicos, ayudándolos a recuperar una mayor independencia funcional en su vida diaria. Autores como Padilla [3], incorporaron indicadores difusos para capturar la naturaleza imprecisa y variable del movimiento en las articulaciones clave durante la marcha, permitiendo una mayor flexibilidad en la clasificación de los patrones de marcha. Este método difuso es particularmente útil en la evaluación de la hemiplejía, donde las características del movimiento no siempre siguen un patrón rígido, sino que varían en función del grado de espasticidad y control motor residual de cada paciente. El análisis de los datos cinemáticos de estas tres articulaciones críticas permite identificar sutiles diferencias entre los tipos de marcha hemipléjica, lo que facilita una clasificación más precisa y personalizada. Este enfoque no solo contribuye a una mejor comprensión de las dificultades de locomoción en estos pacientes, sino que también abre la puerta a tratamientos y rehabilitaciones más específicas, ajustadas a las particularidades cinemáticas de cada individuo.

La lógica difusa, a diferencia de los sistemas de clasificación tradicionales que dependen de categorías discretas, permite manejar la incertidumbre inherente a los movimientos irregulares y los grados variables de disfunción motora que son característicos en la marcha de los pacientes hemipléjicos [4]-[6]. Esta flexibilidad en la clasificación es esencial, ya que la marcha hemipléjica no sigue un patrón uniforme y puede fluctuar según la gravedad de la espasticidad, el equilibrio y el control muscular. Al aplicar este sistema, es posible personalizar la evaluación clínica y adaptar los programas de rehabilitación a las necesidades específicas de cada paciente, mejorando la capacidad de los profesionales de la salud para tomar decisiones informadas sobre el tratamiento y seguimiento. Además, el uso de lógica difusa en la clasificación de la marcha subraya su potencial para mejorar el diagnóstico y la intervención temprana en diversas afecciones neurológicas relacionadas con la movilidad.

Otras investigaciones [6], proponen una innovadora aplicación de las máquinas de vectores de soporte (SVM) para clasificar la hemiplejía espástica, lo que marca un avance en el uso de herramientas de aprendizaje automático en la rehabilitación médica. Las SVM son modelos supervisados que encuentran un hiperplano óptimo para separar las diferentes clases de datos, lo que es particularmente útil en la clasificación de patrones complejos como los que se observan en pacientes con hemiplejía espástica. Al aplicar esta técnica, el estudio logra identificar con precisión las diferencias entre los diversos grados de espasticidad y disfunción motora, lo que facilita la creación de subgrupos más detallados dentro del diagnóstico de hemiplejía espástica.

Este enfoque no solo mejora la precisión en la clasificación, sino que también permite un análisis más objetivo y reproducible en comparación con los métodos clínicos tradicionales. El uso de SVM en este contexto subraya su potencial para optimizar los procesos de diagnóstico y tratamiento, ofreciendo un enfoque más eficiente y basado en datos para adaptar las intervenciones terapéuticas según las necesidades específicas de cada paciente.

III. METODOLOGÍA

En este trabajo se realizó un proceso metodológico dividido en tres etapas principales para el desarrollo de un modelo basado en un sistema neuronal, utilizando MATLAB como herramienta de implementación.

Etapas 1: Investigación y Recopilación de Datos

Esta primera fase es fundamental para asegurar que los datos necesarios sean recolectados y preparados adecuadamente antes de entrenar el sistema neuronal. Comprende los siguientes pasos:

1. **Recolección de datos:** Implicó la obtención de datos relevantes para el estudio. Estos datos pueden ser clínicos, imágenes o cualquier otro tipo de información que permitió entrenar el modelo neuronal. En el contexto de la hemiplejía, los datos incluyeron patrones de movimiento y resultados de resonancias magnéticas.
2. **Consideraciones éticas:** Resultó esencial asegurar que el estudio cumpliera con los estándares éticos, especialmente cuando se trata de datos sensibles de pacientes. Esto incluyó garantizar el consentimiento informado, la confidencialidad de la información y el uso adecuado de los datos.
3. **Diseño de la investigación:** Esta etapa implicó definir el marco metodológico del estudio, es decir, cómo se estructuró el experimento, cuáles serán las variables clave y cómo se medirá el éxito del modelo.
4. **Preprocesamiento de datos:** Aquí, los datos crudos se limpiaron y transforman para que pudieran ser utilizados por el modelo neuronal. El preprocesamiento incluyó tareas como la normalización de los datos, el manejo de datos faltantes y la eliminación de ruido.
5. **Selección de características:** Este paso final de la primera fase implicó elegir las variables o características más relevantes que se incluyeron en el modelo. La selección adecuada de características fue crucial para asegurar que el modelo pudiera realizar predicciones precisas.

Etapas 2: Diseño y Entrenamiento del Sistema Neuronal

Una vez que los datos han sido preparados y procesados, se procedió al diseño y entrenamiento del modelo neuronal. Esta fase se dividió en dos partes:

1. **Diseño del sistema neuronal:** En esta etapa se definió la arquitectura del sistema neuronal. Se decidió la cantidad de capas, neuronas en cada capa, el tipo de funciones de activación y otros aspectos técnicos que influyeron en la capacidad del modelo para aprender a partir de los datos.
2. **Entrenamiento del modelo:** Con el diseño del sistema neuronal completado, se procedió al entrenamiento del modelo. El modelo aprendió a identificar patrones en los datos a través de múltiples iteraciones, ajustando los pesos internos para mejorar su capacidad de predicción.

Etapa 3: Pruebas e Interpretación

Una vez entrenado el modelo, se sometió a una serie de pruebas para validar su eficacia y asegurar que los resultados sean interpretables. Esta fase incluyó los siguientes pasos:

1. Validación y pruebas del modelo: El modelo fue evaluado con datos de prueba que no fueron utilizados durante el entrenamiento. Esto permitió medir la precisión del modelo y asegurarse de que no se ha sobre ajustado a los datos de entrenamiento. Se utilizaron métricas como la exactitud, precisión, sensibilidad, y el área bajo la curva ROC para evaluar el rendimiento.
2. Interpretación de resultados: En esta etapa se analizaron los resultados obtenidos para identificar qué tan bien el modelo ha clasificado los datos y si se ajusta a las expectativas del diseño inicial. Además, se evaluaron los resultados en el contexto de su aplicabilidad clínica, en este caso, en la clasificación de hemiplejía.
3. Documentación y reporte: Finalmente, los resultados y el proceso son documentados adecuadamente para su reporte. Esto incluyó la presentación de los hallazgos de manera clara y comprensible, lo que permitió replicar el estudio y validar los resultados por otros investigadores.

Resumen de herramientas utilizadas

El modelo final fue desarrollado y entrenado utilizando el lenguaje y entorno de programación MATLAB. Esta es una herramienta ampliamente utilizada en investigación para el desarrollo de sistemas neuronales y análisis de datos, gracias a sus bibliotecas especializadas y capacidades avanzadas de procesamiento de datos. Este flujo metodológico asegura que se sigan todas las etapas necesarias, desde la preparación de los datos hasta la interpretación final de los resultados, para desarrollar un modelo neuronal robusto y eficaz en la clasificación de hemiplejía u otros trastornos neurológicos.

IV. RESULTADOS

A. El algoritmo

El algoritmo desarrollado se describe en la figura 1, donde se observa que los datos clasificados del SOM, son la entrada a la red neuronal. Esta última es una red convolucional.

Algoritmo de clasificación
1. Recopilar y preprocesar los datos con 612 características.
2. Aplicar Análisis de Componentes Principales (PCA) para reducir las características a 20 componentes principales.
3. Entrenar un Mapa Autoorganizado (SOM) para identificar patrones y clústeres en los datos.
4. Utilizar los grupos obtenidos como entrada para una red neuronal.
5. Entrenar la red neuronal para clasificar los tipos de hemiplejía y los grupos de control.
6. Evaluar el rendimiento utilizando una matriz de confusión y gráficas de precisión.
7. Interpretar los resultados, incluyendo la identificación de subgrupos no reconocidos previamente.
8. Validar el modelo como herramienta diagnóstica para clínicos.

Fig. 1. Algoritmo de clasificación.

Por otro lado, la clasificación estuvo compuesta de un ajuste dimensional, permitiendo un ajuste por grupos y por tipos (figura 2). El SOM permite además una redimensión de los múltiples factores que se presentan en el estudio.

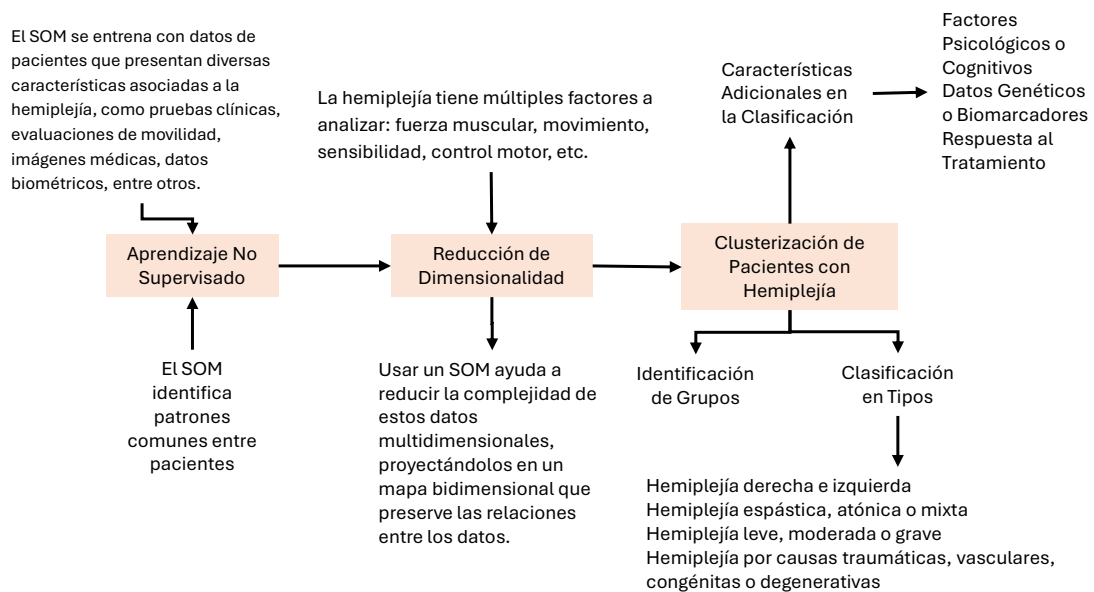


Fig. 2. Esquema de funcionamiento del algoritmo.

El algoritmo desarrollado clasificó eficazmente los diferentes tipos de hemiplejía utilizando técnicas avanzadas de reducción de dimensionalidad y agrupamiento (figura 3). Inicialmente, el conjunto de datos, que contenía 612 características, se redujo a 20 componentes principales mediante Análisis de Componentes Principales (PCA), lo que facilitó un procesamiento más eficiente y destacó patrones clave. Posteriormente, un Mapa Autoorganizado (SOM) identificó distintos grupos o clústeres, mientras que la red neuronal logró una alta precisión en la clasificación, diferenciando exitosamente entre los grupos de control y los subtipos de hemiplejía, incluyendo el descubrimiento de subgrupos previamente no reconocidos. A pesar de las limitaciones de tiempo, el rendimiento del modelo, evidenciado por la matriz de confusión y las gráficas de precisión, demostró su potencial como una herramienta diagnóstica valiosa para los clínicos.

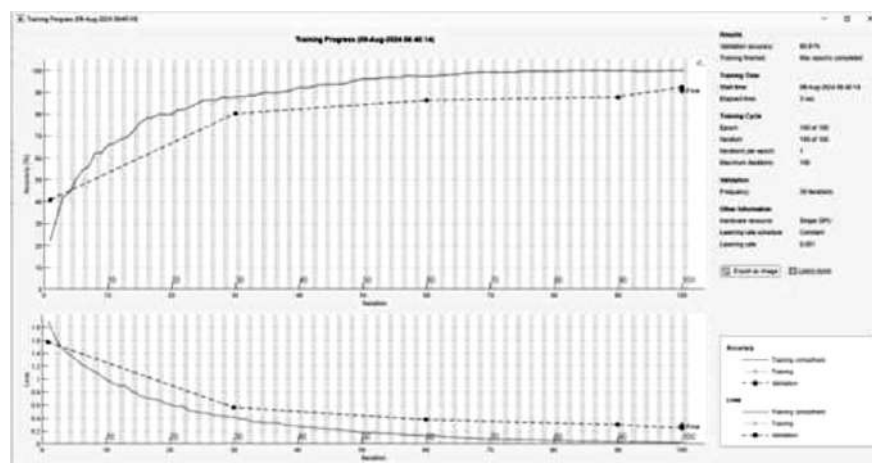


Fig. 3. Resultados del entrenamiento y validación

En la figura 4 se observa la precisión del modelo al predecir varias clases (eje x) en comparación con las clases verdaderas (eje y). Los valores diagonales representan las predicciones correctas, mientras que los valores fuera de la diagonal indican errores de clasificación. Por ejemplo, el modelo predijo correctamente la clase 0 en 34 ocasiones y la clase 1 en 15, lo que sugiere que el modelo tiene un buen rendimiento en estas clases. Sin embargo, hay cierta confusión en las clases 2, 3 y 4, ya que varios casos fueron mal clasificados, como se evidencia en los números que no están en la diagonal, donde la clase 2 fue confundida con la clase 1 y la clase 4.

Este análisis de la matriz de confusión en el contexto de la clasificación de hemiplejía indica que el modelo tiene un buen rendimiento general, pero aún presenta áreas de mejora. Las clases más pequeñas, que representan subtipos específicos o menos comunes de hemiplejía, son las que muestran mayor confusión, lo que se debe a la naturaleza más sutil de los síntomas. Estos resultados sugieren que el uso de técnicas adicionales, como una mayor recolección de datos para las clases menos representadas o la implementación de métodos de balanceo de clases, podría mejorar aún más la precisión del modelo. Además, estos errores podrían resaltar la necesidad de ajustar los parámetros del modelo o de refinar las características empleadas para diferenciar más claramente entre los subgrupos de hemiplejía.



Fig. 4. Matriz de confusión producto del entrenamiento.

La figura 5 muestra los resultados del Mapa Autoorganizado (SOM), específicamente el gráfico de Neuron Hits, que indica cuántas muestras o datos fueron asignados a cada neurona en la red. Cada hexágono representa una neurona en el SOM, y los números dentro de los hexágonos muestran cuántos datos fueron asignados a esa neurona en particular. Se observa que una de las neuronas ha recibido 18 datos, lo que indica que una parte considerable de los datos cae en esta región del mapa. Esta alta concentración de datos en ciertas neuronas indica la presencia de un grupo o clúster bien definido en el conjunto de datos.

En el contexto de la hemiplejía, los Neuron Hits permiten observar cómo los diferentes subtipos de hemiplejía están siendo clasificados. Se puede observar que algunos subgrupos de datos están mejor representados en ciertas regiones del mapa, mientras que otras áreas tienen una menor densidad de asignaciones, esto indica que los subgrupos son más raros o difíciles de clasificar. Esta información es clave para ajustar los parámetros del SOM o mejorar el modelo, garantizando que los subtipos de hemiplejía menos comunes también sean representados adecuadamente en el modelo de clasificación.

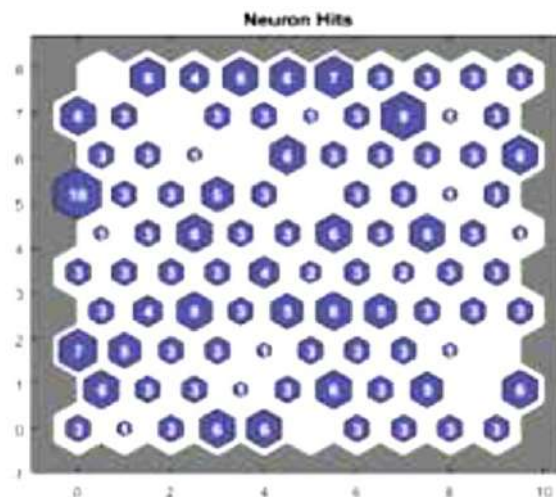


Fig. 5. Neuron Hits para los sub grupos.

CONCLUSIONES

Esta investigación demuestra la viabilidad y el potencial del uso de técnicas de aprendizaje automático, específicamente redes neuronales convolucionales, para clasificar los tipos de hemiplejía. El algoritmo desarrollado identificó y categorizó con precisión varios tipos de hemiplejía. El análisis de componentes principales y los mapas autoorganizados gestionaron eficazmente el conjunto de datos de alta dimensionalidad, revelando información valiosa sobre su estructura. El estudio destaca el potencial de la inteligencia artificial para mejorar los diagnósticos médicos al incrementar la precisión y reducir los errores de diagnóstico. Sin embargo, las limitaciones incluyen la exploración incompleta de las nuevas subcategorías identificadas, lo que indica la necesidad de realizar más investigaciones para comprender su relevancia clínica. En general, los hallazgos sugieren que los modelos de aprendizaje automático pueden descubrir patrones que no son fácilmente detectables por la observación humana, sirviendo como una herramienta complementaria para los profesionales de la salud.

El uso de redes neuronales convolucionales (CNN) en el ámbito médico representa un avance significativo, ya que permite a los algoritmos identificar patrones en datos complejos y no lineales que a menudo escapan a la atención clínica tradicional. En el caso de la hemiplejía, donde los síntomas pueden variar ampliamente entre los pacientes, el análisis de grandes conjuntos de datos mediante técnicas como el análisis de componentes principales y los mapas autoorganizados es clave para lograr una clasificación más precisa. Las CNN no solo automatizan este proceso, sino que también pueden ser ajustadas para capturar características sutiles que pueden contribuir a una comprensión más matizada de la enfermedad, lo que, en última instancia, puede mejorar los enfoques de tratamiento y rehabilitación. Sin embargo, la introducción de inteligencia artificial en la clasificación de enfermedades no está exenta de desafíos. Como se menciona, la exploración de las nuevas subcategorías identificadas aún es incompleta, lo que plantea interrogantes sobre la relevancia clínica de dichos subgrupos. La validación de estos nuevos descubrimientos requerirá una mayor colaboración entre expertos en aprendizaje automático y profesionales de la salud para traducir estos hallazgos en prácticas clínicas útiles. A medida que la inteligencia artificial sigue evolucionando, será crucial continuar refinando estos modelos, asegurando que el proceso de clasificación esté respaldado por una sólida evidencia clínica y que se evite el riesgo de sobreajuste a los datos o de interpretaciones erróneas.

REFERENCIAS

- [1] U. R. Padilla-Liendo, "Análisis cinético de indicadores difusos en tobillo y rodilla para clasificar la marcha hemipléjica espástica utilizando diagrama de flujo," **Avances en Biomedicina**, vol. 5, no. 2, pp. 66-75, 2016.
- [2] D. B. Medina Vargas, "El entrenamiento robótico en la funcionalidad del miembro inferior en pacientes hemipléjicos del IESS de la ciudad de Ambato", Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato-Facultad de Ciencias de la Salud-Carrera de Terapia Física, 2015.
- [3] U. R. Padilla Liendo, "Clasificación de la marcha hemipléjica utilizando las características difusas de los indicadores cinemáticos en tobillo, rodilla y cadera," **Interciencia**, vol. 41, no. 9, pp. 633-638, 2016.
- [4] A. Yardimci, "Fuzzy logic-based gait classification for hemiplegic patients," in **Advances in Intelligent Data Analysis VII: 7th International Symposium on Intelligent Data Analysis, IDA 2007, Ljubljana, Slovenia, September 6-8, 2007. Proceedings 7**, Berlin Heidelberg: Springer, 2007, pp. 344-354.
- [5] J. Riad, Y. Haglund-Akerlind, and F. Miller, "Classification of spastic hemiplegic cerebral palsy in children," **Journal of Pediatric Orthopaedics**, vol. 27, no. 7, pp. 758-764, 2007.
- [6] A. J. Salazar, O. C. De Castro, and R. J. Bravo, "Novel approach for spastic hemiplegia classification through the use of support vector machines," in **The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**, vol. 1, pp. 466-469, Sept. 2004.

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k}$$

$$(1 + x)^n = 1 + \frac{nx}{1!} + \frac{n(n-1)x^2}{2!} + \dots$$

Published by:

