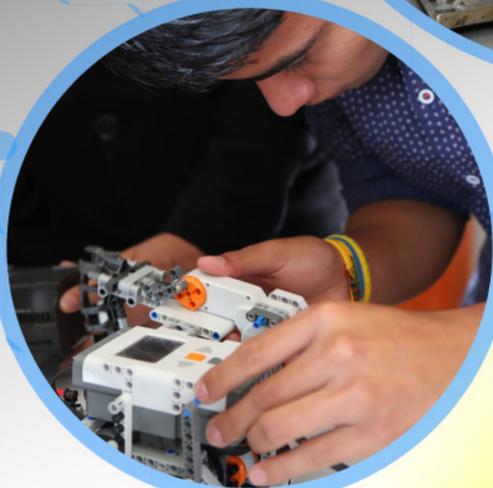


Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible

Fabio Camilo Gómez Meneses
Leidy Marcela Gómez Melo
Diego Valencia Enríquez
Santiago Gómez Herrera
Javier Mauricio López Moreno
Javier Mauricio Villota Paz

Compiladores



Universidad
Mariana

Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983

Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible



Universidad
Mariana

Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983



Editorial
UNIMAR

Colección
Evento

2023

Fabio Camilo Gómez Meneses
Leidy Marcela Gómez Melo
Diego Valencia Enríquez
Santiago Gómez Herrera
Javier Mauricio López Moreno
Javier Mauricio Villota Paz

Compiladores



Rojas Jiménez, Héctor Herald, autor

Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible / autores, Héctor Herald Rojas-Jiménez [y otros]; compiladores, Fabio Camilo Gómez Meneses [y otros cinco]. -- San Juan de Pasto: Editorial Unimar, 2023.

1 recurso en línea: archivo de texto: PDF. -- (Colección evento 2023)

Incluye referencias bibliográficas -- Texto en español, inglés y portugués.

ISBN 978-628-7548-25-1

1. Investigación científica 2. Ingeniería - Investigaciones I. Gómez Meneses, Fabio Camilo, compilador

CDD: 001.4 ed. 23

CO-BoBN- a1121389



Título del libro: Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería : nuevos conocimientos para un futuro sostenible

e-ISBN: 978-628-7548-25-1

Formato: 18 cm x 26 cm – Digital

Páginas: 233

Fecha: 2023

© Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

© Fabio Camilo Gómez Meneses - compilador

© Leidy Marcela Gómez Melo - compilador

© Diego Valencia Enríquez - compilador

© Santiago Gómez Herrera - compilador

© Javier Mauricio López Moreno - compilador

© Javier Mauricio Villota Paz - compilador

Universidad Mariana

Hna. **Aylem del Carmen Yela Romo** f.m.i.

Rectora

Judy Basante Castro

Vicerrectora Académica

Ángela María Cárdenas Ortega

Directora de Investigaciones

Luz Elida Vera Hernández

Directora Editorial UNIMAR

Editorial UNIMAR

Luz Elida Vera Hernández

Directora Editorial UNIMAR

Ana Cristina Chávez López

Corrección de Estilo

Johan Esteban Botina

Diseño y Diagramación

Correspondencia:

Editorial UNIMAR, Universidad Mariana

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, Calle 18 No. 34 – 104

Tel: 7244460 Ext. 185

E-mail: editorialunimar@umariana.edu.co

Depósito Digital

Biblioteca Nacional de Colombia, Grupo Procesos Técnicos, Calle 24, No. 5-60 Bogotá D.C., Colombia.

Biblioteca Hna. Elisabeth Guerrero N. f.m.i. Calle 18 No. 34-104 Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia.

Disponible en: <http://editorial.umariana.edu.co/libros>

Cítese como: Gómez-Meneses, F. C., Gómez-Melo, L. M., Valencia-Enríquez, D., Gómez-Herrera, S., López-Moreno, J. M. y Villota-Paz, J. M. (comps.) (2023). *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible*. Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208>

Las opiniones contenidas en el presente libro no comprometen a la Editorial UNIMAR ni a la Universidad Mariana, puesto que son responsabilidad única y exclusiva de los autores; de igual manera, ellos han declarado que en su totalidad es producción intelectual propia, en donde aquella información tomada de otras publicaciones o fuentes, propiedad de otros autores, está debidamente citada y referenciada, tanto en el desarrollo del documento como en las secciones respectivas a la bibliografía.

El material de este libro puede ser reproducido sin autorización para uso personal o en el aula de clase, siempre y cuando se mencione como fuente su título, autores y editorial. Para la reproducción con cualquier otro fin es necesaria la autorización de la Editorial UNIMAR de la Universidad Mariana.



Este libro está bajo licencia internacional

CC BY-NC Reconocimiento-No Comercial



Contenido

| | |
|--|------------|
| Introducción | 8 |
| Capítulo 1. Bioeconomía y desarrollo territorial en Nariño, Tolima, Guajira y Bogotá-Región: aproximación desde la triple hélice | 9 |
| Héctor Heraldo Rojas-Jiménez, Lady Peñaloza Farfán, Stella Monroy, Miguel Ángel Figueroa | |
| Capítulo 2. Carlos Alban and Bartolomeu Lourenço de Gusmão: coincidences around a utopia of air | 38 |
| Henry Daniel Vera Ramírez | |
| Capítulo 3. Competencias genéricas para enfrentar retos generados por el COVID-19 en tiendas de barrio de la ciudad de Barranquilla | 65 |
| Mauricio Junior Santamaría Ruiz, Ricardo Romario Antequera Amaris, Reynier Israel Ramírez Molina | |
| Capítulo 4. Desempeño de la gestión del conocimiento frente al desarrollo sostenible de las organizaciones | 78 |
| Luvis Paola León Romero, Mario Aguilar Fernández | |
| Capítulo 5. Diseño de software para evaluar la parte de hidrostática de mecánica de fluidos | 99 |
| Gabriel Santiago Alpala Valenzuela, María Fernanda Lucero Lucano, Julisa Alejandra Rodríguez Alvear | |
| Capítulo 6. Diseño de un brazo robótico asistencial para personas con discapacidad | 105 |
| Adrián Tapia, Guillermo Mosquera, Christian Rueda, Raúl Paredes | |

| | | |
|---------------------|---|------------|
| Capítulo 7. | Diseño mecánico de una prótesis transfemoral | 122 |
| | Sofía Vergara, Guillermo Mosquera Canchingre, Vladimir Bonilla, Christian Rueda-Ayala, Luis Hidalgo | |
| Capítulo 8. | Estado del arte de la instrumentación geotécnica en presas | 139 |
| | Raúl Mauricio Álvarez Álvarez, Carlos Andrés Ordóñez Ante, Juan Camilo Parra Toro | |
| Capítulo 9. | Evaluación de sostenibilidad de la microcuenca de Tona mediante la cuantificación de su huella hídrica | 163 |
| | Massiel Hernández Tarazona, Carlos Fernando Arenas Jimenez, Yurley Paola Villabona Durán | |
| Capítulo 10. | Factores de deserción escolar en alumnos del Tecnológico Superior de Champotón, generación 2017-2021 | 179 |
| | Iris del Carmen Delgado Aguilar, Cintia del Carmen Hernández Crisostomo, Ivonne Medelij Cobos Sleme | |
| Capítulo 11. | Identificación y cuantificación de microplásticos en sedimentos de tres playas recreativas de la costa de Campeche | 191 |
| | Cintia del Carmen Hernández-Crisostomo, Iris del Carmen Delgado-Aguilar, Vanessa Vargas-Varela | |
| Capítulo 12. | Reconocimiento de algas, protozoos y metazoos como bioindicadores ambientales | 207 |
| | María Elena González, Alejandra Rengifo, Darlyn Piñeros Marín, Lina Marcela Buitrago Ramírez | |
| Capítulo 13. | Visualización de la suma y transposición de matrices a través de 'Pixel Art' | 221 |
| | Vladimir Cortés Lerín, Gilberto Antonio Méndez Ramírez, Christian Vicente Juárez | |



Introducción

En un mundo cada vez más complejo y competitivo, la ingeniería representa un papel crucial en la resolución de los desafíos que se enfrenta en la actualidad, desde la creación y desarrollo de tecnologías más eficientes hasta la implementación de soluciones innovadoras; por ello, los ingenieros desempeñan un papel fundamental en el avance de la sociedad desde la investigación.

En esa medida, se requiere desarrollar espacios de encuentro en los cuales converjan las diferentes disciplinas de las ciencias y la ingeniería, para presentar los avances y resultados del ejercicio investigativo a nivel mundial. Este libro recopila los resultados de investigación de un evento académico e investigativo internacional donde expertos de diferentes partes del mundo se reunieron para compartir sus conocimientos, ideas y experiencias desde las ingenierías en el ámbito global.

Los resultados presentan un análisis y una reflexión profunda sobre las temáticas trabajadas en las áreas de diseño mecatrónico, ambiente y desarrollo sostenible, gestión de la producción, ciencias de la computación, enseñanza en la ingeniería y diseño de obras civiles, basadas en la investigación y la experiencia, que representan un paso importante en la comprensión y aplicación de la ingeniería en el mundo real.

Este libro es una fuente valiosa de información para los profesionales, investigadores y estudiantes interesados en la ingeniería y en el progreso tecnológico. También puede ser de interés para las empresas, instituciones y organizaciones que buscan soluciones prácticas y efectivas para enfrentar los desafíos actuales y futuros, aportando a la investigación de las ciencias e ingeniería.

M.Sc. **Fabio Camilo Gómez Meneses**

Organizador General del Congreso CICI 2023

Capítulo 1

Bioeconomía y desarrollo territorial en Nariño, Tolima, Guajira y Bogotá-Región: aproximación desde la triple hélice

Héctor Heraldito Rojas-Jiménez¹
Lady Peñaloza Farfán²
Stella Monroy³
Miguel Ángel Figueroa⁴

Cítese como: Rojas-Jiménez, H. H., Peñaloza-Farfán, L., Monroy, S. y Figueroa, M. Á. (2023). Bioeconomía y desarrollo territorial en Nariño, Tolima, Guajira y Bogotá-Región: aproximación desde la triple hélice. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 9-37). Editorial UNIMAR. . <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c350>

Resumen

El Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 sugirió que la bioeconomía generará el 10 % del PIB del país para 2030 y, aunque existe potencial, se considera que se le otorga mucha responsabilidad a la misma, como mecanismo dinamizador del crecimiento territorial; las condiciones con las que se cuenta son limitadas y esto dificulta avanzar en su implementación. Por lo anterior, este artículo identificó una serie de condiciones habilitantes que acompañan a los departamentos de Nariño, Tolima, La Guajira y Bogotá-Región, en su interés por avanzar en temas relacionados con la bioeconomía, a partir de las dimensiones del desarrollo territorial y sostenible propuestas por Massiris y la Triple hélice de Etzkowitz y Leydesdorff. Los resultados más significativos evidencian que el centralismo ha determinado marcadas brechas regionales; así mismo, es fundamental seguir construyendo las condiciones habilitantes para que la bioeconomía contribuya aún más al desarrollo de los territorios. El presente artículo dista de estar terminado; sigue habiendo mucha información que esperamos aportar en futuros documentos, que servirá como referencia para los tomadores de decisiones públicas, privadas, académicas y, desde la sociedad civil.

¹ Universidad Externado de Colombia. Correo: hector.rojas@uexternado.edu.co

² Universidad de Ibagué. Correo: lady.penaloz@unibague.edu.co

³ Universidad de La Guajira. Correo: smonroy@uniguajira.edu.co

⁴ Universidad de Nariño. Correo: cedre@udenar.edu.co



Palabras clave: bioeconomía; desarrollo territorial; triple hélice; sostenibilidad.

Bioeconomy and territorial development in Nariño, Tolima, Guajira, and Bogotá-Region: a triple helix approach

Abstract

The National Development Plan 2018-2022 suggested that the bioeconomy will generate 10% of the country's GDP by 2030 and, although there is potential, it is considered that much responsibility is given to it, as a fundamental mechanism for territorial growth; the conditions available are limited and this makes it difficult to advance in its implementation. This article identified a series of enabling conditions that accompany the departments of Nariño, Tolima, La Guajira, and Bogota-Region, in its interest to advance issues related to the bioeconomy, based on the dimensions of territorial and sustainable development proposed by Massiris and the Triple Helix of Etzkowitz and Leydesdorff. The most significant results show that centralism has determined marked regional gaps; it is essential to continue building the enabling conditions for the bioeconomy to contribute even more to the development of the territories. This article is far from being finished, as there is still much information that we hope to contribute in future documents, which will serve as a reference for public, private, academic, and civil society decision-makers.

Keywords: bioeconomy; territorial development; triple helix; sustainability.

Bioeconomia e desenvolvimento territorial em Nariño, Tolima, Guajira e região de Bogotá: uma abordagem de hélice tripla

Resumo

O Plano Nacional de Desenvolvimento 2018-2022 sugeriu que a bioeconomia gerará 10% do PIB do país até 2030 e, embora exista potencial, considera-se que é dada muita responsabilidade a ela, como mecanismo dinamizador do crescimento territorial; as condições disponíveis são limitadas e isso dificulta o avanço em sua implementação. Este artigo identificou uma série de condições facilitadoras que acompanham os departamentos de Nariño, Tolima, La Guajira e Bogotá-Região, em seu interesse de avançar em questões relacionadas à bioeconomia, com base nas dimensões do desenvolvimento territorial e sustentável propostas por Massiris e na Tríplice Hélice de Etzkowitz e Leydesdorff. Os resultados mais significativos mostram que o centralismo determinou acentuadas lacunas regionais; é essencial continuar construindo as condições propícias para que a bioeconomia contribua ainda mais para o desenvolvimento dos territórios. Este artigo está longe de ser concluído, pois ainda há muitas informações que esperamos contribuir em documentos futuros, que servirão de referência para tomadores de decisão públicos, privados, acadêmicos e da sociedade civil.



Palavras-chave: bioeconomía; desenvolvimiento territorial; hélice tripla; sustentabilidade.

Introducción

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019), en Colombia existen más de 63 000 especies registradas, lo que lo hace el segundo país con mayor biodiversidad del mundo, superado a veces por Brasil y otras, por Indonesia. Según Rojas-Jiménez (2021a), esto es muy significativo para el sector de la bioeconomía “que promueve el uso eficiente y sostenible de los recursos naturales y la biodiversidad del territorio” (p. 117).

La definición de bioeconomía para Colombia es reciente e incluye la oportunidad de generar nuevos canales de crecimiento económico y social para el país, con empleo calificado, atrayendo y reteniendo talento humano, con nuevas empresas basadas en el conocimiento, valorando y haciendo uso sustentable de la biodiversidad, incorporando avances en biotecnología moderna, entre otros (Aristizabal, como se cita en Rojas-Jiménez, 2021a).

Según el Sistema de Información sobre la Biodiversidad Colombiana (como se cita en Rojas-Jiménez, 2021a), más del 50 % del país está protegido y es considerado un país megadiverso; en él existen dos de las biorregiones con mayor biodiversidad del mundo: Amazonía (con más de seis millones de km²), compartida entre Brasil, Perú, Colombia, Venezuela, Ecuador, Guyana, Surinam y Guyana Francesa y, la biorregión Pacífico, que se encuentra en un 99 % en el país.

La bioeconomía como concepto tiene sus orígenes en las propuestas de Georgescu-Roegen (1996). Sus discusiones llegaron a Colombia hace algo más de una década y, aunque no exista una amplia producción científica sobre el particular, se ha ido ampliando el debate académico a partir del lanzamiento del documento CONPES 3934 (Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación, 2018) relacionado con la política de crecimiento verde, en el que la bioeconomía es uno de sus ejes más significativos. Sin embargo, hay que decir que muchas de las interpretaciones que se hace de la bioeconomía podrían ser reconocidas como instrumentos alineados al mercado, lo que determina una distancia frente a lo planteado por Georgescu-Roegen quien, incluso se aleja del concepto de desarrollo sostenible y se detiene en que la economía tendría que participar de cerca de la biología, al plantear que los humanos somos una especie más del planeta y, por lo tanto, debemos someternos a las leyes que ordenan las interacciones de la vida terrestre.

Los primeros años de la producción académica colombiana sobre bioeconomía se limitaron a discusiones conceptuales, en ocasiones cercanas a la ‘moda’ del reciente concepto, sin hacer mayores aportes a una lectura y adaptación como país. Más adelante, y con lineamientos institucionales posteriores al



CONPES 3934, la 'Misión de sabios', la 'Misión de bioeconomía' y los planes de desarrollo 2018-2022 y 2022-2026 (como se cita en Rojas-Jiménez, 2021b) han considerado que la bioeconomía tiene un inmenso potencial como instrumento de mercado y podría generar un volumen significativo de empleos y oportunidades socioeconómicas relevantes. No obstante, Rojas-Jiménez (2021b) argumenta: "A pesar del enorme potencial que tiene Colombia frente a la bioeconomía, al ser el segundo país más biodiverso del planeta, no están dadas las condiciones para desarrollar con mayor firmeza el potencial en el sector" (p. 289).

En ese sentido, el potencial para el desarrollo del país, sus pobladores y sus territorios es muy significativo; se espera que para 2030 la bioeconomía y sus productos, procesos y servicios representen el 10 % del Producto Interno Bruto (PIB) (Gobierno de Colombia, 2020) y, aunque suena muy alentador, es posible que esté sobreestimado, en la medida en que se requiere llegar a las regiones con mayor determinación para habilitar las condiciones que permitan que la bioeconomía sea el motor de desarrollo y se reconozca su potencial. Por lo anterior, el problema que se espera resolver es que, si bien la bioeconomía es un potencial muy significativo, se requiere conocer las condiciones que acompañan a los territorios para la aplicación del modelo bioeconómico. Se considera que se le otorga mucha responsabilidad a la bioeconomía como mecanismo dinamizador del crecimiento territorial, pero no es tan claro con qué condiciones se cuenta y cómo avanzar en su implementación.

El presente documento surgió a partir de la posibilidad de integrar miradas, disciplinas y experiencias territoriales con los colegas de las universidades representadas. En un primer momento, fuimos convocados para escribir un artículo sobre los jóvenes y su mirada frente a la paz, pero, motivados por la posibilidad de hacer aportes a la paz desde el desarrollo territorial y usando el vehículo de la bioeconomía, comenzamos a identificar las relaciones entre el desarrollo territorial y sostenible con la bioeconomía, no como una fórmula mágica para avanzar en el desarrollo de nuestros territorios, sino como una alternativa más que tendría que adaptarse, para pensar en que los territorios convocados en esta investigación pudieran participar con mayor disposición.

Así, con los colegas de las universidades de Ibagué, Nariño y La Guajira, comenzamos a reunirnos en 2022, por el gusto de pensar en alternativas reales de aportar al progreso regional; de allí se terminó planteando que, desde la triple hélice y la mirada del desarrollo territorial, se podría avanzar hacia una búsqueda más concreta al momento de ser cada una y cada uno, un actor local que podría actuar con mayor fluidez en la búsqueda y el análisis de la información. Fue así como inició una serie de entrevistas, conversaciones, grupos focales, que derivaron en la identificación de algunos elementos que nos permitieron reconocer parte del potencial regional de la bioeconomía en Nariño, Tolima, Guajira y Bogotá-Región.

Se planteó como objetivo general, identificar las condiciones habilitantes que tienen estos lugares, para avanzar en la implementación de proyectos bioeconómicos. Se consideró entonces, que sería necesario construir los



criterios que definirían las condiciones habilitantes para las cuatro regiones, continuar en el reconocimiento de lo que se tiene, esbozar lo que hace falta y, sugerir los sectores y condiciones potenciales por región. Sobre la base de estos objetivos se avanzó en una primera aproximación, que será lo que se comparta a continuación:

La primera parte del documento es una breve introducción sobre el planteamiento de la investigación, que continúa con un marco de referencia que incluye una discusión sobre la bioeconomía desde sus orígenes y llega hasta la manera como se ha definido en Colombia, desde las políticas públicas. Posteriormente, se hace una aproximación a la teoría de la triple hélice y, finalmente, al planteamiento de Massiris (2015) sobre desarrollo territorial y sostenible. Se avanza con el desarrollo de la metodología y se concluye con algunos de los hallazgos más sobresalientes.

Marco de referencia

Un poco de bioeconomía

La bioeconomía existe desde los inicios de la humanidad y hoy surge como un concepto académico en la búsqueda de la eficiencia. Dado el crecimiento de la población, la falta de recursos y la búsqueda de alternativas al uso de combustibles fósiles, la bioeconomía, como mecanismo generador de desarrollo económico local en Colombia, puede ser una alternativa, teniendo en cuenta sus importantes limitaciones a la hora de buscar aplicarla en entornos locales (Rojas-Jiménez, 2021a).

Según Pavone (2012), el primer documento que unió el prefijo 'bio' con la palabra 'economía' fue:

Un informe estadounidense de la *Biomass Research and Development Board*, que presentó la bioeconomía como una revolución, una vuelta tecnológica a un pasado sostenible a través de la implementación de un modelo de economía basado en energías y recursos naturales renovables. (p. 148)

Como ya se mencionó, fue Georgescu-Roegen (2003) quien introdujo el concepto de bioeconomía a partir de distintas etapas de sus estudios. En un primer momento propuso una aproximación a la economía, desde su formación como matemático en Bucarest y después, como doctor en Estadística en París. Posteriormente, al ser invitado como investigador en Harvard, conoció a Schumpeter y a Leontief. Sin embargo, a pesar de haber podido tener una floreciente carrera en Harvard, de la mano de varios destacados economistas, decidió regresar a Rumania y ejercer como funcionario público, al vincularse al Partido Nacional Campesino donde conoció de cerca el bajo desarrollo de la economía de su país y la notable cercanía y dependencia con la economía campesina y la pobreza. Varios de estos elementos contribuyeron a fortalecer sus planteamientos antes de huir de Rumania con la llegada del comunismo. Finalmente, sería desde la Universidad de Vanderbilt desde donde lograría



producir sus mayores aportes científicos, en un intento de articular la economía con las ciencias de la vida.

Hacia 2002 surgió el primer documento institucional que habla de bioeconomía en *Life Sciences and Biotechnology: a strategy for Europe* (European Commission, 2002), en donde la biomedicina se convierte en un elemento esencial de la bioeconomía, contrastando con la visión estadounidense que se limitaba a las biotecnologías agrícolas e industriales; y, enfatiza el binomio crecimiento económico - sostenibilidad ambiental. Así fue como la bioeconomía comenzó a tomar distancia de los planteamientos de Georgescu-Roegen (1996), al plantear cada vez más elementos relacionados con el crecimiento económico y una forma de recuperar competitividad. Asimismo, se establece el concepto de *Knowledge based bioeconomy*⁵, en el cual la bioeconomía se presenta como un marco interpretativo de la realidad, con una visión articulada del futuro de la sociedad, la producción, el consumo y, nuevamente se regresa al debate de Georgescu-Roegen reconociendo el límite en el crecimiento y una interacción más adecuada con el entorno y las demás especies.

Los primeros lineamientos de política pública frente a la bioeconomía en Colombia se dieron en 2018 (Tabla 1) con la Política de Crecimiento Verde y el CONPES 3934 que la define como: “Economía que gestiona eficiente y sosteniblemente la biodiversidad y la biomasa para generar nuevos productos, procesos y servicios de valor agregado, basados en el conocimiento y la innovación” (Biointropic, como se cita en Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación, 2018, p. 26). Así mismo, la ‘Misión de Sabios’ de 2019 (como se cita en Rojas-Jiménez, 2021b) sugirió que el país necesita conocer, potenciar y aprovechar los recursos de su diversidad biológica y cultural, para construir una bioeconomía y una economía creativa que lideren la transición a un nuevo modelo productivo. Del mismo modo, la ‘Misión de Bioeconomía’ (como se cita en Gobierno de Colombia, 2020), reconoce en la bioeconomía un referente significativo para avanzar hacia la inclusión regional y social, con un potencial para transformar los procesos productivos en el marco del desarrollo sostenible en la convergencia que se logra entre la inmensa biodiversidad, la gran capacidad de producción de biomasa, el uso del conocimiento y, la inteligencia de sus gentes.

⁵ Bioeconomía basada en el conocimiento.



Tabla 1

La bioeconomía desde diferentes documentos de política pública

| | |
|---|--|
| Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad | Documento Conpes 3934 de 2018: Política de Crecimiento Verde |
| | Misión de Sabios 2019 |
| | Documento Conpes 4021 de 2020: Política nacional para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques |
| | Misión de bioeconomía para una Colombia potencia viva y diversa |
| | Documento Conpes 4023 de 2021: Política para la reactivación, la repotenciación y el crecimiento sostenible e incluyente: nuevo compromiso por el futuro de Colombia |

Fuente: Rojas-Jiménez y Mojica-Godoy (2023).

En la ‘Misión de bioeconomía’ (Gobierno de Colombia, 2020) se establece las cinco áreas estratégicas que identifican los sectores potenciales para Colombia:

1. Biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Aprovechamiento de la biodiversidad continental y oceánica para un desarrollo sostenible con productos como: bioprospección, turismo de naturaleza, aprovechamiento y valorización de la biodiversidad y, pago por servicios ambientales.
2. Colombia biointeligente. Colombia inteligente que comprende y aprovecha su biodiversidad con productos como: estudios ómicos, biointeligencia y ciencia de datos, medicamentos esenciales, biotecnológicos, biosimilares, fitoterapéuticos, ingredientes naturales y bioactivos para alimentos, cosméticos y fármacos.
3. Agro productivo y sostenible, que construye tejido social con productos como: nuevas variedades, agricultura y ganadería sostenible y de precisión, bioinsumos agrícolas, producción limpia, consumo consciente y alimentación saludable.
4. Biomasa y química verde. Biomasa 100: más valor, cero desperdicios con productos como química verde, bioenergía y biocombustibles, biofactorías y biorrefinerías y catalizadores biológicos.
5. Salud y bienestar. Tecnologías avanzadas para la salud y el bienestar de los colombianos con productos como: medicina personalizada y traslacional, nutrición de precisión, medicina regenerativa y biotecnología avanzada en salud a escala productiva y comercial.

A continuación, se presenta los referentes de política pública más significativos en Colombia (Rojas-Jiménez y Mojica, 2023).



Figura 1

Políticas públicas de bioeconomía en Colombia

| | |
|--|--|
| Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026. Colombia. Potencia Mundial de la Vida | DNP, 2018, Conpes 3934, Política de crecimiento verde |
| | Minciencias, 2019, Misión de sabios, |
| | DNP, 2020, Conpes 4021, Para el control de la deforestación y la gestión sostenible de los bosques |
| | Minciencias, 2020, Misión de bioeconomía: Bioeconomía para una Colombia Potencia viva y diversa |
| | DNP, 2021, Conpes 4023 Para la reactivación, la repotenciación y el crecimiento sostenible e incluyente |
| | Minciencias, 2023, Políticas orientadas por misiones |

Fuente: elaboración propia con base en los distintos instrumentos de política pública vinculados con la bioeconomía.

La Triple Hélice (TH), a partir del modelo propuesto por Etzkowitz y Leydesdorff (1998) sugiere que, el modelo TH no está formulado a nivel de los fenómenos a explicar, sino como modelo para ayudar con la explicación. En este sentido, es una herramienta metodológica: el enfoque en la superposición recursiva de comunicaciones entre universidades, industrias y gobiernos permite la organización de preguntas de investigación con relación a los distintos modelos y metáforas. Los autores continúan desarrollando uno de los modelos que ha permitido motivar interacciones entre actores de TH y ha contribuido a fortalecer relaciones y resultados como producto de la dinámica propuesta por el modelo, en este sentido:

La red de relaciones universidad-industria-gobierno reestructura continuamente la matriz de oportunidades de un sistema complejo que, a su vez, es el resultado de la reconstrucción desde diferentes ángulos por cada una de las instancias participantes. Todas las agencias están incrustadas en discursos en diferentes niveles; es decir, dentro de sus respectivas instituciones, en las interfaces específicas entre las hélices y en niveles generalizados donde los terceros actores pueden entrar en juego. Las reflexiones están solo parcialmente sincronizadas por la red de relaciones, lo que permite a

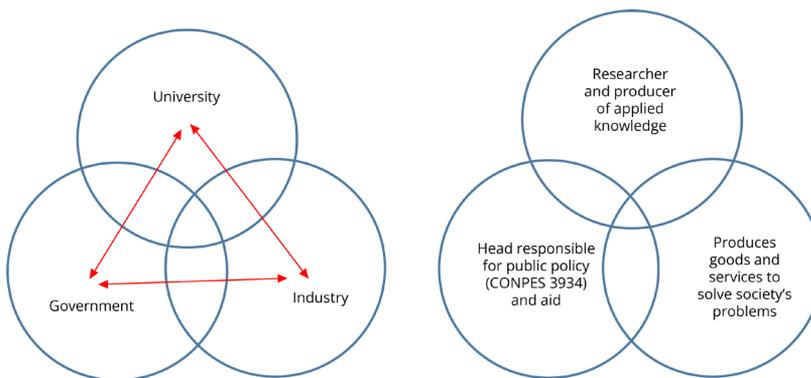


los participantes encontrar nichos en la economía basada en el conocimiento (Bruckner et al., 1994, como se cita en Etzkowitz y Leydesdorff, 1998).

La TH es una alternativa innovadora de interacciones múltiples y recíprocas dispuestas en un modelo en espiral entre universidad, empresa y Estado; cada relación representa una hélice en diferentes puntos del proceso de uso del conocimiento. Así entonces, la universidad desde la investigación, formación y extensión, se articula en la conformación de nuevas empresas, cuya base es el conocimiento. Del mismo modo, mientras las empresas se nutren con el conocimiento producido en las universidades, se crea un flujo de intercambio, cooperación y financiación que determina procesos de I + D + i, en donde la aplicación del conocimiento resuelve problemas cotidianos y crea nuevos procesos, productos y servicios comercializables. Para garantizar esta interacción eficiente se requiere una infraestructura normativa, instrumentos e incentivos fiscales que, desde el Estado-gobierno, promuevan el dinamismo de las interacciones (ver Figuras 2 y 3).

Figura 2

Relaciones entre los actores de la triple hélice



Fuente: Rojas-Jiménez (2021a).

Desarrollo territorial sostenible

Massiris (2015) ofrece una aproximación al desarrollo territorial sostenible, considerando cuatro dimensiones: geográfica, ambiental, humana y política:

- **Dimensión geográfica:** el desarrollo territorial sostenible concibe el desarrollo a partir de la integración de tres elementos esenciales: “la naturaleza, la sociedad y el territorio, vistos desde una perspectiva geográfica, expresada por dos condiciones interrelacionadas: la territorialidad y la cohesión territorial para vincular las cualidades geográficas del territorio al desarrollo” (p. 89)
- **Dimensión ambiental:** Sachs (como se cita en Massiris, 2015) se refiere a “la conciliación entre crecimiento económico y la conservación de los



ecosistemas, en aras de mantener las condiciones de habitabilidad del planeta” (p. 92). Gudynas (2009, también citado por Massiris), alude al patrimonio natural, entendido como un acervo que se recibe en herencia ancestral y que debe ser mantenido, legado a las generaciones futuras, y no transado en el mercado.

- **Dimensión humana:** Massiris se acoge a los planteamientos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) refiriéndose a que todos los individuos aumenten su capacidad humana en forma plena y den a esa capacidad el mejor uso en todos los terrenos, ya sea económico, cultural o político, avanzando hacia un “universalismo de las reivindicaciones vitales” (p. 97).
- **Dimensión política desde la gobernabilidad y la gobernanza territorial,** entendiendo ambos conceptos como la forma en que son gobernados los territorios y cómo son dadas las relaciones entre el Estado y la sociedad civil, avanzando hacia un Desarrollo Territorial Sostenible (DTS) que priorice “la acción colectiva, la interacción entre actores públicos y privados, la participación y cooperación social, considerando la legitimidad, concertación, coordinación y cooperación” (p. 99).

Metodología

La investigación fue el resultado de una metodología cualitativa en donde se realizó una observación para recopilar datos no numéricos que aplican al caso estudiado y, cuyo eje fue comprender los elementos que acompañan los territorios estudiados para reconocer potenciales vínculos con la bioeconomía. Los instrumentos utilizados para capturar la información fueron grupos focales, entrevistas semiestructuradas y análisis de información secundaria.

Como ya se manifestó, el presente documento surgió a partir de la posibilidad de integrar miradas, disciplinas y experiencias territoriales con los colegas de las universidades representadas desde el desarrollo territorial y, usando el vehículo de la bioeconomía, se logró identificar las relaciones entre el desarrollo territorial y sostenible con la bioeconomía, para considerar referentes significativos en la aplicación de procesos y servicios que, incorporando valor agregado, conocimiento e innovación, utilizaran biomasa o recursos biológicos en su elaboración, adaptando y transformando las condiciones según cada entorno.

A partir de encuentros virtuales y algunos presenciales, se fue configurando la primera versión de lo que se esperaba encontrar y, en la medida en que se avanzó en la recolección de información, fueron abriéndose más posibilidades de aplicación y desarrollo de la bioeconomía en las regiones estudiadas, pensando en alternativas reales de aportar al desarrollo regional.



Tabla 2

Grupos focales enmarcados en la teoría de la triple hélice

| | |
|----------------------|--|
| Gobierno | Secretaría de Desarrollo económico departamental |
| Universidades | Colegas de otras universidades |
| Empresas | Cámaras de comercio - Representantes de gremios |

Las preguntas orientadoras fueron:

- ¿Qué sabe usted sobre la bioeconomía en su departamento?
- ¿Qué condiciones habilitantes tenemos en nuestra región para avanzar en temas de bioeconomía?
- ¿Qué condiciones habilitantes nos hacen falta en nuestra región para avanzar en temas de bioeconomía?
- ¿De dónde cree que se podría gestionar recursos para la bioeconomía en su región?
- ¿Cómo cree que se podría implementar mejor los procesos de bioeconomía circular en su región?
- Q1. ¿Qué se tiene?
- Q2. ¿Qué hace falta?
- Q3. ¿Qué sectores potenciales se puede sugerir para avanzar desde la bioeconomía al desarrollo territorial en las cuatro regiones?

Hallazgos

A continuación, se presenta la compilación de información de modos distintos. Desde Nariño se buscó ser muy esquemático y se consiguió abordar mucha información en la Tabla 3; sin embargo, del Tolima, La Guajira y Bogotá-Región la información se da a partir de párrafos de redacción.



Tabla 3
Una mirada desde Nariño

| Dimensión | Categoría | Fuente | Indicadores | Datos | Porcentaje |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|------------|
| | Ubicación geográfica | | Coordenadas geográficas | Suroccidente de Colombia, localizado entre los 00°31'08" y 02°41'08" de latitud norte y, los 76°51'19" y 79°01'34" de latitud oeste. | |
| | Límites geográficos | | Límites | Norte: departamento del Cauca Oriente: departamento del Putumayo Sur: República del Ecuador Occidente: Océano Pacífico. | |
| | Extensión | Plan de Desarrollo Departamental | Superficie en kilómetros cuadrados | 33 268 | |
| Geográfica | División político administrativa | | Número de municipios | 64 | |
| | Capital | | Nombre de la ciudad capital | San Juan de Pasto | |
| Humana | Población total | | Número de habitantes | 1 631 117 | |
| | Población por sexo | Proyecciones de población DANE, 2023 | Hombres | 793 253 | 48,63 |
| | | | Mujeres | 837 864 | 51,37 |
| | Población por área | | Rural | 914 656 | 56,08 |
| | | | Urbana | 716 461 | 43,92 |
| | Grupos etarios | Proyecciones de población DANE, 2023 | Primera infancia (0 a 13 años) | 342 166 | 20,98 |
| | | | Adolescencia (14 a 16 años) | 75 216 | 4,61 |
| | | | Juventud (17 a 28 años) | 316 492 | 19,40 |
| | | | Adultez (29 a 59 años) | 650 803 | 39,90 |
| | | | Vejez (60 años o más) | 246 440 | 15,11 |



| | | |
|--|---|-----------|
| Población étnica | Población negra, mulata, afro | 73 254 |
| | Población indígena | 147 960 |
| | Población palenquera | 54 |
| | Población raizal | 27 |
| | Población rom | 13 |
| Natalidad | Estadísticas vitales DANE, 2021 | 16 120 |
| Mortalidad | Estadísticas vitales DANE, 2021 | 10 531 |
| Indicadores de pobreza y calidad de vida | IPM | 22.1 |
| | Pobreza monetaria | 47.6 |
| | Pobreza extrema | 14.2 |
| Cobertura en salud | Régimen subsidiado | 1 163 813 |
| | Régimen contributivo | 284 626 |
| | Régimen especial | 33 933 |
| | Preescolar | 27 606 |
| Cobertura en educación | Primaria | 97 771 |
| | Secundaria | 93 866 |
| | Media | 36 913 |
| | Personas matriculadas en educación superior | 65 568 |



| | | |
|------------------|--|------------|
| | Agua potable | 72.4 |
| | Alcantarillado | 48.58 |
| | Energía eléctrica | 91.05 |
| | Internet | 17.01 |
| | Gas natural conectado a red pública | 7.75 |
| | Recolección de basura | 54.46 |
| | Tasa de ocupación | 65.1 |
| | Tasa de desempleo | 7.2 |
| | Tasa global de participación | 70.2 |
| | PIB en millones de pesos corrientes | 17,970.73 |
| | Porcentaje de participación del PIB en el nacional | 1.53 |
| | PIB per cápita en pesos | 11,042,698 |
| | Tasa de crecimiento del PIB | 9.6 |
| | Bosque seco tropical | 9,933 |
| | Humedales | 668,874 |
| | Páramos | 212,001 |
| | Manglares | 117,534 |
| Económica | | |
| | Mercado laboral | |
| | GEIH, DANE, 2021 | |
| | Producto interno bruto (PIB) | |
| | Cuentas nacionales DANE, 2021 | |
| Ambiental | | |
| | Ecosistemas estratégicos protegidos (Has.) | |
| | Terridata 2019 | |



| | | | |
|--|--|---|--|
| Residuos sólidos generados | Superservicios 2018 | Toneladas diarias de residuos sólidos | 596 |
| | IDEAM (2022) | Total de residuos peligrosos generados (ton) | 2,358 |
| Total de emisiones netas de gases efecto invernadero (GEI) | IDEAM (2018) | Total de emisiones netas de GEI | 6,08 Mton CO2 eq. |
| | Sistema Nacional de Gestión del riesgo de desastres (2018) | Número de personas afectadas por desastres naturales | 1,650 |
| | IDEAM | Áreas de ecosistemas estratégicos amenazados por fenómenos hidrometeorológicos | 579,695.20 |
| | IDEAM 2020, Monitoreo de deforestación | Área deforestada | 4,911 |
| Impacto ambiental | Moreno y Andrade (2019) | Proporción de especies de flora y fauna críticamente amenazadas | 7 % |
| | | Principales especies en amenaza | Fraillejón, oso de anteojos, tigrillo, tortuga tapaculo, boruga, zarigüeya |
| Energía renovable | Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2022) | Porcentaje de capacidad instalada que corresponde a fuentes renovables de energía eléctrica | 0.23 % |



| | | | |
|---|---|---|--|
| | Potencialidades de fuentes alternativas y renovables de energía | Potencial energía eólica | Estación Obonuco: en el ciclo horario del viento prevalecen intensidades cercanas a los 5 m/s entre las 11 a. m. y las 3 p. m., especialmente entre julio y septiembre |
| | | Potencial brillo solar | 3,7 horas de sol promedio anual |
| | | Potencial geotérmico de alta entalpía | Volcán Chiles – Cerro Negro, Volcán Cumbal |
| | Universidad de Nariño | Hogares que aun cocinan con leña como principal combustible | 52.10% |
| | Víctimas ocurrencia. UARIV. Fecha de corte 30/11/2022 | Víctimas del conflicto armado | 580,513 |
| Conflicto armado | Naciones Unidas, 2019 | Hectáreas cultivadas de coca | 36,964 |
| Gobierno abierto | Mintic 2021 | Índice de desempeño de gobierno digital | 58.2 |
| Desempeño fiscal | DNP, 2021 | | 52.55 |
| Potencial electoral | Registraduría Nacional, 2022 | Número de personas | 1 179 842 |
| Líneas estratégicas Plan de Desarrollo "En defensa de lo nuestro 2020-2023" | | Mi Nariño sostenible | |
| | | Mi Nariño seguro | |
| | | Mi Nariño incluyente | |
| | Gobernación de Nariño, Planeación Departamental | Mi Nariño conectado | |
| | | Mi Nariño competitivo | |

Política

Fuente: elaboración propia en colaboración con el Equipo del Centro de Estudios de Desarrollo Regional CEDRE de la Universidad de Nariño.



Una mirada desde La Guajira

- **Dimensión geográfica:** la Guajira colombiana se localiza en la parte más septentrional de América del Sur, con una extensión de 2.0848 Km² aproximadamente, integrada por 15 municipios; se localiza frente a la costa del mar Caribe; limita con la república de Venezuela y comprende una gran parte de la península de La Guajira. Se diferencia por sus paisajes desérticos, las dunas de arena gigantes y las haciendas y villas pesqueras remotas del pueblo indígena wayuu. La ciudad capital, Riohacha, tiene una costa bordeada de palmeras, playas y puestos de artesanía, y sirve como vía de acceso para el turismo-aventura en la región. A pesar de tener una ubicación geográfica privilegiada, no cuenta con eficientes servicios públicos que la lleven a jalonar desarrollo económico para la transformación del departamento.

El gran ecosistema de la sierra nevada de Santa Marta se ubica en tres departamentos: Magdalena, Cesar y La Guajira, siendo este último donde están ubicados los picos más altos de este ecosistema, lo que le permite contar con diferentes pisos térmicos y, variedad de climas ricos en biodiversidad dentro de su jurisdicción; no obstante, la actividad agropecuaria está poco desarrollada por falta de tecnificación.

- **Dimensión ambiental:** el Plan de Gestión Ambiental Regional es una herramienta de programación estratégica de largo plazo para el gobierno del departamento; este proceso ha contado con la colaboración de diferentes actores de la sociedad civil e institucional; se ha tenido la información de primera mano y además, cuenta con la asesoría de la Corporación Autónoma de La Guajira a los procesos de ordenamiento territorial municipal, insumo primordial en lo relacionado con la gestión ambiental.

En cuanto al desarrollo socioeconómico, la Constitución de 1991 tiene como premisa, que esté fundamentado en un ambiente sano y un incremento de la calidad de vida de todos sus habitantes; esto sería inalcanzable si no se programa sobre una estrategia que comprometa a la administración en la protección y recuperación del medio ambiente y los recursos naturales, con un desarrollo humano en el que se vincule el crecimiento económico con una apropiada política ambiental.

Si bien las políticas ambientales contenidas en la Constitución de 1991 han alcanzado a incluir los temas ambientales como tendencia nacional y a edificar una institucionalidad para abordarla a través del SINA, aún es necesario concretar cambios que lleven a hacer realidad la sostenibilidad como proyecto de desarrollo. Es obligatorio fortalecer las políticas y las piezas que avalen su garantía, contando con una información exacta y confiable sobre los contextos ambientales regionales y nacionales, contextualizados en la globalización de la gestión ambiental.

A fin de refrendar resultados precisos en la calidad del ambiente, estas políticas deben ampliar la unión, priorización y focalización de las acciones



y, suscitar la intensa, amplia y eficaz colaboración de los actores sociales e institucionales por medio de acuerdos y responsabilidades compartidas, visiblemente determinadas y con materiales para su valoración y seguimiento.

Desde el entorno ambiental, La Guajira debe propender hacia el establecimiento de una relación sociedad-naturaleza completamente sinérgica; es decir, aquella en la que la sociedad guajira pueda beneficiarse racional y eficientemente de los recursos naturales, acelerar su avance sobre bases de sostenibilidad, contar con un hábitat sano y una mejor calidad de vida y, de igual manera, asegurar las reservas de recursos para las futuras generaciones, sobre la base de una apropiada comprensión del funcionamiento de la naturaleza y las limitaciones, vulnerabilidades y potencialidades de sus hábitats y sus recursos naturales conexos.

La política se basa sobre el contexto de tres conceptos:

1. El agua como eje articulador de la política
 2. Educación y concientización ambiental y participación comunitaria
 3. El medio ambiente y la inclusión de La Guajira en el ámbito nacional e internacional.
- **Dimensión humana:** es uno de los departamentos con mayor pluralidad étnica y una de las regiones con mayor dinámica y comportamiento demográficos particulares que lo diferencian del resto del país e inclusive, a nivel de sus propias subregiones, ya que al interior de su territorio se aprecia espacios de vida y espacios geográficos enormemente diversos y con peculiaridades visiblemente diferenciadas.

El departamento alberga numerosas colectividades de culturas diversas, entre las que se puede mencionar: criollos, afrodescendientes, blancos, wayuu, que se considera como etnia mayoritaria; además, cuenta con los indígenas que habitan la Sierra Nevada: wiwa, kogui, arhuaco, kankuamos e ingas, al igual que, los pueblos receptivos por desplazamiento forzado de otras regiones, como los zenúes, árabes y mestizos.

En la actualidad, el departamento atraviesa por una aguda crisis institucional y socio-económica que se manifiesta en el detrimento de su capacidad de gobernanza, lo que se debe principalmente a la corrupción administrativa, los profundos niveles de pobreza, la deficiente cobertura y calidad del sistema de salud y de educación, así como, un limitado acceso a la vivienda y a los sistemas de agua potable y saneamiento básico, lo cual redundo en un bajo índice de necesidades básicas insatisfechas en la mayor parte de la población.

- **Dimensión política:** Colombia fue definida como un estado social de derecho a través de la Constitución Política de 1991, unitario y descentralizado, democrático y participativo; esto también se transfiere a los entes territoriales; se da una descentralización administrativa, mas no de recursos; estos están supeditados al gobierno central quien los distribuye, dependiendo de la población de cada uno de los entes territoriales.



Cabe anotar que La Guajira viene de una constante ingobernabilidad, derivada de la corrupción administrativa que se ha dado en todos los niveles, al punto de ser considerado uno de los departamentos más corruptos del país, donde las inversiones son pocas e invisibles, reflejando el deterioro de las instituciones todos los niveles.

El plan de desarrollo del departamento, 'Unidos por el Cambio 2020-2023' (Gobernación de La Guajira, 2020) se encuentra cimentado en cinco líneas estratégicas:

Una gobernación con capacidades institucionales, que le apueste a una economía diversa y sostenible, que promueva la equidad social, garantice la seguridad y fortalezca la infraestructura departamental para la integración de La Guajira, en busca de un mejor bienestar para todos. (pp. 28-29)

Nuestro Plan de Desarrollo se convertirá en una hoja de ruta que sentará las bases en el próximo cuatrienio, para que La Guajira se administre y se proyecte diferente a nivel nacional e internacional. Para cumplir las metas del plan, se trazará propuestas a través de diversos ejes que impulsarán la gobernanza en los próximos cuatro años.

Una aproximación desde el Tolima

La bioeconomía puede tener diferentes enfoques; según el *The World Bank* (2021), este concepto se refiere a la producción y uso de productos y servicios basados en recursos biológicos y renovables, para crear valor económico y social de manera sostenible. En este departamento, la bioeconomía ha empezado a tener importancia en los últimos años, como una alternativa para el desarrollo sostenible de la región.

El Tolima cuenta con una gran riqueza que se puede aprovechar en la bioeconomía, como la diversidad de recursos naturales, ríos, bosques, tierras fértiles, para desarrollar productos y servicios innovadores. Algunos ejemplos de bioeconomía que se está desarrollando son:

- **Agricultura sostenible:** la región es conocida por su producción agrícola, especialmente de café, arroz, aguacate, cacao y frutas tropicales. En este sentido, la bioeconomía en la agricultura se enfoca en el uso de técnicas sostenibles para la producción de alimentos y la implementación de buenas prácticas para la conservación de la biodiversidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).
- **Turismo ecológico:** se cuenta con una gran variedad de ecosistemas: montañas, nevados, ríos y lagunas y bosque seco, lo cual convierte a la región en un destino turístico potencial; la bioeconomía en el turismo se enfoca en el desarrollo de actividades que promuevan la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales.
- **Bioteología:** la región cuenta con una amplia variedad de plantas y microorganismos que pueden ser utilizados para desarrollar productos



biotecnológicos (Aveces y Castañeda, 2012), como: alimentos funcionales, biocombustibles, cosméticos y productos farmacéuticos; por ejemplo: plantas para medicinas tradicionales y ancestrales, que pueden ser tecnificadas y estandarizadas.

- **Energías renovables:** la bioeconomía también se enfoca en el desarrollo de energías renovables, como la solar y la hidráulica, para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y promover un desarrollo más sostenible. Algunas empresas de servicios públicos como Celsia la están implementando y otras, como la Universidad de Ibagué, hacen uso de este recurso.

Finalmente, la bioeconomía en el Tolima es una alternativa para el desarrollo sostenible de la región, aprovechando la rica biodiversidad y los recursos naturales de la zona. A través de la implementación de prácticas sostenibles en la producción y uso de productos y servicios se puede generar valor económico y social, sin comprometer la conservación del medio ambiente. Las siguientes conclusiones de tres entrevistados avalan lo mencionado:

Gremios: Temas: Bioeconomía, proyectos de desarrollo, impacto en el sector agropecuario, zonas de influencia, potencial de la bioeconomía en el Tolima, vocación del Tolima.

El entrevistado habla sobre los proyectos que Fedearroz y ASIATOL están desarrollando para generar impacto en la bioeconomía. Fedearroz está trabajando con la masa residual de la cosecha para mejorar la fertilidad de los suelos, disminuir los costos de producción y aumentar la biodiversidad de los suelos. Además, está haciendo compost con la biomasa residual de la cosecha, para usarlo como abono orgánico y sustituir fertilizantes químicos. La cascarilla del arroz se utiliza como energía y como enmienda a los suelos. Por su parte, ASIATOL hace convenios con los dueños de la producción y con todos los centros de investigación, para transferir tecnologías relacionadas con la bioeconomía.

Los proyectos son llevados a cabo en las zonas arroceras de los municipios de Saldaña, Purificación, Prado, Espinal, Guamo, Flandes, la meseta de Ibagué, Alvarado, Piedras y hacia el norte del Tolima, Ambalema, Armero, Lérica y Venadillo.

El objetivo de la bioeconomía es hacer que el sector agropecuario sea más competitivo, sostenible y amigable con el ambiente. Esta estrategia puede beneficiar a otros sectores como el comercio, la gastronomía y el turismo. El Tolima tiene una gran vocación agropecuaria dado que cuenta con todos los pisos térmicos, desde la zona cálida hasta los nevados, lo que favorece la generación de productos que sirvan para la seguridad alimentaria y que puedan ser exportados. La bioeconomía representa un papel fundamental en la sostenibilidad, en los costos de producción y en los rendimientos, al mejorar la biodiversidad de los suelos y la eficiencia en la retención de humedad, para que la agricultura sea productiva.



Academia: Proyecto Alzheimer y amaryllidaceas: busca identificar y aislar compuestos de plantas de la familia Amaryllidaceae que puedan tener un efecto neuroprotector contra la enfermedad de Alzheimer. Es liderado por la profesora Charlotte y Edison, y cuenta con financiamiento de la Universidad de Ibagué.

Proyecto Pellets a base de cascarilla de arroz para carretes de impresoras 3D: busca utilizar la cascarilla de arroz para producir gránulos que puedan servir como materia prima en la producción de carretes de impresoras 3D. Es liderado por la profesora Luz Adriana y cuenta con financiamiento de la Universidad de Ibagué.

Proyecto Colombia Científica: busca desarrollar bioproductos a partir del cacao, que puedan tener diferentes usos en sectores como: alimenticio, farmacéutico y cosmético. Es liderado por Olimpo García y cuenta con financiamiento de AKIS.

Sistema de Acuaponía basado en economía circular y sustentable: a implementar en la Universidad de Ibagué, de suerte que permita la producción sostenible de alimentos y la reutilización de agua. Es un proyecto institucional de esta universidad.

Los proyectos tendrán impacto en diferentes zonas o regiones, dependiendo de su naturaleza. Para conocer las comunidades focales, sería necesario revisar la información específica de cada proyecto.

En el Tolima, los sectores que pueden ser potencializados a nivel de bioeconomía son: agropecuario, alimenticio, farmacéutico, cosmético y ecoturismo.

Históricamente, el departamento ha sido reconocido por su vocación agropecuaria y agroindustrial; sin embargo, considerando el potencial de la bioeconomía, podría ser una potencia en sectores como: ecoturismo, cosmética, farmacéutica y alimentos funcionales y nutraceuticos.

Gobierno: la información proporcionada en la entrevista puede ser categorizada en dos temas principales: turismo y bioeconomía en el departamento del Tolima.

En cuanto al turismo, se señala la promoción del departamento como un destino turístico nacional e internacional, en particular con relación a la naturaleza y la aventura, incluyendo avistamiento de aves y turismo científico. Se destaca la marca 'Tolima, Corazón de los Andes' y se mencionan operadores turísticos como *Trueman Adventure*, dedicados al turismo científico. Lugares turísticos más destacados: Toche, el bosque de palma de cera más grande del mundo y el Parque Nacional Natural de los Nevados. También se habla de estudios de carga turística en curso, para determinar el número de turistas que pueden recibir estos ecosistemas.



En cuanto a la bioeconomía, se expone la pequeña minería, la minería de subsistencia y las energías alternativas, incluyendo un próximo foro sobre energías alternativas con invitados de universidades y empresarios, los recursos naturales no renovables y la dirección encargada de ellos en la secretaría.

De acuerdo con los resultados de las entrevistas, podemos concluir que en el Tolima el concepto de bioeconomía busca promover un modelo económico basado en el uso sostenible de los recursos biológicos y renovables, con el objetivo de crear valor económico y social sin comprometer la conservación del medio ambiente. En consecuencia, este modelo busca transformar las prácticas en las que se produce y consume bienes y servicios, promoviendo la investigación, innovación y eficiencia en el uso de los recursos naturales. Aquí, la biodiversidad y los ecosistemas son considerados como los principales activos económicos, y se busca promover la conservación de estos recursos a través de prácticas sostenibles en la producción y consumo de productos y servicios. En resumen, las organizaciones académicas, gubernamentales y gremiales, tienen proyectos para la bioeconomía, con los cuales contribuyen a la construcción de un modelo económico más sostenible que promueva el bienestar humano y la conservación del medio ambiente.

Una mirada desde Bogotá-Región

Teniendo en cuenta a Massiris (2015), al referirse al desarrollo territorial y considerar las dimensiones del desarrollo territorial, Bogotá ha participado del momentum de la bioeconomía desde que comenzaron las conversaciones del CONPES 3934 (2018). Vale resaltar que la presente investigación amplía su mirada hacia la perspectiva 'Región metropolitana Bogotá-Cundinamarca' (RMBC) (Región Metropolitana, 2022). En este sentido, se presenta una serie de elementos que aportan a la identificación de las condiciones habilitantes para el desarrollo de la bioeconomía:

Según Massiris (2015), el DTS se puede considerar a partir de cuatro dimensiones clave: geográfica, ambiental, humana y política, que serán desarrolladas para la bioeconomía en el caso de la RMBC.

- **Dimensión geográfica:** Bogotá tiene una extensión de 350 km² con cerca de nueve millones de habitantes (Sociedad Geográfica de Colombia, Sogeocol, s.f.). Se ubica en el centro geográfico del territorio nacional a 2 600 m s.n.m., en el borde oriental de la Sabana de Bogotá, que es la altiplanicie más alta de los Andes colombianos. Tiene un área total de 1776 km² y un área urbana de 307 km². Fue fundada en las faldas del brazo oriental de la cordillera de los Andes; sus límites estaban definidos al norte por el río Vicachá (en lengua chibcha) o San Francisco; al sur por el río Rumichaca o San Agustín; al occidente por el río Fucha y al oriente por los cerros orientales. Varios ríos tributarios forman pequeños valles dedicados a la agricultura y la ganadería. Lagunas sagradas y embalses artificiales son parte de los atractivos en torno al turismo de naturaleza.



La RMBC está definida por el Acuerdo 858 de 2022, en donde se reconoce como “una entidad administrativa de asociatividad regional con régimen especial” (párr. 1). Tiene personería jurídica de derecho público, autonomía administrativa y patrimonio propio, integrada por los municipios de Cundinamarca que deseen asociarse, en la medida en que compartan uno o más hechos metropolitanos, entendidos como áreas temáticas comunes entre los integrantes de la región. Los hechos metropolitanos son “aquellos fenómenos o situaciones relacionadas con las dinámicas económicas, sociales, ambientales o territoriales que afecten, impacten o beneficien a un número plural de entidades territoriales asociadas a la Región Metropolitana y cuya acción coordinada garantiza mayor efectividad” (El Tiempo, 2021, párr. 14). En ese contexto, no es posible aún delimitar concretamente la dimensión geográfica, pero se puede mencionar que en el entorno RMBC se concentran universidades, infraestructura, acceso al crédito, entidades públicas y algunos recursos biológicos y biomasa residual para orientar las condiciones habilitantes hacia la bioeconomía.

- **Dimensión ambiental:** la RMBC está inmersa en la paradoja desarrollista determinada por el crecimiento poblacional-urbano, la necesidad de infraestructura y el desplazamiento de la frontera urbano-rural, al concentrar las oportunidades sociales, económicas y culturales. Dicho desplazamiento ha dispuesto el debate del uso de tierras productivas y reservas forestales ante el incremento de la especulación inmobiliaria y la gentrificación (Ortiz y Hernández, 2015; Pardo y Peña, 2016; Barón, 2021; Céspedes, 2022). En el marco de la bioeconomía, la RMBC evidencia condiciones habilitantes para el aprovechamiento de biomasa residual, dado el volumen de desechos aprovechables que son cerca de 7500 toneladas/día (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2015); así mismo, produce el 19 % de los residuos sólidos a nivel nacional y solo se aprovecha un 17 % de los mismos, por lo que 6300 toneladas terminan en el relleno sanitario Doña Juana (Pardo, 2018), merced a la labor de más de 22 000 recicladores de oficio, con lo cual se logra aprovechar cerca de 1200 toneladas (Malaver, s.f.). Y, aunque tiene posibilidad de acceder a recursos biológicos, es la región colombiana menos dotada.
- **Dimensión humana** para 2020, 75 de cada mil personas en Bogotá tuvieron privación en, al menos, el 33 % de los 15 indicadores que mide el Índice de pobreza multidimensional. Las privaciones más comunes para los hogares fueron: trabajo informal (59,7 %); bajo logro educativo (23,2 %) y rezago escolar (22,2 %) (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021). Así mismo, hubo una disminución en la frecuencia de desnutrición aguda en menores de cinco años, pasando de 3,7 % en 2020 a 2,8 % en 2021; la tasa de desempleo entre jóvenes disminuyó en un 8 %, dejando el índice en un 17,8 % (Infobae, 2022). En 2018 alcanzó un 96,85 % de los estudiantes de primaria y secundaria que se esperaba atender y, ante una mejor formulación de la meta en 2019, el indicador alcanzó en 2020 un 102,5 % (Secretaría de Educación del Distrito (SED), 2020), entre otros elementos que participan de estas reivindicaciones vitales; sin embargo, es significativa la desigualdad y concentración de riqueza, tierra y



condiciones en pocas manos. Frente a la bioeconomía, esta dimensión ofrece una serie de condiciones habilitantes que toman una distancia significativa de otras regiones en el país, según los resultados del Informe departamental de competitividad 2021-2022 (Consejo Privado de Competitividad, 2022). Varios de los criterios que menciona sugieren la posibilidad de avanzar en la dimensión humana hacia el DTS; es vital pensar en articularlos, para favorecer estas condiciones.

- Dimensión política:** la RMBC tiene un amplio recorrido, pero también, mucho por hacer. Existen mecanismos de concertación, coordinación y cooperación, pero su aplicación suele quedar en entredicho (Camacho et al. 2019; Díaz, 2022; Medina y Porras, 2020; Venecia, 2015; Zambrano, 2021). Según el reporte de Colombia Potencia de la Vida (2022) entre 2019 y 2020, la Alcaldía Mayor de Bogotá obtuvo un puntaje de 97,7 en su índice de desempeño institucional (IDI). En participación ciudadana en la gestión pública, pasó de 90,0 a 97,5; en acceso a la información pública y lucha contra la corrupción pasó de 94,9 a 97,3. La planeación institucional también aumentó, pasando de 95,2 a 99,0 y, el fortalecimiento institucional y simplificación de procesos, de 94,0 a 99,0 (Febres, 2021). Las personas que manifestaron no haber votado en las elecciones para alcaldes, gobernadores, asambleas, concejos y JAL en octubre de 2019, el 37,2 % de la población de 18 años y más de Bogotá, indicó que no lo hizo, por desinterés (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2022). Esta dimensión tiene criterios menos comparables, en tanto no existe un índice nacional, departamental, regional que determine los elementos que sugiere Massiris (2015); no obstante, en el caso de Bogotá, se considera unos referentes que podrían ser útiles al momento de tener en cuenta condiciones políticas que habiliten el desarrollo de procesos productivos, incluyendo la bioeconomía.

Finalmente, una aproximación a algunos de los referentes que se puede reconocer desde los territorios y que sugieren la posibilidad de continuar avanzando, motivando y desarrollando más procesos vinculados con la bioeconomía:

Tabla 4
Algunos productos y servicios desde los territorios y la bioeconomía

| Nariño | Guajira | Tolima | Bogotá-Región |
|--|-----------------------------------|---|--------------------------------------|
| Fibra natural a base de Fique | Tejido wayúu arte de tejer dibujo | Café, cacao y frutas tropicales | Medicina regenerativa, células madre |
| Aprovechamiento de residuo de bagazo para la elaboración de abonos orgánicos | Agrofique y Tejedores de Sueños | Uso de microorganismos con aplicación en alimentos funcionales, biocombustibles, cosméticos y productos farmacéuticos | Biorefinerías, biodiesel |
| Turismo de naturaleza | | | |



Conclusiones

La decisión de Bolívar, de hacer de Colombia un país centralista, que generó numerosos enfrentamientos durante el siglo XIX, contribuyó especialmente a la generación de marcadas brechas regionales y la concentración de condiciones habilitantes en Bogotá-Región. A pesar de eso, las regiones estudiadas tienen mucho potencial en términos de bioeconomía, ofreciendo aportes importantes para el desarrollo territorial. Sin embargo, se requiere ajustes en modelos de producción y consumo, en la mentalidad frente al uso de los recursos biológicos y la biomasa residual.

Cada región requiere adaptaciones particulares, pero en todas necesita seguir avanzando en infraestructura y acceso al conocimiento y a recursos financieros. El potencial no es suficiente; se invita a seguir ampliando las condiciones para poder hacer uso de los indicadores sobresalientes en términos de biodiversidad. Por lo anterior, el Estado debe garantizar condiciones mínimas para motivar los resultados regionales. La seguridad, la infraestructura, el monopolio de la fuerza y la justicia son fundamentales para que, junto a la educación, sea posible que el conocimiento y la innovación se sumen en torno al uso de los recursos biológicos y la biomasa residual. Una buena administración de la biomasa residual y de los recursos biológicos, junto con un efectivo acompañamiento de distintos actores, puede contribuir al desarrollo de resultados positivos en los territorios.

Por otro lado, en un país multiétnico y pluricultural, es fundamental el diálogo de saberes, dando la palabra a los líderes de los Pueblos Originarios, a las comunidades afrodescendientes y a las comunidades campesinas, para constituir desde sus conocimientos ancestrales, la bioeconomía que no se limite a la productividad y competitividad que son necesarias, pero que no incluyen la importante tarea de aportar a la distribución de la riqueza y a la mejora en las condiciones de los miembros de la sociedad más vulnerables.

Finalmente, el presente artículo dista de estar terminado; sigue habiendo mucha información que esperamos aportar en futuros documentos que servirán como referencia para los tomadores de decisiones públicas, privadas, académicas y desde la sociedad civil. Solo un segmento de lo que se comparte en este artículo corresponde a la totalidad de la investigación, por lo cual, para efectos de poder compartir nuestros avances de investigación en el II Congreso Internacional de Ciencias e Ingeniería, participamos con esta primera aproximación.



Referencias

- Acuerdo 858 de 2022. (2022, 18 de noviembre). Concejo de Bogotá, D. C. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=129900>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021). Infografía / Demografía y salud en Bogotá. <https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/index.php/2021/08/11/infografia-demografia-y-salud-en-bogota/>
- Aveces, Á. E. y Castañeda, L. M. (2012). *Producción biotecnológica de lipasas microbianas, una alternativa sostenible para la utilización de residuos agroindustriales*. Universidad de Antioquia.
- Barón, Y. D. (2021). *El proceso de transformación urbana y el fenómeno de la gentrificación en Bogotá: Un estudio multitemporal en la UPZ 92 La Macarena, entre los años 2005-2020* [Tesis de Pregrado, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca]. <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/3468>
- Camacho, Y., Novoa, M., Mora, C., Castiblanco, I., Villate, P., Infante, D., Castellanos, J. y Parrado, A. (2019). *Procesos de gobernanza territorial: un análisis para la provincia del Tequendama - Cundinamarca*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Céspedes, V. (2022). ¿Gentrificación rural? Relatos de la ciudad al campo: Experiencias contrastadas de los vinculados de zonas rurales en San Francisco, Cundinamarca [Tesis de Pregrado, Universidad del Rosario]. <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/33705>
- Colombia Potencia de la Vida. (2022). Desempeño institucional de entidades públicas aumentó en 2021 y superó la meta del cuatrienio. <https://www.funcionpublica.gov.co/-/desempe%C3%B1o-institucional-de-entidades-publicas-aumento-en-2021-y-supero-la-meta-del-cuatrienio-%C2%A0>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación. (2018). Documento CONPES 3934. <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/conpes/econ%C3%B3micos/3934.pdf>
- Consejo Privado de Competitividad. (2022). Informe nacional de competitividad 2021-2022. <https://compite.com.co/informe/informe-nacional-de-competitividad-2021-2022/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). Encuesta de Cultura Política (ECP) 2021. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/ecpolitica/bol_ECP_21.pdf



Díaz, Y. (2022). *Propuesta modelo gobernanza turística en el municipio de Villa de Guaduas (Cundinamarca) estudio de caso* [Tesis de Maestría, Universidad Externado de Colombia]. <https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/2f0d9115-4ce7-4f4e-bb5b-b03f7aaa9a57>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2015). Rellenos sanitarios de 321 municipios colapsarán en cinco años, advierte el DNP. <https://2022.dnp.gov.co/Paginas/Rellenos-sanitarios-de-321-municipios-colapsar%C3%A1n-en-cinco-a%C3%B1os,-advierte-el-DNP--.aspx>

El Tiempo. (2021, 21 de diciembre). Aprueban Bogotá Región Metropolitana: qué es y cómo funcionará. <https://www.portafolio.co/economia/gobierno/aprueban-bogota-region-metropolitana-que-es-y-como-funcionara-559849>

Etzkowitz, H. & Leydesdorff, L. (1998). The Triple Helix as a model for innovation. *Science and Public Policy*, 25(6).

European Commission. (2002). *Life Sciences and Biotechnology: a strategy for Europe*. European Communities.

Febres, D. (2021). Bogotá obtiene la más alta calificación en el Índice de Desempeño Institucional. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/gestion-publica/bogota-logra-la-mas-alta-calificacion-en-desempeno-institucional>

Georgescu-Roegen, N. (1996). *La ley de la entropía y el proceso económico*. Fundación Argentaria – Visor Distribuciones.

Georgescu-Roegen, N. (2003). *Bioeconomía*. SAGGI.

Gobernación de La Guajira. (2020). Plan departamental de desarrollo de La Guajira. Unidos por el cambio 2020-2023. <https://obsgestioneducativa.com/download/plan-de-desarrollo-departamental-la-guajira-2020-2023/>

Gobierno de Colombia. (2020). Bioeconomía para una Colombia potencia viva y diversa: hacia una sociedad impulsada por el conocimiento. https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/bioeconomia_para_un_crecimiento_sostenible-qm_print.pdf

Infobae. (2022). Bogotá mejoró en indicadores económicos, pero se raja en equidad, según Bogotá cómo vamos. <https://www.infobae.com/america/colombia/2022/07/27/bogota-mejoro-en-indicadores-economicos-pero-se-raja-en-equidad-segun-bogota-como-vamos/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2020). Resultados del monitoreo de deforestación. http://www.ideam.gov.co/documents/10182/113437783/Presentacion_Deforestacion2020_SMBYC-IDEAM.pdf/8ea7473e-3393-4942-8b75-88967ac12a19



- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Informe nacional de la generación y manejo de residuos o desechos peligrosos en Colombia 2021*. IDEAM.
- Malaver, J. (s.f.). Reciclaje, el primer paso responsable para aprovechar la basura que generamos. <https://bogota.gov.co/yo-participo/blogs/basura-en-bogota-una-responsabilidad-de-todos-los-ciudadanos>
- Massiris, Á. M. (2015). *Gestión territorial y desarrollo: Hacia una política de desarrollo territorial sostenible en América Latina*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC.
- Medina, M. E. y Porras, N. E. (2020). *Gobernanza del Agua. Estudio de Caso: Municipio de Quebradanegra, Cundinamarca* [Tesis de Maestría, Universidad Cooperativa de Colombia]. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/18265>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo, celebra el Día Mundial de la Biodiversidad. <https://www.minambiente.gov.co/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemas/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo-celebra-el-dia-mundial-de-la-biodiversidad/>
- Moreno, L. A. y Andrade, G. I. (eds.). (2019). *Biodiversidad 2019. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Ortiz, J. D. y Hernández, Y. (2015). Análisis desde la base del conocimiento local de las percepciones y respuestas locales frente al proceso de reurbanización en la vereda de Chuntame, municipio de Cajicá, Cundinamarca. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(1). <https://doi.org/10.15446/rcdg.v24n1.47775>
- Pardo, M. Á. (2018). Smart cities, economía circular y aprovechamiento de residuos. <https://repository.cesa.edu.co/handle/10726/2309>
- Pardo, M. y Peña, M. (2016). *Influencia del turismo en la gentrificación: Melgar, Tolima* [Tesis de Pregrado, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca]. <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/1718>
- Pavone, V. (2012). Ciencia, neoliberalismo y bioeconomía. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 7(20), 145-161.
- Región Metropolitana. (2022). Distrito Capital ingresa a la Región Metropolitana Bogotá-Cundinamarca. <https://www.regionmetropolitana.com/post/distrito-capital-ingresa-a-la-regi%C3%B3n-metropolitana-bogot%C3%A1-cundinamarca>



- Rojas-Jiménez, H. H. (2021a). Local economic development and the Colombian strategy for a sustainable and inclusive bioeconomy. En Orozco, L. A., Ordóñez-Matamoros G., Sierra-González, J. H., García-Estévez, J. y Bortagaray, I. (eds). *Science, Technology, and Higher Education* (pp. 115-150).
- Rojas-Jiménez, H. H. (2021b). *Menos calentamiento, más bioeconomía: algunos aportes para disminuir el impacto del cambio climático en Colombia*. Universidad Externado de Colombia.
- Rojas-Jiménez, H. H. y Mojica-Godoy, A. (2023). Colombia Bio como vehículo de la bioeconomía en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. En Estrada, J. J. (Ed.) *Seguimiento y análisis de Políticas Públicas en Colombia*. Universidad Externado de Colombia.
- Secretaría de Educación del Distrito (SED). (2020). Informe Tablero de Indicadores. https://www.educacionbogota.edu.co/portal_institucional/sites/default/files/2020-12/Indicadores
- Sociedad Geográfica de Colombia (Sogeocol). (s.f.). Plan de Ordenamiento Territorial – Cuenca Alta del Río Bogotá. <https://www.sogeocol.edu.co/documentos/cuencap7.pdf>
- The World Bank. (2021). Agriculture and Food. <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview>
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2022). Boletín estadístico de Minas y Energía. <https://www1.upme.gov.co/Hemeroteca/Paginas/Boletin-estadistico-de-ME.aspx>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2018). Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 30 años. https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/sistema_nacional_de_gestion_del_riesgo_de_desastres_-_claudia_satizabal.pdf
- Venecia, S. M. (2015). *Gobernanza del cambio climático: estudio de caso plan regional integral de cambio climático, región capital, Bogotá Cundinamarca, PRICC* [Tesis de Maestría, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/13153/u714221.pdf?sequence=1>
- Zambrano, N. (2021). *Gobernanza turística en el municipio de Subachoque Cundinamarca: lineamientos para la creación de la corporación de turismo* [Tesis de Maestría, Universidad Externado de Colombia]. <https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/8428e2e0-236b-437a-91e4-2b6b1ac7334f>



Capítulo 2

Carlos Alban and Bartolomeu Lourenço de Gusmão: coincidences around a utopia of air

Henry Daniel Vera Ramírez¹

Cítese como: Vera-Ramírez, H. D. (2023). Carlos Alban and Bartolomeu Lourenço de Gusmão: coincidences around a utopia of air. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 38-64). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c351>

Abstract

This paper attempts to reflect on the relationship between two pioneers in the development of flying artifacts -later known as airships- from Brazil/Portugal and Colombia. The present research is framed in a documentary study of different archival collections of Francisco José Carlos Alban Estupiñán (1844-1902) and Bartolomeu Lourenço de Gusmão (1685-1724) who developed ideas and artifacts that pioneered the later developments of Ferdinand von Zeppelin (1830-1917). Some conclusions propose that the design of the «*passarola*» had a mythical scope that transcended its time and that Alban's patent #588 could be an important antecedent for the development of these artifacts in the case of the Colombian.

Keywords: aerostat; Alban; Gusmão; Zeppelin; patent.

Carlos Albán y Bartolomeu Lourenço de Gusmão: coincidencias en torno a una utopía de aire

Resumen

El presente documento intenta realizar una reflexión sobre la relación existente entre dos pioneros en el desarrollo de artefactos voladores, conocidos posteriormente como dirigibles, provenientes de Brasil/Portugal y de Colombia. La investigación se enmarca en un estudio documental de diferentes fondos de archivos de Francisco José Carlos Albán Estupiñán (1844-1902) y Bartolomeu Lourenço de Gusmão (1685-1724), quienes desarrollaron ideas sobre artefactos que fueron pioneros de los desarrollos posteriores de Ferdinand Von Zeppelin (1830-1917). Algunas conclusiones proponen que

¹ Universidade Nova de Lisboa y SENNOVA. Correo: h.ramirez@campus.fct.unl.pt



el diseño de la «*passarola*», tuvo un ámbito mítico que fue trascendiendo su época y, que la patente #588 de Albán podría constituirse en un antecedente importante del desarrollo de estos artefactos en el caso del colombiano.

Palabras clave: aerostato; Albán; Gusmão; Zeppelin; patente.

Carlos Albán e Bartolomeu Lourenço de Gusmão: Coincidências em torno de uma utopia do ar

Resumo

Este artigo procura refletir sobre a relação entre dois pioneiros no desenvolvimento de artefatos voadores -mais tarde conhecidos como dirigíveis- do Brasil/Portugal e da Colômbia. A presente pesquisa está enquadrada em um estudo documental de diferentes coleções de arquivos de Francisco José Carlos Alban Estupiñán (1844-1902) e Bartolomeu Lourenço de Gusmão (1685-1724), que desenvolveram ideias e artefatos que foram pioneiros nos desenvolvimentos posteriores de Ferdinand von Zeppelin (1830-1917). Algumas conclusões propõem que o projeto da «*passarola*» tinha um escopo mítico que transcendia seu tempo e que a patente nº 588 de Alban poderia ser um antecedente importante para o desenvolvimento desses artefatos no caso do colombiano.

Palavras-chave: aeróstato; Alban; Gusmão; Zeppelin; patente.

Introduction

There is an insufficient approach to the scientific and technological advances that have been carried out in the historical development of the Colombian context. Although there are currently some scientists and inventors of national and international recognition, our country has been the cradle of some important figures in the scientific field, both in the post-independence period and throughout the twentieth century. Many of them were influenced by a *spirit of knowledge*, which made them -if the term is still allowed- integral intellectuals, due to their capacity for analysis of different problems arising from the reality of the country and its context. Regardless of their political stance, many of them generated scientific instruments that even made them pioneers in the development of certain areas of knowledge.

One of these characters, who has been valued much more in his political aspect is Francisco José Carlos Alban Estupiñán, a lawyer, mathematician, inventor, doctor, military, and civil engineer. His importance as a politician stood out in the *Thousand Days War* and the consolidation of conservative ideas, but the aspect that we seek to deepen is his aspect as an inventor and science disseminator.

On the other hand, Bartolomeu Lourenço de Gusmão, known as the «voador», was a priest of Portuguese-Brazilian origin, who was interested in the construction of machines and especially in a machine that could fly and



that finally resulted in a flying machine design called the *Passarola* (1709). This approach seeks to make a rapprochement between two scientific profiles from different places or areas that intend to make visible advances in a *creole science* that has been relatively unknown for the benefit of figures of greater recognition and coming from the global north.

The general objective of the paper is to analyze a comparative study of the advances in aerostat issues carried out by the Colombian scientist Carlos Alban through the impact of the assignment of patent #588 and the advances carried out by Bartolomeu Lourenço de Gusmão. The specific objectives are: to describe the set of scientific contributions and especially the one to the development of hot air balloons in the studies conducted by Carlos Alban; to describe the relationship between science and politics in Colombia in the late nineteenth and early twentieth centuries, to contribute to the analysis of the context in which the political event of the patent assignment took place. Finally, analyze the historical importance of the contribution of Bartolomeu Lourenço de Gusmão to the later development of airships.

The work focuses on the need to recover historically different figures who have contributed in different ways to the advancement of science in our country. In this sense, it does not promote a political vindication of the figure of Carlos Alban, but an analysis that focuses mainly on understanding and valuing his scientific contributions and especially his aid to the development of aeronautical science and the development of airships. "The Zeppelin evolved into an emotional symbol of science, national pride, peace, war, gigantism, and even disaster, beyond the control of any man or political power" (Mosher, 2002, p. 64).

This, without leaving out an analysis of the political and social context of our country, where the assignment of the patent took place, and the meaning, from the political point of view of the act and the consequences in terms of the advancement of science and technology in the country.

The work can contribute to the disciplinary formation of those interested in the social studies of science since it allows them to analyze the political context that developed during the work of Carlos Alban and its comparison with the advances of Bartolomeu Lourenço de Gusmão, through the *Creole science* device, as the way in which certain figures who had made important advances in the development of different disciplinary fields were undervalued and how some political acts can, in a certain way, vindicate the scientific work. An example of this is the work of Kühne (2012), on Zeppelin's contributions to technical and social development in Germany, without even naming the initial support of the Colombian with whom he met in Hamburg when Alban was part of the diplomatic corps.



Figure 1

Francisco José Carlos Alban Estupiñán January 1st, 1899, and Bartolomeu Lourenço de Gusmão in a painting by Benedito Calixto de Jesus. Oil painting, 1902



Source: Paulista Museum.

Some physical fundamentals of aerostats

The airship is an aerostat that, by the effect of motor-propellant groups and stability and maneuvering surfaces with which it is promoted, moves through a medium. The apparatus is generally subject to the laws of subordinate horizontal flight aerostat, as well as aerodynamics. The lower coefficient of drag in the air and a better relation between power and speed (taking into account the own volume and the density of the environment), and the performance of the propeller generally favor designs of fusiform aspect and elongated backward (Maluquer, 1942; Mortane, 1938; Davy, 1950).

However, this definition can be extended to any device that can be kept in equilibrium in the atmosphere by simple applications of Archimedes' principle; this one is a general principle of the mechanics of incompressible or non-compressible fluids, by which a *hydrostatic impulse* is calculated, as enunciated by Archimedes: Anybody immersed in a liquid is subjected to a vertical impulse, directed upwards, equal to the weight of the volume of the displaced liquid. It can be demonstrated by the theorem: *Calculate the sum of the pressure forces on all surfaces of the immersed body*. The impulse is given by $A = \oint s P d\vec{\sigma}$. (See: Bruhat, 1940; Giqueaux-Oudart, 1957).

Once it is made up of solid elements with a density higher than that of air, it is necessary to have a volume occupied with a body less dense than air to ensure its equilibrium in the atmosphere. Static equilibrium at a certain altitude will be obtained when the weight of the volume of air displaced by the aerostat is equal to the weight of the aerostat with its gas.



An aerostat behaves suspended in the air thanks to two vertical elastics acting in opposition. One of them represents the lift force and the other the weight, which is also related to the force of gravity. The practice has shown that the upward force of gas, the difference between the weight of 1 m³ of air and the gas under consideration, is related to a total upward force, which is the difference between the weight of the air displaced by the gas and the weight of the gas. If it is assumed that the volume of the gas is constant and that the lift force varies according to the air density and the inclusion of variables such as temperature and pressure, data related to its possible altitude and hygrometric state can be obtained.

It is worth mentioning that, a hygrometric state refers to the ratio of the actual amount of water vapor contained in the air to that which it would have if it were saturated, the temperature being identical in both cases.

A 1000 m³ balloon filled with industrial hydrogen -lift force of 1100 kg-, has a total lift force of 1100 kg, and if it were to pass with all its components, passengers, and ballast of 1080 kg, the lift force would be 20 kg. As long as there is a total lift force greater than the weight, the aerostat would rise to the equilibrium altitude, where the total lift force equals the weight of the solid components. The gas is contained and subject to a differential pressure of the gases. The apparent differential pressure is proportional to the gas lift force.

Zeppelin and the advance of aerostats

The history of aeronautics goes back to a time of which the most distant vestige is an engraved record on *Atlantean* pottery in Central America, with important events such as the first public ascension of a hot air balloon on June 5, 1783 (Duhem, 1943). Most of the means of flight imagined by the precursors endured or coexisted for centuries and it often happened that several of them were associated with a single project and in a single machine.

If one follows a deeper historical process of the development of aerostats to zeppelins, according to Tissander (1890), Blakemore and Watters-Pagon (1927), and Burgess (1927), the following background can be found:

- A series of models and projects that were initially presented by Meusnier (1783), followed by other prototypes such as those of Giffard (1852), using steam engines.
- The Tissander brothers and Renard (1884) with the use of an electric motor.
- Santos-Dumont (1901), who obtained it by using the application of the gasoline explosion engine at a speed of 1 m/sec together with the possibility of maneuvering on the airship.
- A. Severo in 1902, who died in the explosion of PAX, the first semi-rigid airship, while Major *Cipriano Jardim* in Portugal, presented a report on his airship to the *Academia das Ciencias* in 1885, a model that managed to fly.
- Airships also played a vital role in the successes and failures of polar explorations such as those of Amundsen (1926) and Nobile (1928).



But undoubtedly one of the most important breakthroughs is due to Count Ferdinand Count von Zeppelin; he was born on July 8, 1830, in Constance (Prussia) and died on March 8, 1917, in Berlin. He studied Mechanical engineering, Chemistry, and Politics at the Stuttgart Polytechnic, the War College in Ludwigsburg, and the University of Tübingen. Having joined the Württemberg Army, he became a cavalry officer in 1858, subsequently undertaking military studies in Austria, Italy, France, Belgium, and England (Kirshner, 1957).

Ferdinand von Zeppelin's ancestors were distinguished by very different characteristics. On his mother's side, he descended from The *Macaires* who were Huguenot refugees who were found there, after the violent expulsion, settling mainly in Geneva-Switzerland. Among them, we find some representatives who had an exceptionally fine sense for progress, who possessed above-average manual skills, who learned to think economically at an early age, who possessed excellent organizational gifts, and who often possessed a conspicuous artistic streak. Many of them were sensitive and very close to nature (Bélafi, 1990).

During the American Civil War, von Zeppelin served as a military observer with the union troops and there he saw how balloons were used for reconnaissance purposes. About his participation, it is stated that although, Zeppelin did not express himself about airship travel before. His experience in America served him as a connection for the later development of airships (Bélafi, 1990, p. 64).

Zeppelin served in the Austro-Prussian wars in 1866, in the Franco-Prussian war in 1870-71, and at home. In 1887 he became commander and in 1890 brigadier commander in Saarbürg. He was also at that time in command of a dragoon regiment in Ulm and "understood the far-sighted concerns about the importance of generating ways to improve information and the use of devices for warfare: the problem of the airship must have preoccupied him long before even the year 1874" (Bélafi, 1990, p. 65). After his retirement, together with Theodor Kober (1865-1930), he concentrated on the construction of an airship, which he accomplished around 1873.

In the years 1892-1893 he designed a rigid airship, which was rejected by a military commission that saw no specific military application for it. In 1892, the Count began detailed work on the design of his airship. Working for him in his Stuttgart office was engineer Theodor Gross (who had come from Daimler), but he soon left again. With Kober (formerly of *Ballonfabrik Riedinger*), he got a capable employee. In two years of construction work, his project took shape - a task for which there was hardly any technical foundation. In 1895 the count sent another project to Chief of Staff Karl von Einem (1853-1934), which was also rejected. As early as July 1894, a commission issued a verdict, based on the opinions of a certain Captain Michaelis and the Berlin professor Heinrich Müller-Breslau (1851-1925), who condemned the design for lack of strength and then for insufficient speed. Count Zeppelin reacted stubbornly and despite a new meeting of the commission and an immediate response from His Imperial Majesty, little changed (Anmerkungen, 2005).



In 1898, he founded the 'Society for the Promotion of Airship Navigation' with a capital of 800,000 marks, to which he contributed more than half of the funds. In cooperation with Kober and Ludwig Dürr (1878-1956), he built the first rigid Airship LZ1 (z for Zeppelin), which was launched in 1900 on July 2. Later the LZ4, which had been destroyed by an explosion and appealing for donations in 1908, got the foundation of the 'Zeppelin Airship Navigation Company' in Friedrichshafen. Between 1910 and 1914 many flights were carried out over Germany, including the civil Airship service called *Schwaben* with an average speed of 76 km/h and with a payload of 6.5 tons.

Zeppelin built other airships and large aircraft in Staaken (now part of Berlin), mainly for the army. His closest co-worker was later Hugo-Eckener from 1905. In turn, the airships were used in World War I and to undertake trips across the Atlantic and the world. In August 1929, the Graf-Zeppelin made its first round-the-world trip. After its commercial exploration, its construction declined and the Hindenburg disaster in May 1937, after 63 flights, put an end to production.

The Hindenburg catastrophe is studied as a case study of tissue flammability by Dilisi (2017). The objective was to examine the outer skin of the ship and decide whether or not it was the fuel source that caused the catastrophe. To do this, they performed a basic vertical flame test with students from an introductory-level university laboratory. The test was based on the protocol established by the American Society for Testing and Materials (ASTM) for determining the flammability of textiles. The 80th anniversary of the Hindenburg disaster presents a compelling case study that provides great opportunities for teaching the physics of flammability, as only careful measurements of time, distance, and weight are needed.

However, these new aerostats failed and could not have had a better impact. In 1909, 119 airships were built and named in his honor Zeppelins. During World War I they were used to bomb Brussels, Paris, London, and Bucharest. Below, are the airships manufactured as of 1913:

Table 1

Number of airships in different countries in 1913

| Countries | Civil | Military | Total |
|-----------|-------|----------|-------|
| Germany | 15 | 9 | 24 |
| France | 14 | 3 | 17 |
| Russia | 14 | - | 14 |
| Italy | 10 | 1 | 11 |
| England | 5 | 2 | 7 |
| Austria | 3 | 1 | 4 |

Source: Karataev et al. (2018, p. 1163).



“This development was countered by lightweight zeppelins, called height climbers, which were able to reach altitudes of 20,000 feet. The height climbers represented special perils for their crews, however, because parachutes were banned as excess weight” (Irons-Georges, 2002, p. 796).

Social Impact of Zeppelins

In historical discourse, the word ingenuity has been associated almost exclusively with the concept of *'weapon'* and has been related to military science since ancient times. For example, in Herodotus as in Thucydides, the referents vary from more generic meanings such as means of warfare to more specific objects related to artillery elements. This quasi-absolute association of mechanics with the universe of war is not justified by a codification of historical discourse. Rather, its reason is based on an economic-military matrix that was imposed even from the 5th century B. C. In this context, the most important phase of a warlike confrontation was the encirclement of fortified cities, since the existence of means to penetrate spaces of this type was nonexistent and armies maintained indefinitely the same positions on the ground without significant advances without being able to advance, due to the resources involved in their maintenance (Aristotle, 1936; Garlan, 1974).

Technology has a great influence on strategy, since what can be done technically determines the options open to the strategist. Early aviation theorists may have dreamed of defeating an enemy using air power alone. Speculation that bombing would destroy the morale of the enemy civilian population had captured the popular imagination and, in 1908, H. G Wells published his book *War in the Air*. In this book, he imagined fleets of dirigibles and free planes to roam and bomb and described a German Zeppelin raid over New York, which brought the United States to the brink of collapse. The description of aircraft and weapons technology in the period from 1914 to 1918 clearly shows that such ideas were, at that time if not outlandish, at least had an impact on the imagination that could be summarized in two aspects: fear and progress (Grattan, 2009, p. 61).

The sociology of expectations had a broad impact on the imaginary and possibilities of zeppelins in Germany and their possibilities in the military field. Zeppelins contribute as an imaginary phenomenon to the motivation for a positive expectation for change to improve people's conditions. One of these aspects was sought by the zeppelins not only at the military level but also for civilian use. Kühne (2012) states that the use of zeppelins served as a tool to strengthen a historical discourse, about the union of *Germaneness* and progress.

For example, as Kay (2014) states, the girls studied war maps, daily troop positions, and the latest battleships and submarines. They were also encouraged to write essays and diaries about the war experience. Is it surprising, then, that the girls expressed an intense desire for revenge against the enemy? As one thirteen-year-old writer put it: “Everyone hopes that a Zeppelin will fly over



England as soon as possible because the hatred for our cousins across the Channel is at its worst. When our brave troops kill them, the shouts of victory are doubly noisy” (p. 9).

What actions triggered these conceptions and for what reason? These and others are questions that could be answered in more detail by integrating the scientific literature on futures and expectations into research on this topic. Regarding the use of zeppelins for civil transport, the following account by Hiam (2014) expresses these expectations:

Margaret G. Mather, an American who was in Europe and wanted to return home, thinking of buying a ticket to New York. Although an experienced air traveler, she remembered her **strange reluctance** to make the purchase but then considered the alternative, which was to cross the Atlantic on increasingly luxurious steamers, whose sumptuous comfort and entertainment meant little to a sea-sick wretch. (p. 1)

As Higham et al. (2014, as cited by Faulkner, 2012) point out, the emergence of aviation divided the world into rich and poor. Few nations could maintain significant civil and military aviation institutions. Aviation played a key role in Hitler’s foreign policy, aided by skillful disinformation campaigns that increased the French perception of their technological and numerical inferiority. Such was Zeppelin’s success and recognition that one of the *Kriegsmarine’s* most important aircraft carriers, the Graf Zeppelin, attracted considerable interest over the decades. “Such recognition of its importance in the development of military technology is expressed in this aspect, even taking into account its already limited range” (p. 492).

Methodological approach

Concerning the methodological approach, it is expected that this research will be carried out based on a qualitative paradigm with a historical and explanatory type of research, taking into account that the research intends to be supported by the interpretation of key documents of the development of the subject that allows sustaining as a fundamental idea, the ignorance of the scientific and inventor activities of Carlos Alban and Lourenço de Gusmão (1685-1724) who, from the work, got a partial recognition of their contributions, especially on the field of aeronautics; and on the other hand, to analyze how the political decisions directly affect the scientific development of our country, in a specific context. In terms of Colombian patents, the performance is not the most adequate either, as will be seen below.

Through the analysis of patents (between 1968 and September 2007), it will be possible to assess patenting activity, either by Colombian inventors or by Colombian organizations, as recorded in the database of the Colombian Patent Office and Trademark Office, Colombian organizations, as registered in the database of the United States Patent and Trademark Office (USPTO), in the European Patent Database (ESPACENET), and the Intellectual Property Office (WIPO). “In the United States 59 percent, in Europe 16 percent, and internationally 26 percent” (Sánchez et al., 2007, pp. 254-255).



The archives sources were: archive National Library of Portugal Lisbon; archive Municipal Library of Evora; archive Library Coimbra University; archive Library Porto University. About Francisco José Carlos Albán Estupiñán. Fund General Carlos Albán, Universidad del Cauca.

Table 2
References about Carlos Alban and his aerostat - Fund Carlos Alban Universidad del Cauca

| | | | | | |
|--|---|--|---|--|--|
| Charles Claudel. A handwritten letter in French sent by the student of pharmacy Charles Claudel in which he communicates to Mr. Carlos Alban that he has known by an article published in a French newspaper that Mr. Alban is a balloon manufacturer for which Mr. Claudel offers his help in France since he has worked in the office of aerostats could be useful to him. The document also has a horizontal manuscript in one of its folios of very difficult reading. | Francisco José Carlos. Letter sent by Carlos Alban to Gen. Rafael Reyes in which he congratulates him for having recently arrived at the ministry of development, and tells him about the matter of the metallic balloons that have already been dealt with. He comments that in the newspaper 'Anunciador' of New York last December 12 has been published the news that the scientific engineer Mr. Bossuet has gone there to give a lecture on the construction of such balloons. Alban says that he has already written to the newspaper rectifying that judgment and sending papers dealing with his invention. He asks Reyes to help him with a question that more than personal, is ofpatriotic honor. | Letter sent by Carlos R Delgado in which he thanks him for sending Cerrito's notebook, that it is evident that this rascal has obtained a favorable ruling from Spain, but that this does not suppose that the terms are very burdensome for Colombia. He also thanks him for sending the Italian newspapers relative to the jubilee of Leon XIII for all this he sees that he has not forgotten his overseas friend and for this reason, he is encouraged to importune with his question of the metallic balloons. He encloses a paragraph clipped from the newspaper | Document in which Carlos Alban, before Vicente Mosque, notary public of the circuit of Popayan confers and grants special broad and sufficient power to Mr. Don Felipe del Castillo, a native of the State of Cauca and resident in Paris, so that in the form in which it is necessary and representing, with the legal obligations the person and rights of the grantor request and obtain from the French government and any other government of Europe, privilege of property or those that there are used to grant to exploit some new | The package contains documents related to the invention of hot air balloons made of metals by Carlos Alban. There is a copy of an engraving of the airship in which some conventions can be read. Also found are 3 copies of a memoir on the use of metal envelopes for hot air balloons, the document contains an explanation made by Carlos Alban on how a structure made from metal plates can be made to fly; "knowing that one cubic meter of air at 0° weighs 1.3 K, the 125 cubic meters of hydrogen can lift a weight of 125 x 1.3 K = 162.5 K of which, subtracting 150 kilograms of envelope weight, leaves twelve and a | Letter sent by Carlos Alban to Pedro del Castillo who is in Paris. In it, Carlos Alban talks about the matter of the discovered balloons, of which he has already spoken in other letters, and warns that these ideas can be very useful to the progress and reputation of our country. In the document, Carlos Alban tells Pedro del Castillo that Mr. Diego Caicedo travels to Paris and with him sends him a power of attorney to do him the favor of applying for the privilege, both in France and in other nearby nations. Alban adds that the balloons with metallic covers and |
|--|---|--|---|--|--|



| | | | | | |
|--|---|--|---|--|---|
| <p>cleaner; in a thin-walled tube and it will not break either. The pressure is balanced in all directions and at all points". He further adds that the idea of metallic balloons has belonged to him since 1883 and that he has just obtained a patent which he encloses and begs to publish. Folio: 1. Provenance: Popayan. Date: January 1, 1889. Remarks: Original manuscript in French.</p> | <p>Alban says that it seems to him pitiful in that office they have not given him a course to the request that he made on the privilege of these balloons, which was published in the official newspaper N° 6958 of February 18, 1887, and it has not been published again. He asks him to do what is necessary to obtain the privilege and to carry it as a matter of his own. In another matter, he tells him that until when the government will see with indifference the matters with Ecuador, which are not good to neglect for what he recommends naming a general consul in Quito, for which he recommends Mr. José Ignacio Delgado. Finally, he speaks to him about the exportation of the conspirators and that it is suspended by the lifting of the banishment. Folio: 2. Provenance: Popayan. Date: February 29, 1888. Remarks: Original manuscript.</p> | <p>the New York Advertiser of December 12 last in which he says that the Yankees will shape the invention as his own, which is a lie, and adds that he has not been able to get the patent even in Colombia. Alban has already written to the newspaper claiming his rights but begs him not to forget the question of the privilege there. Alban encloses for the privilege published in the official newspaper and an article from the Noveau Monde in which the matter is discussed. He reminds him that as long as he does not have the privilege granted in Europe, he will have many problems and asks him not to forget the matter. Finally, he speaks to him of the political questions that continue has raised</p> | <p>applications and scientific grantor. Especially first: the privilege to manufacture and sell hot-air balloons with a metallic cover whose envelope is formed, not of cloth, as is used today, but of thin sheets of steel, copper, or other suitable metal, and second: the privilege to manufacture and sell an optical instrument which he has called a polymeeter, because it will serve to measure heights, densities, and distances, having as its basis an elastic lens formed by a liquid enclosed between two transparent and dilatible partitions. The grantor declares that he approves and considers well done what Mr. Castillo does in use of this power of attorney,</p> | <p>half kilograms of lift force for a the lower price, its great resistance, safety against fire, facility to take various forms and greater means of direction in the air. Finally, there is a power of attorney granted before the notary public, Vicente Mosqueby Carlos Alban using which he confers the special broad and sufficient power to Don Pedro Felipe del Castillo, resident in Paris, to represent him in requesting and obtaining from the French government and any other European government the privilege of ownership or what it is customary to grant for the exploitation of some new industrial applications and scientific discoveries of Carlos Alban: first a privilege to manufacture and sell hot air balloons of metallic cover whose envelope. And second to</p> | <p>not of cloth are a fact and can be a good business, finally, he speaks to him about a polymeeter that he lacks to build his apparatus and that Mr. Caicedo must obtain in France. Folio: 2. Provenance: Popayan. Date: June 25, 1884. Observations: Original manuscript.</p> |
|--|---|--|---|--|---|



by the perhaps inopportune beneficence of General Payan, which has begun to agitate with violence, but with the return of Mr. Núñez, calm has returned. Folio: 2. Provenance: Popayan. Date: March 4, 1888. Provenance: Original manuscript. Remarks: Original manuscript.

authorizing him to substitute it for Mr. José María Torres Caicedo or any other person of his confidence. The registration fee was paid, etc. Page: 3. Provenance: Popayan. Date: August 14, 1888-August 28, 1888. Remarks: Original manuscript.

and advantages of a metallic envelope for balloons are: its sell an optical instrument called a 'polymeter' that will serve to measure the height, densities, and distances, having as its basis an elastic formed by a liquid enclosed between two transparent and dilatable partitions. Folio: 5. Provenance: Popayan. Date: October 1884 - August 11, 1883. Remarks: Original manuscript.

Source: Own construction based on the Archive of Universidad del Cauca, Fund Carlos Alban.

Testimonies of the demonstrations and claims of the priority of the invention of the hot air balloon by the father of Gusmão can be found at:



Table 3
Sources of possible observations of the apparatus of Bartolomeu Lourenço de Gusmão

| | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|--|---|---|--|---|---|---|--|--|
| Salvador Antonio Ferreira, Portuguese Chronicler of the XVIII century (Código Ms. da Biblioteca Municipal Porto, No. 15 from the collection of the Conde Azevedo). | Francisco Leitão Ferreira, member of the Royal Academy of Portugal, in the text of <i>Ephemeride historial, chronologica luzitana, na qual por dias e annos se referem varios successos historicos, e memoraveis acontecidos em Portugal, e nas suas conquistas com outras memorias notaveis a este gloriozo dominio pertencentes.</i> - [S.l.]: [s.n.], [16-]-]. - 2 vol.; 12° (22 cm). Enc. em pergaminho com atilhos. Rivara, tomo III, p. 82° vol.: [419] f. (Ms. From the Biblioteca Municipal de Évora. | Cardenal Conti (Nuncio in Lisbon from 1694 to 1710, elected Pope in 1721, under the name of Innocent XIII.). Letter to the Cardinal Secretary of State (Foglietta di avvisi, t. 67 da <i>Nunziatura di Portogallo, dos Arquivos do Vaticano</i>). | José Soares da Silva, member of the Royal Academy of Portugal, Gazeta em Forma de Diario (ms. From the <i>Biblioteca Nacional de Lisboa</i>) | Anónimo-Do. <i>From Códice 537, Biblioteca de Coimbra, the author being a detractor of Gusmão.</i> | Marquês de Fontes, Ambassador of Portugal to the Vatican. <i>Relato acerca do Memorial da Passarola, de 1709, which is included in the work of Pier Jacopo Martello. Versi e Prosa, 1720, pp. 375-377 del Vol. V.</i> | F. Freire De Carvalho. <i>Memoria que tem por objecto revindicar para a Portuguesia a Gloria da Invenção das Machinas aerostaticas.</i> Lisboa, 1843. | A. Filipe Simões. <i>A invenção dos Aerostatos Revindicada, Evora, 1868.</i> | Gustavo T. Correia Neves. <i>As experiencias de Bartholomeu Lourenço de Gusmão.</i> Lisboa, 1911. | Jaime Cortesão, <i>Alexandre de Gusmão e o Tratado de Madrid (1750), 1ª parte, t. I, 1950-1952.</i> | Abrangem tres sermoes, breves memórias científicas, relativas aos aparelhos que inventou, e dissertacoes, que podem ver-se na integra em <i>Obras divers de B. L. G. (with critical study of A. de Tauney)</i> . SP., sid (1934). | Barbosa Machado, 455-456; Inocencio I, 332-334, VIII, 362-363. | Faria, Visconde. <i>Reproduction fac-similé d'un dessin à la plume de sa description et de la pétition adressée au Jean v. (de Portugal) en langue latine et en écriture contemporaine (1709) retrouvés récemment dans les archives du Vatican.</i> - [s.l.]: s.n., 1917 (Lausanne: impr. réunies s. a., - 17 p.: ll.; 29 cm). |
|--|---|--|---|--|---|---|--|---|---|---|--|--|

Source: Own construction on based archive National Library of Portugal Lisbon; archive Municipal Library of Evora; archive Library Coimbra University; archive Library Porto University.



Bartolomeu Lourenço de Gusmão, o 'voador'

Bartolomeu Lourenço de Gusmão o 'voador': inventor of the hot air aerostat was born in Santos, Brazil, baptized on December 19, 1685, and died in Toledo, Spain on November 19, 1724. He was educated in the seminary of Belem (Baía), where the Jesuit Alexandre de Gusmão was *rector*, from whom he took his surname (in the same way as his brother, who later became a diplomat). According to Serrão (2011)

Son of Francisco Lourenço and D. María Álvarez, he was born in Santos (Brazil), probably at the end of 1685, and was baptized on December 19, 1685. He studied at the seminary of Belém (Baía) of the Society of Jesus under the guidance of Father Alexandre de Gusmão, whose surname, as it turned out, he had adopted. (p. 184)

He became a novice in the Society of Jesus, which he left in 1701, and traveled to Portugal where he became known for his ingenuity and prodigious memory. Returning to Brazil, "he invented a process to «*make the water rise to any desired height*», which was put into practice in the seminary of Belém before 1706" (Serrão, 2011, p. 184). He was ordained a priest and is then listed as enrolled in the Faculty of Cânones of Coimbra on December 1708. However, he interrupted his studies, probably because of the «Passarola». "In early 1709, he presented to D. João V a claim of privilege for your «*máquina de andar pelo ar*»" (Serrão, 2011, p. 184). The official experiments were held between August 5 and 8, 1709, at the House of India, with the presidency of the sovereigns, two infants, and the *Nuncio Conti* (later Pope Innocent XIII). With respect to the tests:

- i. The first test failed when the device burned out before it moved. On August 5, 1709, in the *Sala de Paso*, and the presence of D. João V, he tried to raise a paper balloon that had on it an opening with a small boat with an igneous focus, but the balloon burned.
- ii. The second was successful with a rise of the balloon to about 4.5 meters which ended the intervention of the servants wary of the possible spread of a fire.
- iii. The third was successfully held outdoors (October 1709), in the courtyard adjacent to the same facilities. However, the ball ended up catching fire when it crashed into a *cimacio*. It probably occurred at the India House on October 3; the device was launched from the bridge of the house.

Regarding the balloon: "Tratar-seria de modelos de aerostáto com a configuração de uma calote esférica ou em concha alongada, constituída por material leve -papel armado- sobreposto a um recipiente com combustível a arder" (OLX, Portugal, s.d., p. 1400).

The king certainly granted the requested privilege on April 19, 1709. At this same moment, Gusmão redirected the «Manifesto sumário para os que ignoram poder-se navegar pelo elemento do Ar», trying to show with many arguments the possibility of this aeronautical development. The father counted



on Marquês de Fontes for the development of his machine. The development of the machine became known and the father created an expectation around it with engravings and drawings of his flying machine. Today it is already known that these engravings are a mystification of the apparatus to divert the attention of the curious. The known sources do not give a clear idea of what the airship would look like; simply a hot air balloon, judging by the experiments carried out shortly after. Gusmão: «*pos por obra nao logo principal invento, mas uma amostra*» (as quoted in Serrão, 2011, p. 184).

The lack of enthusiasm of the public caused a lack of follow-up to these experiences. An atmosphere of discredit was generated, which, however, was not enough to prevent the unleashing of a mythologizing image of the machine that was originally composed for camouflage purposes, which became known as the «Passarola».

The priest continued to enjoy the confidence of the court, presenting in fact, in 1810, another invention designed to prevent the escape of water from ships. He was also in northern Europe from 1713 to 1716, the year he re-enrolled in the Faculty of Cânones of Coimbra, doctorate on June 16, 1720. Presented to the court, he was sent to Rome to negotiate and was appointed academician of the *Academia Real da História* on December 22, 1720, an institution that was recently founded.

The young Brazilian priest had invented an aerostat in a rudimentary form. In the second half of the 18th century, the idea spread - later accepted by several authors - that Father Gusmão himself would manage to make an ascent in the machine he built for this purpose. This is a legend since the sources of his time seem to support the fact that the experiences have not been fully demonstrated continuously and that some of them, in part, have been considered a failure are key facts for the assessment of his work.

However, he was not disinterested in technical and scientific matters and in 1710 he published a booklet on «*varios modos de esgotar sim gente as naus que fazem aguas*». In 1713, he left for Holland with the hope of realizing some projects, clinging to his dream of flying. He returned to Portugal in 1716 and continued with his studies, which he finished in 1720 with the degrees of bachelor, *licenciado* and doctor, enjoying great prestige as a preacher and man of letters in front of the *Academia Real de Historia de Portugal*. He was then nominated academic and D. João V, continued giving other possibilities in his court, as proof of his esteem, “colocou-o na Secretaria de Estado, fé-lo Fidalgo-capelão da casa real e concedou-lhe importantes rendimientos no Brasil” (Serrão, 2011, p. 185).

Commissioned by the Academy to write in Portuguese a history of the *ovispado* of Porto, he carried out research showing a critical spirit. However, technical inventions continued to attract his attention and he focused on making charcoal from clay and bushes in 1724 he obtained from the king a privilege related to “*máquina ou modo de moer*” (Serrão, 2011, p. 185), which was intended



to increase the performance of hydraulic mills and sugar mills. He had never been so favored by the monarch to the point that it was said that: “*tinha em palácio porta franca e mesa pronto*” (p. 185) (he had a free door in the palace and a table ready).

On September 26, 1724, he fled quickly from Lisbon to Spain in the company of his brother Fr. João Álvarez de Santa Maria. He became ill during the trip and died in the Hospital de la Misericordia in Toledo, on November 18 or 19, 1724.

His flight is apparently due to fear of the Inquisition since his name appears shortly before involved in a complicated story of witchcraft. After this, it is known by the testimony of his brother that Gusmão will adhere to Judaism since 1722. In 1724, after leaving Lisbon, it seems that he revealed ideas of a megalomaniac and attributed frightening ideas to his flying machine. During his escape, he seems to have gone through a religious crisis amid delusions provoked by his illness.

Francisco José Carlos Albán Estupiñán ‘El Loco’

According to Piñeros (1936), one of the first demonstrations of balloon ascension in our country took place in Colombia, thanks to José María Flórez (1820-1848), on June 12, 1893. The city: Popayan (Cauca). About seven o'clock in the morning the aeronaut appeared on the patio of the Local Seminary, where there was already a multitude waiting and where the religious body and the civil population stood out and crowded around the apparatus that was anchored to a trapeze of the plank. After a blessing, the Argentinian entered the basket and then the balloon slowly detached until it reached a height of 400 meters where it stopped. Observers followed the event and during the test saw how the navigator threw ballast without restraint and made enormous efforts to reach a higher elevation. The balloon had been broken by the wind and had diverted the fuel towards one of the fabric walls which produced a fire that finally could not be drowned. “The descent was therefore complex and the flames almost destroyed the ropes holding the upper part of the basket” (p. 11).

This story, which in space coincides with the region in which the Colombian inventor developed his work, highlights the search for steerable devices in the air and also existing experiences in the development of hot air balloons in our context. Nevertheless, it is the work of Francisco José Carlos Alban Estupiñán that will have a major influence, although unknown in the development of the same. References to him have had a greater emphasis on his history as a politician. Son of Rafael Alban and Mercedes Estupiñán, he studied at the seminary in the city of Popayan (Cauca) and later at the Universidad del Cauca, where he obtained two degrees in 1869 and 1871: the first as a doctor and the second as Doctor in Law and Political Sciences, when he presented a thesis on the Constitution of 1863, which he pointed out was excessively liberal (Velásquez-Rivera, 2002; Valencia, 2022).



Although, at first he seems to have participated in the battle of Santa Barbara in 1865, in which he served the defense of the liberal government against the conservatives, soon after he showed his sympathy for conservative ideas and founded a newspaper called *Los Principios*, which advocated the defense of conservative ideas against an excessive dominance of liberal ideas in the Constitution of Rionegro, accusing it of allowing an exacerbation in acts against life by the liberal *gamonales* to the detriment of the conservatives, a party that in practice had disappeared and which he was in charge of promoting (Velásquez-Rivera, 2002; Valencia, 2022).

The newspaper had to be closed in 1871, but later another one called *Principios Políticos-religiosos* was founded, with the help of characters associated with the possession of large portions of land in Cauca, such as Sergio Arboleda (1822-1888). Together with this and other leaders, the conservative party was reorganized, which generated a reaction in the liberal party that again forced the closure of the newspaper (Velásquez-Rivera, 2002; Valencia, 2022).

However, Alban's perspective, from the political point of view, was going to be very influenced by Catholicism and a manifest desire for the creation of a *Catholic party*, for which he had the support of the bishops of Popayan and Pasto, a task on which he focused in the years of 1875 and 1876, taking advantage of the internal struggle between radical liberals and independentists and which later served to launch the conservative party in 1876 into a war that it would eventually lose. This war, despite its misfortune, allowed an exaltation of the Catholic influence in the partisan ideology that would be taken advantage of in an alliance against the liberal party in 1885 that would end with the so-called period of *Regeneration and Conservative Hegemony*.

Since 1886, he served as Magistrate of the Tribunal del Centro, Attorney General of the State, joining the conservative party in one of its groups called the historical ones that opposed governments such as Miguel Antonio Caro (1845-1909) and Carlos Holguín Mallarino (1832-1894), which led Alban to be confined in the Cauca region through the Law of Horses in 1891. These traces of his political life are intertwined with his scientific gifts and hobbies, which he developed through several devices he designed and patented, such as a universal clock, a pneumobarometric pump, and an adjustable clock, the latter patented in Hamburg, which may give us an indication of its possible relationship with Zeppelin (Velásquez-Rivera, 2002). It should be noted that, for the development of the latter, he would likely have known the work of Fleming Sandford (1827-1915), published in French *Temps terrestre - Mémoires*, which is located in the Carlos Alban Fund.

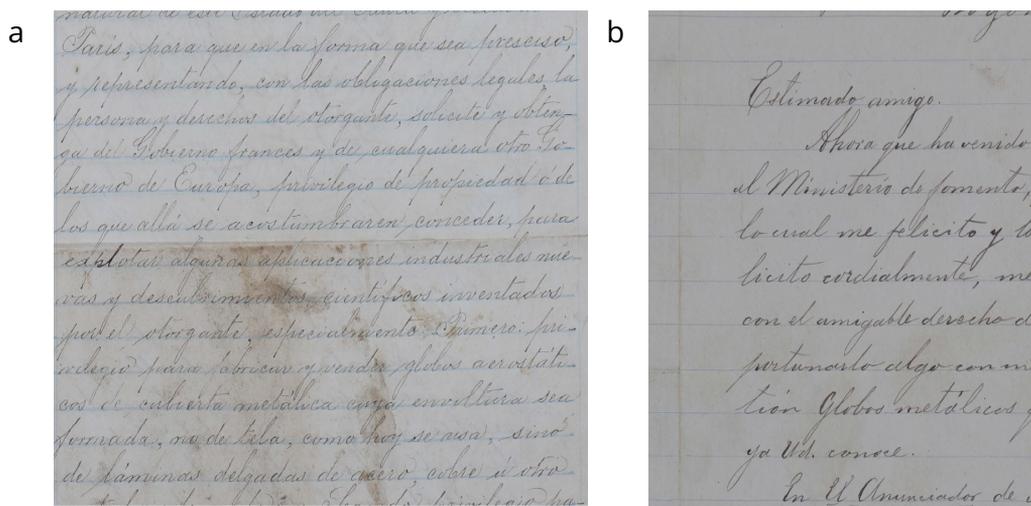
Figure 2 allows us to observe a document that Carlos Albán presents to Vicente Mezquita, notary of the Popayán circuit, who confers and grants broad and sufficient special power to Mr. Felipe del Castillo, a native of the State of Cauca and resident in Paris, so that in the manner in which it is necessary, given the legal obligations of the person and rights of the grantor, request and obtains from the French government and from any other government



in Europe, property privileges or those that are customarily granted there, to exploit some new applications and scientific discoveries invented by the grantor. Especially first: the privilege to manufacture and sell hot-air balloons with a metallic cover whose envelope is formed, not of cloth, as is used today, but of thin sheets of steel, copper, or other suitable metal (August 11, 1883).

Figure 2

a) *Francisco José Carlos Alban Estupiñán document to Mr. Don Felipe del Castillo – August 11, 1883*; b) *Letter sent by Carlos Alban to General Rafael Reyes*



Source: Fund Carlos Alban, Universidad del Cauca.

But the main object that draws attention is the development of the aerostat described in his memoirs on the use of metal envelopes for hot air balloons, on which the following evidence is found. In this second point, in the development of the memoirs carried out in 1884 in October in principle states that from one m^3 a malleable metal such as iron or aluminum, can generate a metal surface of one (1) m^2 , then you can build a cube of five (5) m^2 , with a total area of 25 m^2 , with a weight of 150 kg and a volume of 125 m^3 . If it is known that one (1) m^3 of air at a temperature of 0 degrees Celsius weighs 1.2 kg, then 125 m^3 of hydrogen can lift $125 \cdot 1.3 \text{ kg} = 162.5 \text{ kg}$, and subtracting from the 150 kg of the cover can have a free load of 12.5 kg.

Below, a letter sent by Carlos Alban to General Rafael Reyes in which he congratulates him for having recently arrived at the Ministry of Development, and tells him about the matter of the metallic balloons that have already been dealt with (February 29th, 1888, figure 2b). A son of the General, Daniel Bonilla Alban, a retired teacher who resided in Cali, claims that his aunt Agustina (Alban's sister), knew about the relationship between his father and von Zeppelin and that Alban had shown her the letters he received from the Prussian inventor in Popayan.



She also affirms that the design of the airship was started in Popayan and finished in Hamburg when Alban was the Colombian consul in that city. It is also supposed a friendship between both inventors that would even lead to a partnership to make the airship, which would imply a contribution in money by von Zeppelin and design by Alban. Bonilla Alban states:

When Father returned from Colombia to intervene in the Thousand Days War, he left the designs for the airship in the hands of the Count. After he died in the ship 'El Lautaro', in a naval combat fought in Panama, my aunt Agustina received a letter in which Zeppelin announced that the invention had been a happy reality.

On the other hand, the grandson of General Alban, Jesus Bonilla Cabrera, who was a representative to the House of Representatives for Valle del Cauca, corroborates the information. Alegre Levy affirms that the crossed correspondence between von Zeppelin and Alban would be found in the hands of Eladio Valdenebro, husband of Elisa Alban, another daughter of the General, who was in Popayan.

The patent was recovered by an employee of the Ministry of Development and Industry, Abel Mazuera. Invention Patent #588. Concerning the development of patents, it is important to note that the development of patents worldwide began in the year 1474, being the first modern patent system; secondly, the British experience with patents that led to the Statute of Monopolies of 1624; and finally, the adoption by the Founders of the United States of Article I, Section 8, Clause 8 of the Constitution, together with the approval by the First Congress of the Patent Act of 1790. (See Nard and Morris, 2006, p. 225). The patent was registered as follows:

Invention Patent No. 588

Carlos Holguin,

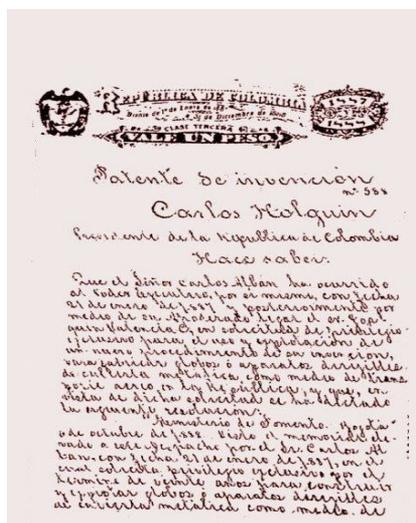
President of the Republic of Colombia hereby informs that Mr. Carlos Alban has applied to the executive power by himself, dated January 21, 1887, and subsequently through his legal representative, Mr. Joaquin Valencia C., for the exclusive privilege for the invention and exploitation of a new process of his invention to manufacture balloons or dirigible devices with metallic envelopes as a means of transportation...in the Republic and that by said application the following resolution has been issued: *"Ministry of Development. Bogota, October 6, 1888. Given the memorial presented to this office by Mr. Carlos Alban, dated January 21, 1887, in which he requests an exclusive privilege for..."*²

Below is a copy of the first page of the patent:

Figure 3 ...even had much longer terms than those established; for example, for the United States, where in 1790 the first U.S. Patent Act established a term of no more than 14 years, with a seven-year extension for the U.S. Patent Act of 1836 and changing to 17 years for the year 1861. (See Lester and Zhu, 2019, p. 786).



Facsimile of the invention patent granted to General Francisco José Carlos Alban Estupiñán for his invention of the dirigible in 1888. Fund Carlos Alban, Universidad del Cauca



One of the fundamental elements that would allow to establishment of a relationship between Zeppelin, would be given by the knowledge of the supposed letters that would give an account of this closeness, from the inquiry with the descendants of the Alban family. Even though an oral memory persists in which this possible relationship is established and there are contexts of way and place that indicate it, it is important to continue in the investigation of these elements in the family archives, both of Alban and Zeppelin, if in their archives there should be any reference or correspondence with the Colombian inventor.

Conclusions and Limitations

In the case of Alban, several of his scientific interests were focused on aspects of physics, chemistry, and the development of aeronautics. For example, he attempted the manufacture of lead chambers to obtain sulfuric acid, as well as studies on the classification of metals, and the reflection of light, which allowed him to invent a trifocal light mirror, as well as the importance of lighting from acetylene gas and the importance of the power generated by the Cauca River and its use. Many of his inventions were even patented inside and outside the country (Velásquez-Rivera, 2002; Valencia, 2022).

But one of the most important advances was generated precisely in the development of a system of metal-encased hot air balloons, which can be considered a significant advance and antecedent to the development of hot air balloons later developed by Ferdinand von Zeppelin in Europe. On the other hand, the Portuguese-Brazilian inventor developed advances in subjects such as a hydraulic pump and especially aerostatic balloons of which he made a set of



tests. Unfortunately, all these experiences, although assisted by distinguished personalities of the Portuguese society of the time, were not enough for the popularization of the invention. The exaggerated capacities of the flying machine, the fire of three of the tested prototypes, the small dimensions given to the airplanes of the tested prototypes, the reduced dimensions given to the aerostats, and the little control of the same caused disappointment and bad public impression, making evident the precarious of the invention. These factors discouraged the construction of large and manned models.

The meeting points between the Colombian inventor and the Brazilian/Portuguese inventor is based on scientific knowledge according to the time in which they developed their devices, especially about the behavior of hot gases. On the one hand, there has persisted a perspective that has mythologized the apparatus created by Bartolomeu, however, the greater presence of literature and references about his work, shows its importance as a considerable antecedent to the development of aerostatic apparatus. Proof of this is the fundamental difference that exists in the expression and pictorial production of Gusmão's apparatus, compared to its real appearance, as expressed by Fiolhais (2002), who differentiates between the *real machine* and the *mythical machine*.

In the case of the Colombian inventor, there is a generalized ignorance of his scientific works. On the other hand, it is important to recognize the knowledge he had of measurable aspects as seen in his *memoirs* based on sustained and experimentally proven physical knowledge. There is a trend if you will much more realistic, of his work, but much less disseminated because of its little or unknown influence in other contexts. The perspective that seeks to highlight his influence should be revitalized based on a complete study of the existing documentary fund and an adequate exhalation as a pioneer not only of Colombian aviation but also of the development of technology and science. This is justified in his constant search for patents that show the need for recognition of his findings not only to satisfy a personal ego but also to take advantage of them through production, as in the case of the aerostat.

In addition to this, Zeppelin himself, following the premises of one of the first aviation engineers, the Hungarian David Schwarz (1850-1897), on the use of aluminum in the construction of zeppelins, aluminum was presented as a good option to establish itself as a material of use and, the new material, highly developed for the nineteenth century, could represent the possibility of its expansive use in the aeronautical industry. Many scientists and engineers considered the use of aluminum as a much more plausible material than the use of, for example, wood, which made the structures very heavy. "Would Zeppelin be following Albán's premises in this aspect regarding the use of metals for the development of his project? At least there is a meeting point there" (De Syon, 2002, p. 21).



References

- Anmerkungen. (2005). Die Großen Zeppeline. In Kleinheins, P., Meighörner, W. (eds.) Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-27224-0_4
- Aristotle. (1936). *Mechanica*. https://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Aristotle/Mechanica*.html
- Bélafi, M. (1990). *Ferdinand Graf von Zeppelin*. Vieweg+Teubner Verlag.
- Blakemore, T. & Watters-Pagon, W. (1927). *Pressure Airships. Part I. Nonrigid Airships*. Ronald Press Co. NY.
- Bruhat, G. (1940). *Cours de physique generale - mecanique*. Masson et Cie.
- Bücher von Kleinheins, R. (1994). LZ 120 "Bodensee" und LZ 121 "Nordstern". Luftschiffe im Schatten des Versailler Vertrages (*Schriften zur Geschichte der Zeppelin-Luftschiffahrt, Bd. 12*). Friedrichshafen.
- Burgess, C. P. (1927). *Airship design*. Ronald Press Co. NY.
- Davy, J. B. (1950). *Aeronautics. Lighter-than-Air craft*. Her Majesty's Stationery Office.
- De Syon, G. (2002). *Zeppelin: Germany and the Airship, 1900-1939*. The John Hopkins University Press.
- DiLisi, G. A. (2017). The Hindenburg Disaster: Combining Physics and History in the Laboratory. *The Physics Teacher*, 55(5), 268-273. <https://doi.org/10.1119/1.4981031>
- Duhem, J. (1943). *Histoire des idées aéronautiques avant Montgolfier*. Fernand Sorlot, Paris.
- Faulkner, M. (2012). The Kriegsmarine and the aircraft carrier: The design and operational purpose of the 'Graf Zeppelin', 1933-1940. *War in History*, 19(4), 492-516 <https://doi.org/10.1177/0968344512455974>
- Fiolhais, C. (2000). *Física divertida*. Editorial Gradiva.
- Garlan, Y. (1974). *Recherches de Poliorcétique Grecque*. Ecole Française d'Athènes.
- Giqueaux-Oudart, M. (1957). *Mécanique des Fluides Théoriques*. Béranger.



- Grattan, R. F. (2009). *The origins of air war: Development of military air strategy in the World War I*. I.B. Tauris
- Hiam, M. C. (2014). *Dirigible dreams: The Age of the Airship*. University of Chicago Press.
- Irons-Georges, T. (ed.). (2002). *Encyclopedia of flight*. Salem Press.
- Karataev, V. B., Grosheva, P. Y., & Shkvarya, L. v. (2018). From the history of the development of controlled aerostats (Airships) in the XIX - Early XX centuries. *Bylye Gody*, 49(3), 1159-1165. <https://doi.org/10.13187/bg.2018.3.1159>
- Kay, C. (2014). War pedagogy in the German primary school classroom during the First World War. *War and Society*, 33(1), 3-11. <https://doi.org/10.1179/0729247313Z.00000000028>
- Kirshner, E. J. (1957). *Zeppelin in the Atomic Age*. University of Illinois.
- Kühne, T. (2012). *A Zeppelin endeavor. Understanding technological developments through the social construction of technology* [Master Thesis, University of Wien]. <https://phaidra.univie.ac.at/download/o:1288404>
- Lester, S. & Zhu, H. (2019). Rethinking the Length of Patent Terms. *American University International Law Review*, 34(4), 786-806. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3328596>
- Maluquer, J. J. (1942). *Globos y dirigibles*. Seix Barral.
- Mortane, J. (1938). *Les dirigibles tragiques*. Baudinière.
- Mosher, J. (2001). Zeppelin: Germany and the Airship, 1900-1939. *History: Reviews of New Books*, 30(2), 64-65. <https://doi.org/10.1080/03612759.2002.10526034>
- Nard, C. A. & Morris, A. P. (2006). Constitutionalizing Patents: From Venice to Philadelphia. *Review of Law & Economic*, 2(2), 4-12. <https://doi.org/10.2202/1555-5879.1054>
- OLX, Portugal. (s.f.). Grande Enciclopedia Portuguesa e Brasileira. <https://www.olx.pt/lazer/livros-revistas/q-grande-enciclopedia-portuguesa-e-brasileira/>
- Sánchez, J. M., Medina, J. E. y León, A. M. (2007). Publicación internacional de patentes por organizaciones e inventores de origen colombiano. *Cuadernos de Economía*, 26(47), 247-270.



Serrão, J. (2011). *Diccionario de Historia de Portugal*. Livraria Figueirinhas, 1992.

Tissander, G. (1890). *Histoire des Ballons et des Aéronautes célèbres*. Launette et Cie.

Valencia, A. (2022). Carlos Albán: político, militar... e inventor; un precursor de Zeppelin en Colombia. <https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-22/carlos-alban-politico-militar-e-inventor>

Velásquez-Rivera, E. J. (2002). *Carlos Albán y su tiempo*. Comfacauca.



Annex A

Table 4

Technical data of the Zeppelin airships (v = after enlarged conversion)

| Value number | Name | Year of Construction | Sister ships | Length (m) | Max. Diameter (m) | Volume (m ³) | Number of gas cells | Number of motors | Power (Kw) | Number of propellers | Net weight (ton) | Payload (ton) | Max. Speed (Km/h) |
|--------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|------------|-------------------|--------------------------|---------------------|------------------|------------|----------------------|------------------|---------------|-------------------|
| LZ1 | - | 1900 | - | 128 | 12 | 11 300 | 17 | 2 | 26 | 4 | 10 | 1,4 | 28 |
| LZ2 | - | 1905 | LZ 3 | 126 | 12 | 11400 | 16 | 2 | 125 | 4 | 11 | 2,8 | 39 |
| LZ3(v) | ZI | 1908 | - | 136 | 12 | 12 500 | 17 | 2 | 170 | 4 | 11 | 2,9 | 44 |
| LZ4 | - | 1908 | LZ 5, LZ 6 | 136 | 13 | 15 100 | 17 | 2 | 160 | 4 | 13 | 4,7 | 49 |
| LZ6(v) | <i>Deutschland</i> | 1910 | LZ 8 <i>Deutschland</i> | 144 | 13 | 16 000 | 18 | 3 | 275 | 6 | 14 | 4,4 | 56 |
| LZ7 | <i>Deutschland</i> | 1910 | LZ 9, LZ 12 | 148 | 14 | 19 300 | 18 | 3 | 265 | 4 | 16 | 6,8 | 60 |
| LZ10 | <i>Schwaben</i> | 1911 | LZ 13 <i>Hansa</i> | 140 | 14 | 17 800 | 17 | 3 | 320 | 4 | 14 | 6,5 | 75 |
| LZ11 | <i>Viktoria Luise</i> | 1912 | LZ 15, 16, 17 <i>Sachsen, 19, 20</i> | 148 | 14 | 18 700 | 18 | 3 | 340 | 4 | 15 | 6,5 | 80 |
| LZ14 | LI | 1912 | - | 158 | 15 | 22 500 | 18 | 3 | 370 | 4 | 14 | 9,4 | 76 |
| LZ18 | L2 | 1913 | - | 158 | 17 | 27 000 | 18 | 4 | 520 | 4 | 20 | 11,1 | 75 |
| LZ21 | ZVI | 1913 | LZ 23 | 148 | 15 | 20 900 | 17 | 3 | 400 | 4 | 16 | 8,8 | 73 |
| LZ22 | ZVII | 1914 | LZ 25, 27 bis 35, 37 | 156 | 15 | 22 100 | 18 | 3 | 400 | 4 | 17 | 9,0 | 74 |
| LZ24 | L3 | 1914 | - | 158 | 15 | 22 500 | 18 | 3 | 450 | 4 | 17 | 9,2 | 80 |
| LZ26 | ZXII | 1914 | LZ 39 | 161 | 16 | 25 000 | 15 | 3 | 465 | 3 | 17 | 12,2 | 82 |
| LZ36 | L9 | 1915 | LZ 38, 41 bis 58, 60, 63 | 161 | 16 | 25 000 | 15 | 3 | 465 | 3 | 18 | 11,0 | 85 |



| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------|------|--------------------------------------|-----|----|---------|----|---|------|---|-----|------|-----|
| LZ40 | LIO | 1915 | LZ61,64bis71,73, 77, 81 | 164 | 19 | 31900 | 16 | 4 | 620 | 4 | 21 | 16,2 | 96 |
| LZ59 | L20 | 1915 | 72, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 82-90 | 179 | 19 | 35 800 | 18 | 4 | 705 | 4 | 22 | 17,9 | 95 |
| LZ62 | L30 | 1916 | LZ 92 | 198 | 24 | 55 200 | 19 | 6 | 1060 | 6 | 34 | 32,5 | 103 |
| LZ91 | L42 | 1917 | LZ 94 | 197 | 24 | 55 500 | 18 | 5 | 880 | 4 | 29 | 36 | 100 |
| LZ93 | L44 | 1917 | LZ 96 bis 99 | 197 | 24 | 55 800 | 18 | 5 | 880 | 4 | 27 | 38 | 104 |
| LZ95 | L48 | 1917 | LZ 101, 103, 105 bis 111 | 197 | 24 | 55 800 | 18 | 5 | 880 | 4 | 26 | 39 | 108 |
| LZ100 | L53 | 1917 | LZ 104 = L 59 (África-LS) | 197 | 24 | 56 000 | 14 | 5 | 960 | 4 | 25 | 40 | 113 |
| LZ102 | L57 | 1917 | LZ 113 | 226 | 24 | 68 500 | 16 | 5 | 880 | 4 | 28 | 52 | 103 |
| LZ112 | L70 | 1918 | LZ 114 <i>Dixmude</i> | 211 | 24 | 62 200 | 15 | 7 | 1340 | 6 | 28 | 43 | 131 |
| LZ113(v) | L71 | 1918 | - | 226 | 24 | 68 500 | 16 | 6 | 1150 | 6 | 28 | 51 | 118 |
| LZ120 | <i>Bodensee</i> | 1919 | LZ 121 <i>Nordstern</i> | 121 | 19 | 20 000 | 12 | 4 | 710 | 3 | 14 | 9,6 | 133 |
| LZ120(v) | <i>Bodensee</i> | 1920 | - | 132 | 19 | 22 500 | 13 | 3 | 550 | 3 | 16 | 11,2 | 127 |
| LZ126 | ZR 3 <i>Los Angeles</i> | 1924 | - | 201 | 28 | 70 000 | 14 | 5 | 1470 | 5 | 35 | 46 | 126 |
| LZ127 | <i>Graf Zeppelin</i> | 1928 | - | 237 | 30 | 105 000 | 17 | 5 | 1950 | 5 | 59 | 60 | 130 |
| LZ129 | <i>Hindenburg</i> | 1936 | - | 245 | 41 | 200 000 | 16 | 4 | 2650 | 4 | 119 | 96 | 137 |
| LZ130 | <i>Graf Zeppelin</i> | 1938 | - | 245 | 41 | 200 000 | 16 | 4 | 2950 | 4 | 114 | 105 | 135 |

Source: Bücher von Kleinheins (1994, p. 265).



Figure 4

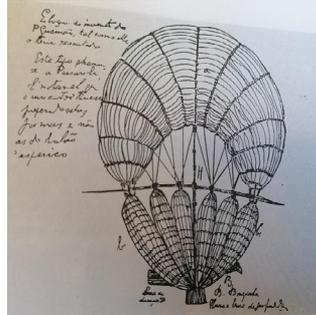
a) Aerostatical balloon of Alban

b) Interpretative sketch of the invention of Gusmão. Longitudinal section according to the priest Himalaia

c) The Hindenburg's catastrophe



a)



b)



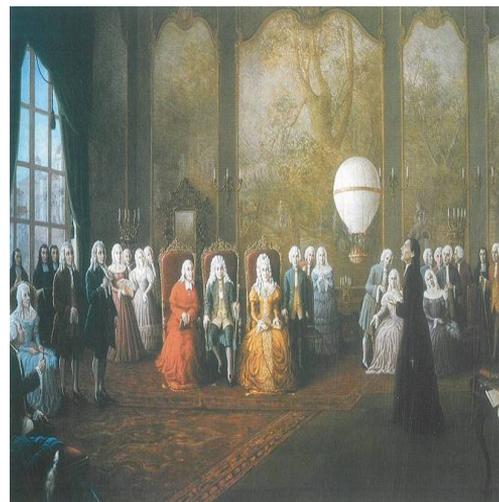
c)

Source: Fund General Carlos Alban, Universidad del Cauca. Grande Enciclopedia Portuguesa e Brasileira.

Figura 5

a) Monument to Carlos Alban. Carlos Alban Park. Popayan

b) Presentation by BLG to the "instrument for walking through the air", to the Portuguese court on August 8, 1709, in the Audience Hall of the Royal Palace (Seated, from left to right, are the Apostolic Nuncio Michelangelo Conti, King John V, and Queen Maria Ana of Austria). Painting by Bernardino de Souza Pereira, oil on canvas, 1940



Source: Paulista Museum.



Capítulo 3

Competencias genéricas para enfrentar retos generados por el COVID-19 en tiendas de barrio de la ciudad de Barranquilla

Mauricio Junior Santamaría Ruiz¹
Ricardo Romario Antequera Amaris²
Reynier Israel Ramírez Molina³

Cítese como: Santamaría-Ruiz, M. J., Antequera-Amaris, R. R. y Ramírez-Molina, R. I. (2023). Competencias genéricas para enfrentar retos generados por el COVID-19 en tiendas de barrio de la ciudad de Barranquilla. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 65-77). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c352>

Resumen

Este estudio tiene como objetivo, identificar las competencias genéricas del talento humano, apoyadas en las Tecnologías de la Información y la Comunicación, que aborden las problemáticas derivadas de la emergencia económica, social y ambiental del COVID-19 en las tiendas de barrios, seccional Atlántico - Barranquilla. La metodología utilizada es de tipo descriptivo, diseño de campo, transversal y no experimental, utilizando como unidades de observación 192 tiendas ubicadas en la ciudad de Barranquilla. El instrumento utilizado para la recolección de datos fue un cuestionario estructurado por 30 ítems, validado por diez expertos, con una confiabilidad de 0,94. El análisis de datos fue mediante codificación y tabulación en Microsoft Excel (.xlsx). Los resultados muestran que existe un margen de mejora en las competencias genéricas del talento humano en las tiendas de la ciudad de Barranquilla. La competencia mejor evaluada es orientación al cliente con un valor de 2,72. Sin embargo, el indicador más bajo es la gestión tecnológica con un valor de 2,18. En conclusión, se sugiere la implementación de programas de capacitación y formación en las competencias genéricas del talento humano en el entorno digital para mejorar la calidad de servicio y aumentar la competitividad de las tiendas de barrios en la ciudad de Barranquilla.

Palabras clave: competencias genéricas del talento humano; TIC; emergencia económica, social y ambiental.

¹ Corporación Educativa del Litoral. msantamaria@litoral.edu.co. Universidad de la Costa. Correo: msantama@cuc.edu.co

² Universidad de la Costa. Correo: ranteque2@cuc.edu.co

³ Universidad de la Costa. Correo: rramirez13@cuc.edu.co



Generic competencies to face challenges generated by COVID-19 in neighborhood stores in Barranquilla, Colombia

Abstract

The objective of this study was to identify the generic competencies of human talent, with the support of Information and Communication Technologies, that address the problems derived from the economic, social, and environmental emergency of COVID-19 in neighborhood stores, Atlántico - Barranquilla section. The methodology used was descriptive, field design, transversal and non-experimental, using 192 stores located in the city of Barranquilla as observation units. The instrument used for data collection was a questionnaire structured with 30 items, validated by ten experts, with a reliability of 0.94. Data analysis was done by coding and tabulation in Microsoft Excel (.xlsx). The results show that there is an opportunity for improvement in the generic competencies of human talent in stores in the city of Barranquilla. The best-evaluated competency was 'Customer orientation', with a value of 2.72; the lowest indicator was technological management with a value of 2.18. In conclusion, it is suggested the implementation of training programs in the generic competencies of human talent in the digital environment, improve the quality of service and increase the competitiveness of the stores studied.

Keywords: generic competencies of human talent; ICT; economic, social, and environmental emergency.

Competências genéricas para enfrentar os desafios gerados pela COVID-19 em lojas de bairro na cidade de Barranquilla, Colômbia

Resumo

O objetivo deste estudo foi identificar as competências genéricas do talento humano, com o apoio das Tecnologias da Informação e Comunicação, que abordam os problemas derivados da emergência econômica, social e ambiental da COVID-19 em lojas de bairro, seção Atlântico - Barranquilla. A metodologia utilizada foi descritiva, de campo, transversal e não experimental, utilizando 192 lojas localizadas na cidade de Barranquilla como unidades de observação. O instrumento utilizado para a coleta de dados foi um questionário estruturado com 30 itens, validado por dez especialistas, com uma confiabilidade de 0,94. A análise dos dados foi feita por meio de codificação e tabulação no Microsoft Excel (.xlsx). Os resultados mostram que há espaço para melhorias nas competências genéricas do talento humano nas lojas da cidade de Barranquilla. A competência mais bem avaliada foi 'Orientação para o cliente', com um valor de 2,72; o indicador mais baixo foi a 'Gestão tecnológica', com um valor de 2,18. Em conclusão, sugere-se a implementação de programas de treinamento e capacitação nas competências genéricas do talento humano no ambiente digital, para melhorar a qualidade do serviço e aumentar a competitividade das lojas estudadas.



Palavras-chave: competências genéricas do talento humano; TIC; emergência econômica, social e ambiental.

Introducción

En la actualidad, se entiende que las organizaciones han enfocado sus esfuerzos en mejorar las capacidades humanas, siendo enfáticas en la preparación de sus colaboradores. A nivel mundial, el talento humano es una de las mayores fuerzas motrices del desarrollo y el progreso. Es la base para el desarrollo de nuevas habilidades, competencias y conocimiento lo que impulsa la innovación, la productividad y el crecimiento económico. El talento humano a nivel mundial contribuye al desarrollo de nuevas formas de hacer las cosas y al avance de la tecnología, lo que resulta en un mejoramiento de la calidad de vida de la población. Las competencias del talento humano son una necesidad para la supervivencia de cualquier organización moderna. El enfoque de competencias se ha convertido en una forma estándar para identificar, desarrollar y valorar el talento humano.

América Latina posee un gran talento humano, con una variada cultura y diversidad étnica, que le ha dado una gran variedad de habilidades, las cuales incluyen una gran creatividad, resiliencia, adaptabilidad, entusiasmo y motivación. El talento humano de América Latina ha contribuido a la innovación y el desarrollo de productos y servicios de alto valor; también, le ha permitido convertirse en una de las principales economías del mundo.

En Colombia, el talento humano es una de las mayores fortalezas; se destaca por su capacidad de innovación, creatividad y diversidad. Esta habilidad para identificar y desarrollar las competencias de los colombianos es un recurso clave para su desarrollo económico y social, demostrando una gran destreza para la adaptación y la resolución de problemas, lo que permite desarrollar nuevas formas de abordar los retos, desplegando soluciones creativas y originales para los problemas a los que se enfrentan. Esto permite a las organizaciones, identificar y desarrollar las habilidades que les posibilitan alcanzar los objetivos estratégicos. Las competencias hacen posible desarrollar una cultura y un entorno que estimule el desarrollo e innovación necesarios para mantener su ventaja competitiva; también, son un elemento clave para la planificación de la fuerza laboral y la gestión del capital humano.

Esto significa que las organizaciones necesitan tener una comprensión clara de las competencias del talento humano, que, se dividen en dos grandes grupos: genéricas y técnicas. Las primeras son aquellas habilidades y conocimientos que se aplica en todas las áreas y son necesarias para el trabajo en cualquier entorno. Estas incluyen habilidades de liderazgo, comunicación, trabajo en equipo, solución de problemas, creatividad, motivación, etc. Las segundas son aquellas habilidades y conocimientos relacionados con una profesión o campo específico; incluyen habilidades y conocimientos relacionados con la informática, contabilidad, finanzas, administración, ingeniería, medicina, etc.; son adquiridas a través de la formación académica.



Marco Teórico

La identificación de competencias genéricas del talento humano apoyadas en las TIC, que atiendan las problemáticas derivadas de la emergencia económica, social y ambiental del COVID-19 en las tiendas de barrio adscritas a la Federación Nacional de Comerciantes Empresarios (FENALCO), seccional Atlántico - Barranquilla, se vuelve una necesidad en el contexto actual. La adaptabilidad, toma de decisiones, comunicación asertiva, trabajo en equipo y liderazgo destacan como competencias críticas que pueden ayudar a las tiendas de barrio a enfrentar los desafíos del mercado, en un entorno incierto y cambiante. Para desarrollar estas competencias, es esencial que los empleados reciban capacitación en TIC y habilidades blandas, así como, que laboren en un ambiente de trabajo que fomente la colaboración y el aprendizaje continuo.

La adaptabilidad se refiere a la capacidad de las personas para ajustarse a las nuevas situaciones y circunstancias en el trabajo. En el contexto del COVID-19, esta es una competencia crítica para los trabajadores de las tiendas de barrio, ya que las regulaciones gubernamentales y las fluctuaciones en la demanda del mercado han cambiado constantemente. La adaptabilidad también implica la capacidad de utilizar nuevas tecnologías y herramientas en el trabajo, para abordar los cambios en el mercado.

Se puede entender como un proceso de aprendizaje continuo y cambio organizacional para enfrentar los cambios en el entorno externo. La adaptabilidad también implica la capacidad de aceptar y aprender de los errores en el trabajo; se relaciona con la capacidad de los trabajadores para colaborar con otros, en aras de superar los desafíos.

La toma de decisiones es una competencia fundamental en el contexto del COVID-19, donde la incertidumbre y la complejidad de la situación pueden dificultar la evaluación de las opciones disponibles. En este sentido, la toma de decisiones efectiva puede ayudar a las tiendas de barrio a responder rápidamente a los desafíos del mercado y garantizar su supervivencia.

Se basa en la evaluación y el análisis de la información disponible para tomar la mejor decisión posible; esto implica la capacidad de considerar múltiples perspectivas y opiniones en la evaluación de las opciones disponibles. Khandekar y Sharma (2020) argumentan que la toma de decisiones efectiva también se relaciona con la capacidad de actuar rápidamente y con confianza en situaciones de incertidumbre.

La comunicación asertiva es una competencia crítica, donde la comunicación clara y efectiva puede ayudar a las tiendas de barrio a comunicar sus políticas y procedimientos a los clientes y empleados, así como a garantizar la seguridad y el bienestar de todos los involucrados; implica la capacidad de recibir y responder adecuadamente a la retroalimentación y los comentarios.



Según Llorente et al. (2018), la comunicación asertiva se basa en la capacidad de comunicar las ideas de manera clara y efectiva, al mismo tiempo que se respeta a los demás. De acuerdo con Seo y Park (2020), también se relaciona con la capacidad de escuchar y entender las necesidades y perspectivas de los demás en el trabajo. Goh et al. (2018), por su parte, argumentan que esta implica la capacidad de expresar las emociones y necesidades concisa y efectivamente, en situaciones de conflicto.

El trabajo en equipo es una competencia fundamental para la colaboración y cooperación, posibilitando ayudar a las tiendas de barrio a enfrentar los desafíos del mercado; implica la capacidad de establecer relaciones efectivas y productivas con los demás en el trabajo.

Para Tuckman y Jensen (2010), el trabajo en equipo se basa en la capacidad de establecer metas y objetivos claros, así como, cooperar y comunicarse efectivamente con los demás. Para De Church y Marks (2012) se relaciona con la capacidad de aprovechar las fortalezas y habilidades individuales de los miembros del equipo, para alcanzar los objetivos comunes. Lin et al. (2021) argumentan que el trabajo en equipo efectivo envuelve la capacidad de gestionar los conflictos y resolver los problemas de manera efectiva.

El liderazgo permite motivar y dirigir a los empleados para alcanzar los objetivos organizacionales en un entorno incierto y cambiante; involucra la capacidad de inspirar y motivar a los demás en el trabajo. Según Northouse (2018), se basa en la capacidad de influir y dirigir a los demás para alcanzar los objetivos organizacionales. Avolio et al. (2019) consideran que se relaciona con la capacidad de inspirar y motivar a los demás en el trabajo. Kouzes y Posner (2017) argumentan que el liderazgo efectivo tiene que ver con la capacidad de establecer una visión clara y motivadora para la organización y, guiar a los demás hacia esa visión.

Con base en la literatura disciplinar, se conceptualiza las habilidades universales que mejoran el desempeño humano, presentes en los actos mercantiles, al igual que los procedimientos de cada área de la empresa. En entornos en donde el recurso humano debe ser autónomo, las competencias genéricas (Corrales et al., 2022; Ramírez et al., 2020) permiten a las personas ser competitivas al momento de enfrentar situaciones imprevistas. La comunicación asertiva es importante en el área de talento humano para mantener un ambiente laboral ameno y positivista, enfocado en el respeto. Desde el área de márketing permite potencializar la imagen corporativa de las organizaciones. El conocimiento digital es fundamental: hace posible el crecimiento, la posición y el reconocimiento, así como una identificación clara del perfil del colaborador (Alles, 2008), entendido como universal, que los seres humanos desarrollan para adaptarse a diversas situaciones y entornos; se considera útil en todas las áreas de la organización, para aumentar la productividad y las competencias situacionales, dado que se genera en un contexto específico y, según las tendencias, tiende a cambiar.



En este sentido, son habilidades universales útiles para afrontar situaciones inesperadas; surgen para dar respuestas a las funciones de apoyo; permiten conocer la capacidad de adaptabilidad y resolución de conflicto de los colaboradores; son conocidas por su constante actualización debido a las transformaciones de la industria y los cambios tecnológicos implementados; son consideradas habilidades blandas, características de las áreas en las cuales se desempeña el colaborador; van de la mano con el modelo de gestión implementado por la empresa; en modelos descentralizados, el colaborador tiene mayor autonomía, por lo cual necesita mejores competencias comunicativas que permitan aprovechar el trabajo en equipo y la libertad para realizar sus funciones. La orientación de estas competencias va enfocada a la cultura organizacional; se hacen mayormente presentes, las competencias fomentadas por el departamento de bienestar desde el área de recursos humanos.

La habilidad comunicativa es la capacidad que posee cada persona para interactuar asertivamente; este aprendizaje se da a lo largo del día a día; se expresa de diferentes maneras: a través del habla, señas, gestos, que hacen parte de la información brindada. Según Chiavenato (2017), es compartir información de forma asertiva, precisa, enmarcada en el respeto, la solidaridad, observando las circunstancias de las demás personas (Ramírez et al., 2020); quienes poseen estas competencias, son hábiles en sus relaciones interpersonales, laborales, familiares, circunstanciales, afectivas; demuestran conocimiento de sus capacidades, saben relacionarse con sus compañeros y, son mediáticos de un ambiente laboral agradable.

Para Laranjeiro et al. (2022) y, Pabón et al. (2019), se conceptualiza como comunicar el pensamiento correctamente, expresando el mensaje con la finalidad de contribuir positivamente a la toma de decisiones objetivas, teniendo presente el contexto inmerso en el acto mismo de la comunicación; la asertividad es fundamental en las competencias comunicativas; fortalece el vínculo entre trabajadores, transmite el mensaje amablemente, facilita la comprensión de la información, fomenta el trabajo en equipo y, caracteriza como líder a quien la ejerce.

Se deduce que en las entidades que promueven estas competencias hay un ambiente laboral agradable, equipos de trabajo bien estructurados, cuyos empleados usan el lenguaje apropiado para expresar sus desacuerdos. La incorporación de las TIC para el desarrollo de la competencia permite hallar formas más dinámicas de aprender, mejorando la pedagogía aplicada, aprovechando las herramientas tecnológicas que ayudan a mejorar sus aptitudes, para crear un perfil más capaz en el mercado laboral, lo que genera relaciones interpersonales más satisfactorias, las cuales son una de las principales razones por las que las organizaciones retienen el talento, así como los vínculos emocionales que se establece en el trabajo.

Las competencias tecnológicas son una competencia distintiva del recurso humano (Ramírez et al., 2020), enfocada en el uso de las nuevas tecnologías,



procurando la potencialización organizacional, innovación, competitividad y dinamismo en los procesos, buscando administrar estratégicamente el recurso, mejorando las organizaciones. De ese modo, es utilizada para optimizar procesos, a través del conocimiento digital, impactando el área operativa y de mercadeo, facilitando la innovación, gestión y desarrollo de procesos, por lo cual se conceptualiza como habilidad diferenciadora del personal competitivo (Mendivil et al., 2022). El conocimiento de medios tecnológicos hace más competente la empresa y brinda mayor capacidad de gestionar información para guiar planes que permitan desarrollar aprendizajes mínimos de ofimática, uso de softwares institucionales, tecnologías de comunicación y herramientas de seguimiento al recurso humano. Este tipo de competencia es valioso porque abarca el conocimiento digital, la gestión de información y el análisis de datos; quien la posee, logra adaptarse a los cambios tecnológicos en las organizaciones.

Partiendo de las investigaciones de Bilbao y Arantza (2021), se requiere esta clase de competencias para cumplir funciones de conocimiento técnico y desempeñar funciones de alta rigurosidad, por lo cual se hace necesario el conocimiento de temas técnicos que permitan orientar la misión de la organización. Cada área se caracteriza por requerir concretamente, funciones misionales inherentes al cargo; por ejemplo, desde el área financiera, el conocimiento técnico contable, los indicadores financieros, el manejo tributario, la toma de decisiones; desde recursos humanos, para mantener la utilidad financiera, el personal debe tener capacidad de liderazgo, orientación al cliente, inteligencia emocional; para gestionar este recurso (Sukier et al., 2020) se requiere habilidades específicas para cumplir con las funciones misionales de cada cargo, consideradas competencias técnicas, conceptualizadas como las capacidades funcionales que permiten el cumplimiento de labores específicas, que precisan conocimiento técnico y práctico, están orientadas al cargo y surgen debido a la necesidad de dar cumplimiento a las funciones misionales del cargo, definidas como habilidades duras que le permiten al colaborador desempeñar su cargo; los elementos que la sistematizan son conocimientos, experiencias, valores y habilidades, utilizados para crear competencias técnicas con enfoque práctico profesional.

Las competencias específicas son conocidas por ser dependientes del área, cargo, funciones y procesos a ejecutar; son conceptualizadas como las habilidades pertinentes según las labores a ejecutar, por lo cual mejoran la competitividad de la organización a través de la tecnificación de sus ciclos procedimentales para realizar mejoras, garantizando la calidad en el recurso humano. El uso de habilidades especializadas es un complemento a los perfiles de competencias (Laranjeiro et al., 2022). Las habilidades que explícitamente son requeridas para alcanzar cargos de alto nivel, son competencias estratégicas de gestión y liderazgo. Toda empresa necesita colaboradores con cualidades específicas (Gómez et al., 2018), habilidades manifiestas para cumplir efectivamente los compromisos técnicos planteados en las empresas; estas son adquiridas mediante la realización de ejercicios, estudios, experiencias; son definidas como las habilidades especializadas o,



aquellas características útiles para demostrar el conocimiento a través del cumplimiento de las funciones. Al participar en cada área, se debe notar que son particulares o especializadas, según el área.

Por consiguiente, se amplía el alcance, partiendo desde las tareas tecnificadas que se debe desempeñar, hasta las competencias necesarias según las áreas internas de la empresa, por lo cual se puede decir que las competencias técnicas son el producto de habilidades, conocimientos, aptitudes y experiencias que se encuentran mayormente presentes en cada área; en el caso del área financiera, los conocimientos de análisis financieros, la experiencia de negociar y la gestión financiera que, si bien son específicas según el cargo, también tienen relación directa con las áreas o departamentos de la organización; para ello se busca profundizar en el conocimiento desarrollando competencias específicas a través del uso de herramientas, software, plataformas web, redes de difusión científica de alto alcance, para aportar profesionales con mejor preparación a la sociedad.

Asimismo, las competencias de gestión están en niveles estratégicos y directivos de las organizaciones; son conceptualizadas como las habilidades, aptitudes, perspectivas e información que posee un individuo, articuladas con la conducta, que mejoran la gestión de procesos, documentación, agilización; son útiles para optimizar el tiempo de respuesta (Pabón et al., 2019), gestionando el riesgo de forma eficiente. Son importantes para decidir asignaciones o tareas (Bilbao y Arantza, 2021); son la combinación de habilidades, cualidades mentales, razonamiento coherente e información hipotética que le brindan al colaborador, un desarrollo holístico, permitiendo gestionar los riesgos operativos y administrativos a través de la aplicación de estrategias.

En conclusión, son el conglomerado de habilidades, conocimientos y experiencias que brindan a un individuo la capacidad de administración, con el fin de resolver necesidades con miras a lograr los objetivos plasmados por la empresa, departamento o área; surgen para integrar procesos a través de la creación de planes de trabajo; se apoyan en las TIC para incrementar su alcance; de ellas se desprenden diversas competencias como: gestión documental, gestión de información, gestión financiera, entre otras.



Tabla 1

Operacionalización de la variable competencias del talento humano

Objetivo general: identificar las competencias genéricas del talento humano apoyadas en las TIC, que aborden las problemáticas derivadas de la emergencia económica, social y ambiental del COVID-19 en las tiendas de barrios, seccional Atlántico – Barranquilla

| Variable | Dimensión | Indicadores |
|--|---|---------------------------|
| Competencias del talento humano y técnicas del talento humano apoyados en las TIC. | Competencias genéricas y técnicas del talento humano apoyados en las TIC. | Adaptabilidad |
| | | Toma de decisiones |
| | | Comunicación asertiva |
| | | Trabajo en equipo |
| | | Liderazgo |
| | | Gestión de la información |
| | | Conocimiento digital |
| | | Pensamiento estratégico |
| | | Orientación al cliente |
| | | Gestión tecnológica |

Desarrollo

Estudio de tipo descriptivo, a través del método cuantitativo, con enfoque en el positivismo, aplicado en campo, extrayendo los datos de forma natural. Técnica: la encuesta; instrumento: un cuestionario estructurado de 30 ítems, con una escala ordinal, mediante opciones de respuestas aplicado a 191 sujetos de las tiendas de barrios en la ciudad de Barranquilla. Se realizó a través de la utilización sistematizada de métodos lógicos de recolección e interpretación de la información recolectada. Partiendo de la premisa de eficiencia en la aplicación de los instrumentos, se contrastó con la definición de Cruz et al. (2014). La confiabilidad es el grado de congruencia que permite medir la certeza de una variable; para la presente investigación se utilizó la fórmula de Alfa Cronbach, para instrumentos con alternativa tipo Likert:

$$\alpha = \frac{k}{k - 1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{St^2} \right)$$

...donde:



α = coeficiente de Cronbach

K = número de ítems: 30

$\sum S_i^2$ = sumatoria de la varianza de los ítems (45,42)

S_t^2 = la varianza de la suma de los ítems (473,25)

α = coeficiente de Alfa de Cronbach

$$\alpha = \frac{30}{30-1} \left(1 - \frac{45,42}{473,25} \right) = 0,94$$

Aplicada la fórmula, se obtuvo una confiabilidad del instrumento de (0,94) en el coeficiente de Alfa de Cronbach, la cual indica que el referido instrumento es altamente confiable.

Resultados y Discusión

A continuación, se presenta la información obtenida, mostrando la descripción estadística de los porcentajes, como herramienta que permite verificar las tendencias de acuerdo con la alternativa consultada, netamente relacionada con el baremo de interpretación de la media. El análisis de los datos se deriva de las frecuentes comparaciones que son producidas entre los resultados; este depende de la naturaleza del tratamiento estadístico seleccionado. Los tipos o métodos de análisis son variados. Cabe señalar que el análisis no es indiscriminado; cada método tiene su razón de ser y un propósito específico:

- Indicador de Adaptabilidad: 2,67
- Toma de decisiones 2,38
- Comunicación asertiva 2,49
- Trabajo en equipo 2,35
- Liderazgo 2,18
- Gestión de la información 1,92
- Conocimiento digital 1,98
- Pensamiento estratégico 1,86
- Orientación al cliente 2,72
- Gestión tecnológica 1,63.



Figura 1

Competencias genéricas y técnicas del talento humano apoyadas en las TIC

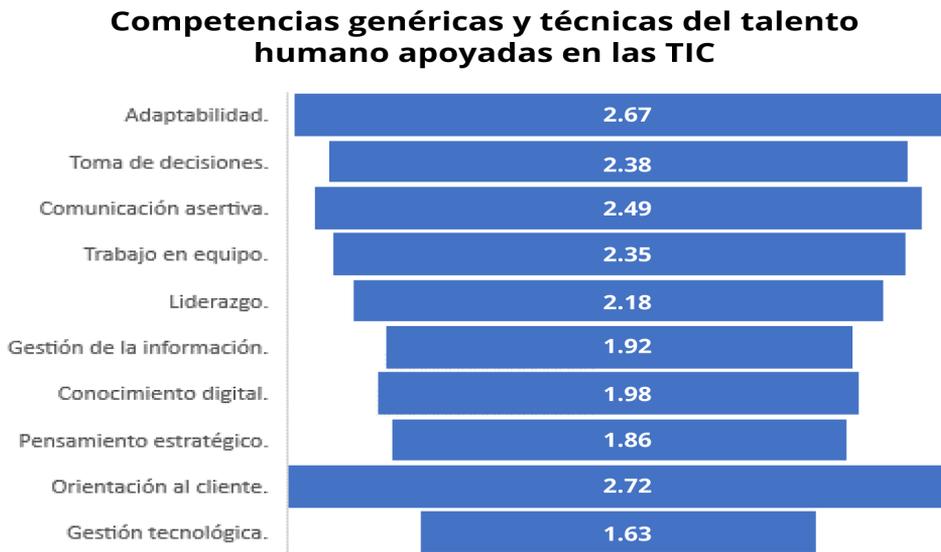
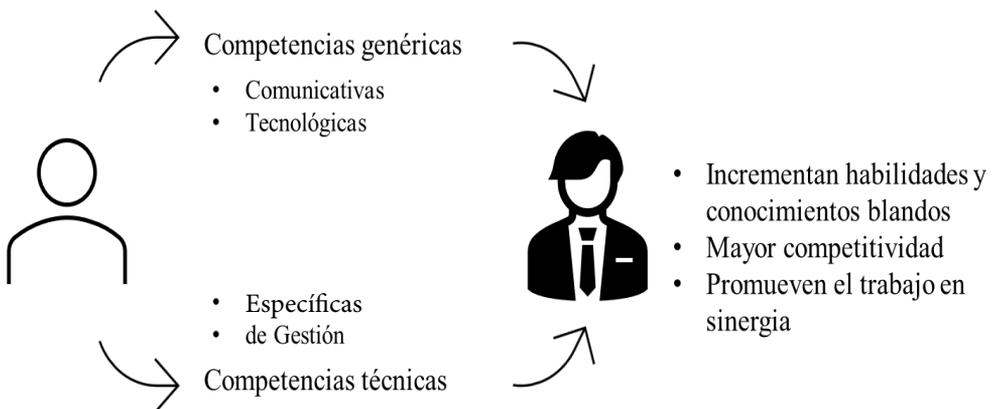


Figura 2

Adquisición de competencias del talento humano



Conclusiones

Las competencias genéricas son habilidades universales, útiles para enriquecer el perfil de cada colaborador en todas las áreas de la organización; hacen énfasis en áreas de apoyo, como: operativa, de archivos, relaciones interpersonales y trabajo en equipo; están amarradas a factores psicológicos que marcan rasgos dominantes en los individuos; son efectivas para potencializar el trabajo en equipo, optimizando el tiempo para alcanzar las metas designadas, orientadas siempre a la sustentabilidad de la organización. Las competencias técnicas o competencias específicas de gestión son habilidades de cada área de trabajo;



necesitan mayor dedicación para ser desarrolladas; son diferenciadoras; se solicitan de acuerdo con la razón de ser del cargo, transformando el talento humano, como se muestra en la Figura 2, especificando la importancia de las capacitaciones en conocimientos digitales, financieros y tecnológicos, lo que deriva en conocimiento especializado y alto desempeño profesional, que potencializan los procesos, propiciando la sustentabilidad de las organizaciones.

Referencias

- Alles, M. (2008). *Dirección estratégica de recursos humanos. Gestión por competencias* (3.ª ed.). Editorial Granica.
- Avolio, B. J., Yammarino, F. J., & Bass, B. M. (2019). Transformational and charismatic leadership: The road ahead. In *The Routledge companion to leadership* (pp. 147-160). Routledge.
- Bilbao, E. y Arantza, R. (2021). Una revisión sistemática de la literatura sobre el nivel de competencias digitales definidas por DigCompEdu en la educación superior. *Aula Abierta*, 50(4), 841-850. <https://doi.org/10.17811/rifie.50.4.2021.841-850>
- Chiavenato, I. (2017). *Planeación estratégica, fundamentos y aplicaciones* (3.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Corrales, J., Ribeiro, N. y Gomes, D. R. (2022). Las competencias exigidas a los trabajadores de la Industria 4.0: Cambios en la gestión de personas. *Cuadernos de Relaciones Laborales*, 40(1), 161-184. <http://dx.doi.org/10.5209/crla.72383>
- Cruz, C., Olivares, S. y González, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Grupo Editorial Patria.
- De Church, L. A. & Marks, M. A. (2012). Leadership in multiteam systems. *Journal of Management*, 38(2), 422-451.
- Goh, Y. W., Sawang, S., & Oei, T. P. (2018). The role of emotion regulation in the relationship between communication competency and conflict resolution styles. *Personality and Individual Differences*, 130, 87-92.
- Gómez, F. J., Lacasta, J. J., Martínez-Tur, V. A. y Rodríguez, C. (2018). Avances en el liderazgo: marco de competencias de los líderes profesionales. *Siglo Cero*, 49(4), 7-34. <https://doi.org/10.14201/scero2018494734>
- Khandekar, S. & Sharma, D. (2020). Decision-making during uncertainty caused by the COVID-19 pandemic. *Materials Today: Proceedings*, 33, 2956-2960.



- Kouzes, J. M. & Posner, B. Z. (2017). *The leadership challenge: How to make extraordinary things happen in organizations*. John Wiley & Sons.
- Laranjeiro, A. C., Suleman, F., Botelho, M. C. (2020). A empregabilidade dos graduados: competências procuradas nos anúncios de emprego. *Sociologia, Problemas e Práticas*, (93), 49-69. <http://dx.doi.org/10.7458/spp20209312055>
- Lin, Y. C., Wang, Y. T., & Chen, C. J. (2021). A review of team effectiveness research: What we know and what we need to know. *Journal of Organizational Behavior*, 42(1), 87-109. <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-041719-101841>
- Llorente, M. D., Gómez-López, M., & Ariza-Vega, P. (2018). Development of communication skills and social skills in higher education. *Universal Journal of Educational Research*, 6(11), 2534-2540.
- Mendivil, J., Sanz, B. y Gutierrez, M. (2022). Formación y concienciación en ciberseguridad basada en competencias: una revisión sistemática de literatura. *Pixel bit*. (63), 197-225. <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.91640>
- Northouse, P. G. (2018). *Leadership: Theory and practice*. Sage Publications.
- Pabón, L., Pérez, H., Rodríguez, E. y Sandoval, R. (2019). Normalización de competencias laborales del sector de las telecomunicaciones en Colombia: elaboración de normas de competencia para IPv6. En *The 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities"*. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.365>
- Ramírez, R. I., Lay, N. D. y Sukier, H. B. (2020). Gerencia estratégica para la gestión de personas del sector minero de Venezuela, Colombia y Chile. *Información Tecnológica* 31(1), 133-140. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642020000100133>
- Seo, S. H. & Park, H. (2020). The relationship between communication competency, employee job satisfaction, and organizational commitment in the hotel industry. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 44, 54-62.
- Sukier, H., Ramírez, R. I., Parra, M., Martínez, K., Fernández, G., & Lay, N. (2020). Strategic Management Human Talent from a Sustainable Approach. *Opción, Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 36(91), 929-953.
- Tuckman, B. W. & Jensen, M. A. (2010). Stages of small-group development revisited. *Group Facilitation: A Research and Applications Journal*, (10), 43-48.



Capítulo 4

Desempeño de la gestión del conocimiento frente al desarrollo sostenible de las organizaciones

Luvis Paola León Romero¹
Mario Aguilar Fernández²

Cítese como: León-Romero, L. P. y Aguilar-Fernández, M. (2023). Desempeño de la gestión del conocimiento frente al desarrollo sostenible de las organizaciones. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 78-98). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c353>

Resumen

Hoy en día, ante la necesidad de ser competitivas y mantener una posición activa en el entorno en el que se desarrollan, las organizaciones requieren de estrategias que contribuyan a tener procesos más sólidos y eficientes, para hacer frente a las exigencias del mercado, que también integra la contribución al medio ambiente, para lo cual es menester contar con un equipo de trabajo interdisciplinario e intercomunicado, capaz de lograr la sinergia de las operaciones desde la gestión del conocimiento.

Para llevar a cabo este estudio se realizó una búsqueda literaria con miras a determinar cómo impacta la gestión del conocimiento en el desarrollo sostenible de las organizaciones y, conocer su nivel de influencia mediante una cultura organizacional colaborativa dentro de los procesos productivos.

El resultado permitió comprender que la gestión del conocimiento influye de manera significativa en el desarrollo sostenible organizacional; de allí la importancia de saber gestionar el conocimiento y guiarlo desde un ambiente individual a uno colectivo, favorable a los procesos de aprendizaje organizacional, lo que garantiza un mejor desempeño competitivo a lo largo del tiempo. Esto lleva a concluir que es un reto que enfrentan las compañías debido a la dificultad de integrar los conocimientos particulares en los procesos y llevarlos a un entorno global disponible en la organización.

¹ Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial, Instituto Politécnico Nacional. Correo: lleonr2100@alumno.ipn.mx

² Docente investigador, Instituto Politécnico Nacional. Correo: maguilarfer@ipn.mx



Palabras clave: gestión del conocimiento; desarrollo sostenible; procesos eficientes; aprendizaje organizacional.

Performance of knowledge management about the sustainable development of organizations

Abstract

Today, given the need to be competitive and maintain an active position in the environment in which they develop, organizations require strategies that contribute to having more solid and efficient processes to meet market demands, without neglecting the contribution to the environment; for this, it is necessary to have an interdisciplinary and intercommunicated work team, capable of achieving synergy of operations from knowledge management.

To carry out this study, a literature search was conducted to determine the impact of knowledge management on the sustainable development of organizations and to determine its level of influence through a collaborative organizational culture within the production processes.

The result allowed understanding that knowledge management significantly influences sustainable organizational development; hence the importance of knowing how to manage and guide towards a collective environment, which favors organizational learning processes and guarantees better competitive performance over time. This leads to the conclusion that companies face a challenge, given the difficulty of integrating particular knowledge into processes and bringing it to a global environment available within them.

Keywords: knowledge management; sustainable development; efficient processes; organizational learning.

Desempenho da gestão do conhecimento sobre o desenvolvimento sustentável das organizações

Resumo

Hoje, dada a necessidade de serem competitivas e de manterem uma posição ativa no ambiente em que se desenvolvem, as organizações precisam de estratégias que contribuam para ter processos mais sólidos e eficientes para atender às demandas do mercado, sem deixar de lado a contribuição para o meio ambiente; para isso, é necessário ter uma equipe de trabalho interdisciplinar e intercomunicada, capaz de obter sinergia das operações a partir da gestão do conhecimento.

Para realizar este estudo, foi feita uma pesquisa bibliográfica para determinar o impacto da gestão do conhecimento no desenvolvimento sustentável das organizações e determinar seu nível de influência por meio de uma cultura organizacional colaborativa nos processos de produção.



O resultado permitiu compreender que a gestão do conhecimento influencia significativamente o desenvolvimento organizacional sustentável; daí a importância de saber como gerenciar e orientar para um ambiente coletivo, que favorece os processos de aprendizagem organizacional e garante melhor desempenho competitivo ao longo do tempo. Isso leva à conclusão de que as empresas enfrentam um desafio, dada a dificuldade de integrar conhecimentos específicos aos processos e trazê-los para um ambiente global disponível dentro delas.

Palavras-chave: gestão do conhecimento; desenvolvimento sustentável; processos eficientes; aprendizagem organizacional.

Introducción

Mantenerse flexible a lo largo del tiempo pese a las acciones turbulentas a las que están expuestas las organizaciones tanto a nivel interno como externo es, sin duda, un reto al que estas se enfrentan constantemente; pocas logran superar este hecho porque comprenden que dependen de estrategias competitivas como la de salvaguardar el conocimiento de su compañía y, con el buen uso que hagan de este, mantener satisfechos a sus clientes internos y externos, diseñando procesos adaptables que además permitan conservar su identidad. Esta buena práctica se convierte en una ventaja competitiva difícil de imitar, dado que corresponde directamente a la cultura de la organización, la cual parte de los principios y valores desde la que se fundamenta.

Por lo anterior, se consideró pertinente este estudio, el cual tiene como objetivo general, conocer el desempeño de la gestión del conocimiento en cuanto al desarrollo sostenible organizacional; para ello se estudia casos de éxito y se analiza sus limitaciones, además de conocer el nivel de madurez sobre la estructura formal de la gestión del conocimiento; igualmente, se detalla las ventajas respecto a su aplicación y su impacto en la sostenibilidad.

Ahora bien, de toda la información que se maneja en las organizaciones, entre un 80 y un 90 % no se gestiona y se pierde (Joyanes, 2019); una de las razones son los frecuentes cambios o rotación que surge al interior de la compañía, ocasionando que los colaboradores se lleven consigo el conocimiento que habían gestado durante su estancia, lo cual pone en riesgo inminente la sostenibilidad. Mantener un nivel elevado de organizaciones sostenibles es importante, debido a que estas son fuentes de trabajo formal que garantizan una mejor calidad de vida para las personas y, además, por el gran impacto en la economía de las naciones, afectando el producto interno bruto.

Otro problema que se presenta en las organizaciones es que el conocimiento crítico se gesta de forma aislada; algunos colaboradores lo tienen, pero no lo comparten y, en algunos casos, debido a los cambios repentinos y la inestabilidad laboral, estas personas tienden a irse llevándose consigo el conocimiento y las buenas prácticas, lo cual es nefasto para las organizaciones. Esto también surge debido a la ausencia de plataformas de intercambio de



conocimiento, haciendo que este se encuentre disperso y se confunda el conocimiento crítico o de valor, con información poco relevante.

Desarrollo

Percepción del conocimiento en las organizaciones de hoy

Hoy en día, el conocimiento es de gran valor para las organizaciones, pues es la base de su sabiduría; sin embargo, pese a ello no se le da el tratamiento adecuado para su conservación y aprovechamiento; muchos procesos le otorgan poca importancia y, la información que generan no es llevada a un nivel de conocimiento estandarizado, compartido y disponible para la toma de decisiones empresariales.

El conocimiento se considera un elemento primordial, transversal y medular que interfiere en cada una de las áreas de la organización, características que lo hacen competitivo e innovador, por lo cual es esencial contar con herramientas pertinentes para su creación, transformación y transferencia, que faciliten el aprendizaje colectivo y aumenten el conocimiento en la organización y en sus interrelacionados. Entre los factores básicos se puede mencionar una cultura orientada en el conocimiento, disponibilidad de tecnologías de información y personas dispuestas a contribuir con el intercambio de conocimiento desde una organización en red, contribuyendo a la innovación sistémica y la cooperación entre empresas (Larios-Gómez, 2016; Calvo, 2018).

De acuerdo con Rodríguez (2015), la información y el conocimiento son la fuente para tomar decisiones orientadas a los cambios y a la adaptación de las organizaciones en los entornos complejos en los que se desarrollan; el propósito está vinculado con la minimización de riesgos, solución de situaciones problemáticas y el aprovechamiento de las oportunidades. Así mismo, el conocimiento en las organizaciones se percibe como aquel activo intangible y estratégico que permite obtener un desempeño favorable, además de crear ventajas competitivas sostenibles en el tiempo (Assafiri, 2019; Rodríguez, 2019).

Gestión del conocimiento

Desde este concepto se relaciona los procesos que permiten identificar, encontrar, clasificar y generar información de valor de manera eficiente y útil para la gestación de estrategias y la toma de decisiones pertinentes en tiempo y forma en las organizaciones; este conocimiento se forma gracias a las interrelaciones internas y externas de las empresas (Bermeo-Giraldo et al., 2020; Joyanes, 2019).

La gestión del conocimiento se fundamenta en todas las áreas de la organización, pues en todas hay transacción de conocimiento; es decir, información en un contexto, complementada con la experiencia del usuario, la cual es útil para tomar decisiones eficientes y crear estrategias, nuevos productos, servicios,



métodos de trabajo, modelos de negocio (Vásquez-Sánchez y Larios-Gómez, 2020; Joyanes, 2021).

Desde la literatura se señala varias etapas del proceso del cual se vale el modelo de gestión del conocimiento; algunos documentos describen más fases que otros, pero, en general, la mayoría comparten las mismas: captura, creación, transmisión y uso del conocimiento. Algunos autores hacen énfasis en etapas como modelado, la cual se fundamenta en observar resultados antes de ser aplicados, lo que garantiza un mejor uso del conocimiento al saber de antemano su impacto en los procesos. A continuación, en la Tabla 1 se presenta las etapas de la gestión del conocimiento con sus respectivos autores:

Tabla 1

Etapas del modelo de gestión del conocimiento, con sus autores y documento fuente para su elaboración

| Documento fuente | Propuesta por: | Etapas del modelo |
|---|--|--|
| Padilla-Ornelas y Martínez-Serna (2018) | Easterby Smith y Prieto (2008) | Capturar, elaborar, transmitir, almacenar, compartir |
| Padilla-Ornelas y Martínez-Serna (2018) | Bozbura (2007) | Entrenamiento – dirección (empleados), Políticas y estrategias (Gestión de conocimiento), Adquisición y captura (conocimiento externo), Efecto cultura organizacional. |
| Avendaño y Flores (2016) | | Identifica, crea, mantiene, mide |
| Avendaño y Flores (2016) | Wiig (1993) | Creación, captura, renovación, distribución, uso |
| Avendaño y Flores (2016) | Nonaka - Takeuchi (1995) | Creación, estructuración, transformación, transferencia |
| Avendaño y Flores (2016) | Angulo - Negrón (2008) | Socialización, creación, modelado, difusión aplicación |
| Avendaño y Flores (2016) | Busrelo - Amarilla (2001) | Gestión de la documentación, de la información, del recurso humano; medición de los activos intangibles |
| Rivera (2021) | Rivera Martínez - Canay Pazos (2019) | Generar, compartir, distribuir, gestionar la información |
| Rivera (2021) | Carolina Quiñonez - Wilfred Rivera (2021) | Crear, almacenar, distribuir, circular |
| Rivera (2021) | Agudelo y Valencia (2018); Pérez y Flores (2016) | Creación, importación, difusión, circulación, aprovechamiento. |



La puesta en marcha de la gestión del conocimiento, en palabras de Padilla-Ornelas y Martínez-Serna (2018), permite enfrentar los cambios del entorno con mayor competitividad, para lo cual es necesario contar con colaboradores preparados, capacitados, con el ánimo de compartir sus conocimientos; por ello, el conocimiento se considera un recurso intangible que da el toque diferenciador, pues es nutrido por la experiencia y formación de los integrantes de la organización, lo que sin duda repercute en el desempeño organizacional.

Los autores señalan tres etapas básicas para la gestión del conocimiento: creación, evolución y administración de conocimiento, generado y empleado al interior de la organización. Manifiestan que va de lo específico a lo sistémico; el proceso puede adquirir, organizar y comunicar conocimiento de valor, proporcionando mejores resultados, concepción de sistemático para la creación de valor que también comparte Pérez-Montoro (2016).

Para el éxito en esta gestión se requiere la integración del personal colaborativo, las tecnologías de la información y, por supuesto, la identificación de información de valor o conocimiento, para lograr la generación de conocimiento y luego llevarlo de un entorno individual al colectivo, con estrategias que apunten a ese fin. El entorno organizacional debe promover el aprendizaje interno desde fuentes internas y externas (Álvarez-Cedillo et al., 2020).

Evolución de la gestión del conocimiento

Los cambios son importantes, pero solo las organizaciones que se pueden adaptar rápido a ellos pueden seguir en la constante lucha de ser mejores y sostenibles en el tiempo. Actualmente, los medios de producción han cambiado, dejando atrás la concentración en la tierra, el trabajo y el capital, para dar lugar al conocimiento; es decir, la información que cada colaborador posee; y, la incluyen en sus labores organizacionales, con ayuda de tecnologías apropiadas para ello.

La gestión del conocimiento también ha sufrido una evolución; en sus inicios tuvo mucha acogida y logró un desarrollo, pero luego tomó una posición de estancamiento (Pérez-Montoro, 2016), según los indicadores de producción científica anual y el interés que ha despertado en las últimas décadas. El estudio del conocimiento surge después de la segunda guerra mundial con la obra de Kenneth Arrow; luego, a mediados de los años 90 se solidifica gracias a los avances de la tecnología de la información y comunicación.

El estudio del conocimiento inicia con dos pensamientos: por un lado, reconociendo a la organización como ente vivo con interacción dentro de un entorno y, por otro, como enfoque que la determina como entidad que procesa información. Luego, al fusionarse estos pensamientos, los resultados favorecieron a la organización, cuyo alcance va desde el desarrollo humano hasta la gestión de la información, pasando por los avances tecnológicos. Surgió en su inicio como auditoría de la información, vigilancia tecnológica, inteligencia competitiva o ecología de la información; y hoy, como gestión del



conocimiento. Gottschalk (2006, como se cita en Durango-Yepes y Quiroz-Carvajal, 2017) indica la evolución de las tecnologías para la gestión del conocimiento, como se resume en la Tabla 2:

Tabla 2

Evolución de las tecnologías para la gestión del conocimiento propuesta por Gottschalk

| Etapa | Tecnología |
|---|---|
| Soporte de tecnología de información para trabajadores | Procesamiento de textos, hojas de cálculo, correo electrónico |
| Información: fuente de conocimiento | Sistema de información que almacena información sobre quién sabe qué en el entorno interno y externo de la compañía |
| Información que representa el conocimiento | El sistema almacena lo que los trabajadores del conocimiento conocen en términos de información |
| Procesamiento de la información | El sistema de información usa la información para evaluar situaciones. |

Fuente: Gottschalk (2006, como se cita en Durango-Yepes y Quiroz-Carvajal, 2017).

Nivel de madurez de la estructura formal de la gestión del conocimiento

El nivel de madurez permite describir el proceso evolutivo de las iniciativas respecto a la gestión del conocimiento; ayuda a identificar en qué peldaño o escalón se ubican hoy las organizaciones que se someten a esta evaluación, de acuerdo con su capacidad y competencia.

Muchos autores proponen su metodología, fundamentada en una escala Likert y aplicada a un cuestionario de una cantidad determinada de variables, con lo que se determina la clasificación de las organizaciones (Durango-Yepes y Quiroz-Carvajal, 2017; De Freitas, 2018; Castellanos et al., 2021).

De forma general, la Tabla 3 relaciona los niveles de madurez con su porcentaje de avance para merecer esta categoría, lo cual se va adquiriendo de forma gradual, uno por uno.



Tabla 3

Niveles de madurez de la gestión del conocimiento

| Nivel | Descripción | Porcentaje |
|-------------------|---|----------------|
| Inicial | Poca o nula intención por la gestión del conocimiento. | 0 % - ≤ 10 % |
| Consciente | La organización ya es consciente de la necesidad de implementar la gestión del conocimiento; hace sus primeros intentos, aunque no tiene claro cómo proceder. | ≥10 % - ≤20 % |
| Definido | Ya existe una puesta en marcha infraestructura básica de la gestión del conocimiento. | ≥20 % - ≤ 45 % |
| Gestionado | La iniciativa de gestión del conocimiento ya está establecida; se refleja en todas o la mayoría de las áreas que integran la organización. | ≥45 % - ≤ 95 % |
| Optimizado | La gestión del conocimiento ya está plenamente integrada y hace parte del proceso de mejora continua. | ≥95 % = 100 |

Fuente: elaboración propia con base en las propuestas de Durango-Yepes y Quiroz-Carvajal (2017); De Freitas (2018); (Castellanos et al., 2021).

Cómo proceder a la gestión del conocimiento desde una estructura formal y estandarizada

El conocimiento humano es importante para los negocios y desarrollo en general dentro de un entorno social; además, permite mejorar el entorno organizacional desde la calidad, productividad, utilidades y gestión con clientes, logrando un nivel de sostenibilidad apropiado para permanecer a lo largo del tiempo en un estatus competitivo. Ahora bien, el reto para las organizaciones se centra en la captura y sistematización de ese conocimiento que se torna individual, complejo, subjetivo, originado en muchos casos por la intuición; su alineación con los procesos internos les permite ser más flexibles, lo cual ayuda a enfrentar mejor los cambios del entorno, llevando a las organizaciones a tener una capacidad de respuesta favorable (Padilla-Ornelas y Martínez-Serna, 2018).

Hacer frente a la crisis requiere de una gestión interdisciplinaria que integre modelos abiertos, permeables, condicionados a la influencia interna y externa, bajo un equilibrio entre la cantidad y la relación de las variables que lo integren, desde la identificación de valor del flujo de conocimiento, ya que una sola visión resultaría insuficiente y, no es propio de la complejidad que caracteriza



las organizaciones en el mundo turbulento en el que hoy se mueven; por lo anterior, es necesaria la interdisciplinariedad para la gestación y la distribución y uso del conocimiento como base de la toma de decisiones basada en hechos sustentados en conocimientos (Avendaño y Flores, 2016).

Es menester crear espacios colaborativos interdisciplinarios y transdisciplinarios que permitan la creación, desarrollo y divulgación del conocimiento desde el ámbito interno, para responder al entorno externo, desde donde también se adquiere conocimiento pertinente. El conocimiento debe estar al alcance de todos, para que las decisiones sean más eficientes, mediante el trabajo en equipos, el uso de la tecnología adecuada y la acumulación de experiencia de los integrantes. Es de reconocer que cualquier sistema de información o de conocimiento en un entorno estable funciona siempre bien, pero, al ingresar nuevas variables, entra en caos y, por ello, se ha de estar atento a los cambios internos y externos, extraer de ellos el conocimiento adecuado para reconocerlo y adaptarlo al proceso, lo cual indica que es necesario contar con procesos flexibles (Joyanes, 2021), con espacios que permitan no solo evidenciar las lecciones aprendidas, con charlas, historias de éxitos y foros que generen conocimiento, sino, conocer, documentar, compartir y capacitar en un entorno dinámico de gestión con miras a lograr una organización sostenible en el tiempo. Mediante el aprovechamiento del conocimiento para lograr las metas establecidas en el marco estratégico, esta transferencia de conocimiento debe estar presente en todos los roles de la organización, como un programa corporativo y con una visión transversal para asegurar el conocimiento clave.

Es esencial crear políticas y estrategias que faciliten la integración, desde modelos de desarrollo y aseguramiento del conocimiento; entre otras ventajas, se lograría minimizar el impacto por desvinculación. Las empresas deben velar por programas relevantes, con el propósito de que sus colaboradores compartan lo que saben, viendo el conocimiento como aquello por lo que cada uno se torna importante dentro de ellas.

El conocimiento organizacional se encuentra en los colaboradores internos y externos, además del ambiente en general y, la sostenibilidad parte del conocimiento bien aplicado, no visto como hecho, sino como un proceso constructivo y eficaz desde la aplicación de mejores prácticas en las que se requiere actualización y desarrollo del conocimiento, soportado en las competencias de sus empleados, para luego implementarlo y sistematizarlo en todas las estructuras de interés de la organización, ya sea de forma virtual o presencial. De manera externa, mediante foros, ferias y otros eventos interempresariales, también es una fuente de creación y actualización del conocimiento (Joyanes, 2019).



Barreras y ventajas de la gestión formal del conocimiento en las organizaciones

La implementación de la gestión del conocimiento en las organizaciones tiene sus ventajas, pero en el proceso también hay ciertas barreras o limitaciones que, a veces, no permiten un avance exitoso. La gestión de conocimiento incrementa el patrimonio intelectual de la organización y permite que se desarrolle como un sistema adaptable, con la capacidad de aprender y autorregularse mediante el intercambio y construcción del conocimiento, para lo cual es primordial contar con la participación activa y favorable del recurso humano, integrado con las tecnologías de la información, un buen flujo de comunicación y un excelente clima organizacional (Avendaño y Flores, 2016).

Se puede resaltar que el conocimiento crea una ventaja competitiva, dado que se considera raro, valioso e insustituible; todo ello permite crear valor y considerarse un activo inteligible que hace posible mejorar la calidad y productividad de los productos y servicios, la integración de los *stakeholders* mediante las buenas relaciones y la satisfacción de sus necesidades en tiempo y forma, contribuyendo a la gestación de una organización sostenible desde el conocimiento mismo, para saber responder al entorno. Ser sostenible lleva a generar calidad para la sociedad desde sus procesos internos, para brindar el servicio al cliente y a los colaboradores en general, calidad que se traduce en productividad y, como consecuencia, en utilidad (Padilla-Ornelas y Martínez-Serna, 2018; Bermeo-Giraldo et al., 2020).

Padilla-Ornelas y Martínez-Serna (2018) sostienen que, frente a las ventajas antes señaladas, existen elementos que no permiten un progreso en la gestión hacia la sostenibilidad y, básicamente, se basan en que la mayor dificultad está en la inestabilidad laboral, la rotación constante de los empleados, proveedores y hasta clientes, además de la ausencia de valor añadido por la experiencia.

Por su parte, Pérez-Montoro (2016) señala que dentro de las barreras se ubica la ausencia de apoyo de la dirección en el desarrollo de proyectos con estos fines, por lo cual tienden al fracaso; además, la falta de herramientas para la medición, evaluación y control del conocimiento para analizar y valorar los proyectos, la ausencia de una política o estrategia clara que potencialice esta labor y, por último, afirma que se ha malentendido este proceso, con el único uso de implantar tecnologías en la organización.

A continuación, se hace un resumen de las ventajas y limitaciones encontradas en las publicaciones de algunos autores consultados en esta investigación:



Tabla 4

Ventajas y limitaciones en el uso del modelo de gestión del conocimiento, con sus autores, año de publicación y título del documento

| Título del artículo | Autores | Año de publicación | Ventajas | Limitaciones |
|--|--|--------------------|--|--|
| Gestión de información y del conocimiento para la toma de decisiones organizacionales | Yunier Rodríguez Cruz | 2015 | Fortalece y eleva aspectos como la productividad, innovación, competencias de los colaboradores, aprovechamiento del conocimiento existente y aprendizaje continuo. | La gestión del conocimiento está limitada por la capacidad cognitiva de los individuos para la toma de decisiones, la cual es considerada una restricción organizacional. Además, agrega que la calidad del conocimiento es proporcional a la calidad de la decisión que se tome. |
| Modelos teóricos de gestión del conocimiento: descriptores, conceptualizaciones y enfoques | Víctor Avendaño Pérez y Matilde Flores Urbáez | 2016 | Mejora el proceso de innovación | Identificar y hacer uso de la estrategia para la conversión del conocimiento que reside en la mente de los colaboradores es patrimonio intelectual de la organización, con el fin de optimizar el proceso de toma de decisiones, las operaciones, la ejecución de estrategias y el logro de los objetivos. |
| Gestión del conocimiento y su influencia sobre el desempeño organizacional en las empresas de Aguascalientes | Patricia Janet Padilla-Ornelas - María del Carmen Martínez-Serna | 2018 | El desempeño de las organizaciones frente a la gestión del conocimiento está condicionado por una cultura capaz de garantizar políticas y estrategias que entrenen a los empleados y, en efecto, mejore el desempeño organizacional. | Empleados negados a compartir su conocimiento. |



Por qué propiciar dinámicas que aporten a la sostenibilidad organizacional

La importancia de esta integración de dinámicas radica en que el mundo avanza de forma muy rápida y con él, las situaciones que arrojan todo el entorno empresarial, llevando a las organizaciones a entornos complejos y volátiles que deben estar atentos para mantenerse activos y contribuir a la minimización de impactos desfavorables tanto a nivel social y ecológico, como económico (González et al., 2020).

La gestión del conocimiento logra un equilibrio entre el aquí y el después en una organización; es decir, permite tener una formación adecuada que será de gran utilidad para enfrentar futuras crisis o cambios tecnológicos, socioculturales, demográficos, organizativos, lo que constituye una crisis que reduce la capacidad o nivel competitivo de la empresa y pone en riesgo su sostenibilidad; con ello, se puede afectar la estabilidad laboral y la dinámica económica de la región, por lo cual se debe propiciar dinámicas como gestión de cambios desde el conocimiento. Para la minimización de los impactos es pertinente garantizar la sostenibilidad de las organizaciones; toda esta gestión se va dinamizando gracias al avance y disponibilidad de las tecnologías de la comunicación (Avendaño y Flores, 2016).

Las ventajas sobre la sostenibilidad son relevantes, como expresa Rodríguez (2015); desde la gestión del conocimiento se facilita el conocimiento transmitido entre los que parten y permanecen en las organizaciones; reduce sustancialmente la pérdida de la memoria corporativa; además, permite identificar los elementos y áreas críticas del conocimiento; esto ayuda a saber qué conocimiento se tiene, cómo se aplica y la razón de su aplicación, en caso que se requiera si se debe actualizar o no, todo ello al alcance de toda la organización, con el fin de fortalecer el capital intelectual de la misma.

Sostenibilidad organizacional

Las empresas que llevan más de 100 años de actividad son conocidas en Japón como *Shinise*, caracterizadas por ser multigeneracionales, adaptadas a los diversos cambios a través del tiempo, evolucionando para responder de forma eficiente. Su objetivo se sustenta en el querer mantenerse, más no llegar a un nivel de gran negocio a causa del dinero; su interés está en pequeños incrementos sostenibles sobre grandes avances en cuestión de ganancias; se basan en un fundamento social donde se integra empresa y comunidad (Sarmiento, 2022).

Ser sostenible requiere tener buenas relaciones con colaboradores, proveedores, accionistas y demás *stakeholders* de la cadena de valor, además de registrar y estandarizar las buenas prácticas tanto internas como externas; el *benchmarking* es una buena estrategia para conocer la competencia, pero, más allá de conocerla, reconocer lo bien que hace adaptarlo al proceso interno. Todas las prácticas organizacionales tienen efecto directo sobre las tres variables fundamentales de la sostenibilidad: económica, social y



medio ambiental, por lo cual todas las relaciones deben estar enmarcadas en salvaguardar estos factores que permitirán una mejor proyección a lo largo del tiempo (Garzón e Ibarra, 2014).

Esta construcción de conocimiento se solidifica al crear espacios de participación activa de los empleados y al llevarlos a entornos de creación, comparación, compartir, transmitir su conocimiento al resto de la organización; así es como se va gestando esa identidad y cultura. La empresa, al tener control del conocimiento, se pone en riesgo cuando un empleado decide retirarse, pues ya habrá captado el conocimiento frente al proceso o labor que desempeñaba y, será la base para que el nuevo integrante, dentro de sus posibilidades, realice mejoras que deben ser capturadas, implementadas, transmitidas y guardadas; esto permite que las organizaciones se mantengan, pues, al saber cómo actuar debido a esas experiencias, se tornará más fácil su gestión.

Cómo afecta la gestión del conocimiento a la sostenibilidad organizacional

La gestión del conocimiento, al ser una práctica que está bien fundamentada en las relaciones con los colaboradores, como lo conciben las organizaciones japonesas, que son las líderes en longevidad, tienen por filosofía, dos pilares fundamentales para mantenerse sostenibles en el tiempo: el primero, brindar un servicio o producto con calidad; el segundo, dar prioridad a los colaboradores, que son los que hacen posible obtener la calidad del producto o servicio ofrecido, lo cual tiene un impacto o reconocimiento en la sociedad (Sarmiento, 2022).

El apalancamiento de estructuras flexibles con el uso de recursos tecnológicos y de comunicación que descentralizan la toma de decisiones, conlleva un entorno constante de formación y actualización mediante el correcto intercambio de conocimiento, en ayuda de una cultura o filosofía de cooperación y comunicación horizontal, lo que facilita la percepción y acción oportuna respecto al análisis de los cambios que surgen en la realidad interna y externa del día a día en las organizaciones; esto genera un producto rico en innovación, desde la coordinación, planeación, práctica y autonomía en las decisiones, afectando positivamente los procesos, flujo de comunicación e integración de equipos multidisciplinarios, sinergia que se convierte en la base para la sostenibilidad organizacional en el tiempo (Avendaño y Flores, 2016).

Hacer las cosas bien, estandarizar las prácticas, diseñar procesos flexibles, atender los cambios y dejarlos registrados al interior de la organización, permite ganar destreza y maestría en los procesos, al igual que, sostenibilidad. Como se establece en la filosofía japonesa, es fundamental dejar un legado a los sucesores; de allí que el conocimiento debe ser bien atendido, desde su captura e interpretación, para luego transmitirlo, actualizarlo y guardarlo hasta que requiera una nueva modificación, ya que este es dinámico y adaptable en el tiempo (International Standardization Organization, 2018).



Material y Método

Para el desarrollo de esta investigación se efectuó la recolección de datos necesaria para proceder con el análisis sistémico de la gestión del conocimiento y conocer su impacto frente las organizaciones; para ello fue necesario hacer uso del software IThink 8.0 mediante el cual se creó un modelo sistémico con las variables que se consideró importantes, de acuerdo con la búsqueda de información, resaltando los pasos del proceso y su interrelación con las variables encontradas. De igual forma, se desarrolló un modelo de gestión sistémica del conocimiento como fuente generadora de la sostenibilidad empresarial.

Por otro lado, se extrajo información sobre los pasos relevantes que integran el proceso de gestión del conocimiento, resumidos mediante una matriz en la que se relaciona: nombre de la organización, sector, elementos relevantes, años de vigencia en el mercado; ventajas y limitaciones que se presentan en la gestión del conocimiento, considerando nombre del artículo, año de publicación y su autor.

Por último, se describe la propuesta metodológica para gestionar el conocimiento en las organizaciones desde una estructura formal apoyada en la Norma ISO 30401 de 2018, en la que se especifica: objeto, alcance, pasos y recomendaciones de uso, con miras a fortalecer la sostenibilidad empresarial.

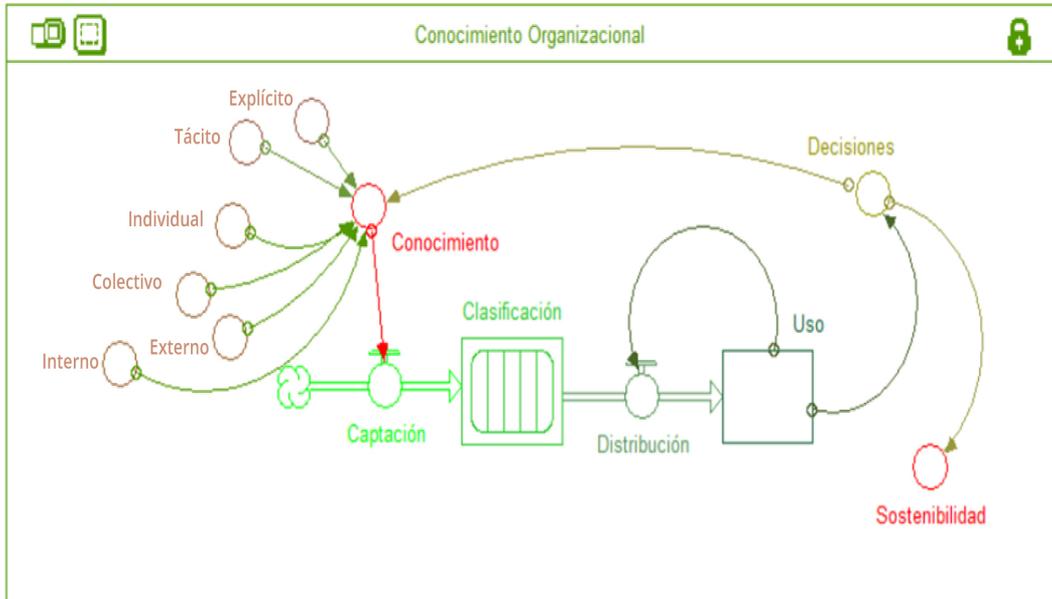
Resultados

De acuerdo con la búsqueda literaria, se infiere que el impacto de la gestión del conocimiento sobre la sostenibilidad de las organizaciones es significativamente influyente, lo cual se debe a su efecto positivo desde la excelencia operacional de los procesos, el liderazgo y el compromiso de sus directivos a lo largo de la cadena de mandos, la satisfacción del cliente por atender sus necesidades en tiempo y forma, conllevando el logro financiero de la organización, además de su estabilidad y buen renombre en el sector.



Figura 1

Modelo sistémico de la gestión del conocimiento como factor dinamizador de la sostenibilidad empresarial



Fuente: elaboración propia.

La integración del conocimiento imparte un alto grado de identidad, permitiendo su longevidad y sostenibilidad en el tiempo, creándose como un legado para las futuras generaciones, aunque no se debe descartar que el mayor reto es lograr llevar los conocimientos individuales a que hagan parte del colectivo organizacional.

Como se representa en la Figura 1, la organización capta conocimiento del entorno interno y externo, individual o colectivo; este puede ser tácito (subjetivo e individual o personal) o explícito (organizado y estructurado). Luego de ser capturado se clasifica; esto es, se extrae el conocimiento de valor, se carga y almacena o guarda, para ser distribuido ante un uso determinado, cuando se requiera para tomar una decisión, lo cual impacta la sostenibilidad, por ser decisiones basadas en información ya tratada y con valor (conocimiento) para usarse sabiamente; además, estas decisiones afectan el mismo conocimiento, puesto que este es dinámico y se va modificando o actualizando con el paso del tiempo, por lo que algo va quedando obsoleto en el sistema y, desde la clasificación se va haciendo la respectiva mejora, de tal modo que siempre se tenga conocimiento con valor y vigente.

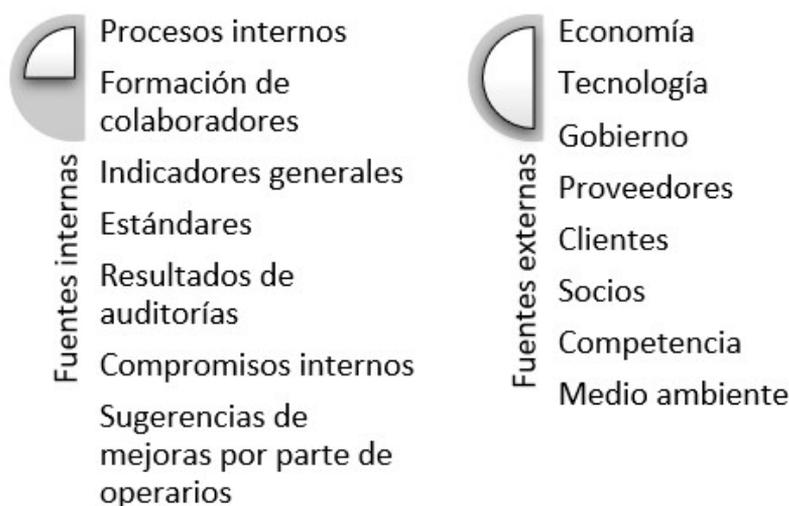
Es necesaria la implementación de sistemas de gestión del conocimiento para mejorar las cifras de esperanza de vida corporativa, la cual era en promedio, de 30 a 35 años en los años 70 y se pronostica que será de tan solo entre 15 y 20 años promedio para 2025 (Sarmiento, 2022). Como propuesta para iniciar



en la gestión del conocimiento, se lista cinco pasos a seguir, con el propósito de que la organización sea sostenible en el tiempo, iniciando con la identificación del nivel de madurez en el que se encuentra y, según su resultado, proceder con los pasos que a continuación se describe:

Figura 2

Variables internas y externas que interactúan con las organizaciones



Por lo tanto, es necesario:

1. Conocer el entorno; es decir, identificar fuentes internas y externas de la organización, que proporcionen conocimiento sobre las variables de interés (Figura 2). Una herramienta válida para este análisis puede ser la matriz DOFA, el análisis de variables externas propuesta por Porter (2015) en su modelo de las cinco fuerzas, el análisis de macro variables de entorno externo e interno.
2. Comprender las necesidades de los *stakeholders*; es útil el uso de herramientas como análisis de influencia de ellos y, después, apoyarse en una matriz de responsabilidades RACI para conocer el grado de responsabilidad que se tiene con cada una de las partes interesadas, reconociendo su nivel de responsabilidad, consulta, aprobador o, si solo se emitirá informes respecto a los procesos correspondientes a la gestión del conocimiento, en este caso.
3. Determinar el alcance de la gestión: consiste en definir la dimensión de la aplicación del sistema; una ayuda puede ser el diagrama de procesos, que permite identificar los procesos de valor; con ellos se podría iniciar, luego se iría extendiendo a los demás procesos.
4. Identificar los procesos claves y sus relaciones entre sí.
5. Control, estandarización y divulgación de cambios en los procesos; es importante llevar una matriz de control de cambios; estos deben quedar grabados para luego socializarlos y, si se amerita, capacitar al personal para que haya claridad sobre su aplicación.



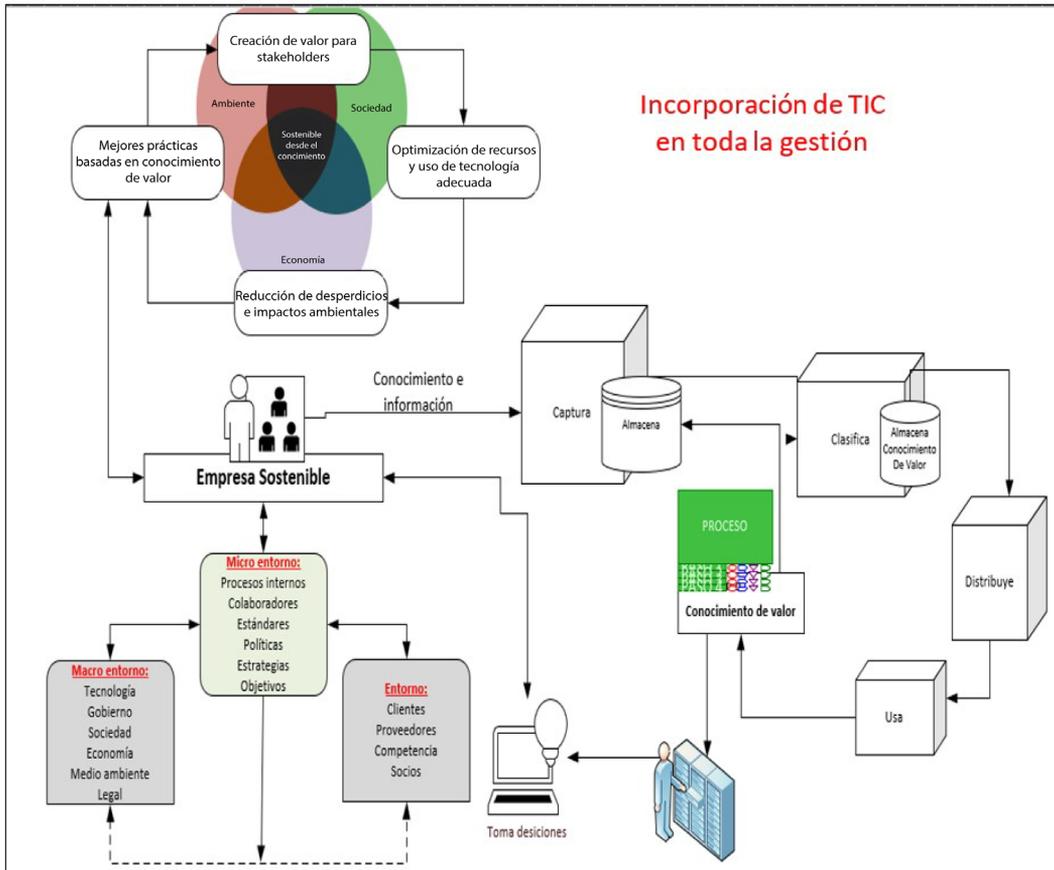
Al igual que, determinar el modelo que mejor se adapte a la necesidad de la organización, proponiendo depósitos de conocimientos, plataformas colaborativas, formación de redes de conocimiento y, todo ello vincularlo como una cultura que convierta en hábito la participación activa de los colaboradores, lo cual permitirá que fluya y se establezca el proceso en general que está dado por la captación, clasificación, intercambio, combinación, distribución, aplicación y uso del conocimiento necesario para mejorar el proceso de toma de decisiones, cuyo impacto luego se verá reflejado en la sostenibilidad de la organización.

Estas decisiones tienen un impacto sobre el mismo conocimiento del sistema y es que le permite evolucionar y aprender de las realidades; con el tiempo, una vez madure, tendrá la capacidad de autocontrol, autogestión y autoaprendizaje, y es lo que ayuda y contribuye a tener un comportamiento estable y una mejor capacidad de respuesta frente a las turbulencias del entorno en el que se desenvuelve; por ello se vuelve sostenible en el tiempo. Las organizaciones están inmersas en un macroentorno donde deben considerar variables como tecnología, gobierno, sociedad, economía, medios, instituciones legales que día a día legislan y generan cambios desde este suprasistema; ellas están rodeadas de un entorno inmediato integrado por sus clientes, proveedores, competencia, socios; estas variables deben cumplir con sus requerimientos, que son su fuerza o razón de ser; y, por último, su microentorno, determinado por los procesos, colaboradores, políticas, estrategias internas que ayudan a cumplir con los requerimientos y a dar las respuestas que espera su entorno. Estar atentos a sus cambios y dinámica permitirá cumplir con sus objetivos desde las dimensiones económicas, ambientales y sociales que describen de forma general una organización sostenible en el tiempo, como se observa en la Figura 3.



Figura 3

Modelo de gestión del conocimiento apto para la adecuación y sostenibilidad empresarial desde la integración del macro entorno, entorno y microentorno



Para lo anterior, es pertinente usar herramientas colaborativas como trabajo en grupo, video conferencias, gestión de proyectos, editores en línea, planificadoras, además de tecnologías de comunicación, almacenamiento y colaborativas para que esta labor se lleve a cabo de forma exitosa. Por último, la integración con sistemas de información construido por bases de datos, para gestión de clientes (CRM), gestión de la cadena de suministro (SCM), gestión de materiales (ERP), gestión de ciclo de vida de producto o servicio (PLM), integrando las nuevas tecnologías de *Machine Learning*, inteligencia artificial desde el aprendizaje de la organización.

Por su parte, la Norma ISO 30401 de 2018 proporciona un modelo general que arranca de cuatro puntos básicos: adquisición de nuevos conocimientos, aplicación del conocimiento actual, conservación del conocimiento actual y, gestión del conocimiento obsoleto o no válido, integrados con una cultura colaborativa basada en el liderazgo (International Standardization Organization, 2018).



Conclusiones y Discusión

En síntesis, toda empresa busca ser competitiva; una forma de lograrlo es inyectando estrategias en pos de la interdisciplinariedad, con una buena política de comunicación y colaboración activa entre las partes, que les permita intercomunicar todas sus áreas y alinearlas con el entorno externo. Estas comunicaciones y relaciones producen información de valor que, desde un contexto específico, puede ser un conocimiento pertinente para tomar decisiones eficientes; pero, la realidad es que, de todo ese conocimiento, entre un 80 y 90 % no se almacena, no se gestiona, no se tiene en cuenta para usarlo en acciones futuras.

Cuando no se tiene conciencia sobre el valor que otorga la gestión del conocimiento y su impacto en los resultados de las organizaciones, se afecta su condición de ser sostenible en el tiempo, por lo cual estas deben emprender una ruta hacia nuevas experiencias de aprendizaje, apoyadas en la cultura colaborativa centrada en el conocimiento individual dirigido al colectivo, ya que el conocimiento bien gestionado permite hacer uso de los recursos disponibles, convirtiendo recursos en capacidades útiles para la creación de valor.

Bajo este escenario, la ausencia del apoyo de la dirección en proyectos enfocados a la gestión del conocimiento, la cultura no orientada a la conservación del conocimiento, el alejamiento de entornos colaborativos y de participación donde se promueva la motivación para el desarrollo, conservación y difusión del conocimiento, crea un alto riesgo de que las organizaciones no sean sostenibles en el tiempo y que estén desprevenidas, con un alto grado de incertidumbre ante los cambios y, al no saber cómo actuar, tienden a desaparecer con el transcurrir del tiempo.

Agradecimientos

A Conacy y al Instituto Politecnico Nacional en ciudad de México, por el apoyo y facilitación de recursos para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al instituto y a la Universidad Mariana en Pasto, Colombia, por brindar estos espacios colaborativos y de expansión del conocimiento formal.



Referencias

- Álvarez-Cedillo, J. A., Aguilar-Fernández, M., Álvarez-Sánchez, T., García, B. y Patiño, J. (2020). La gestión del conocimiento en instituciones educativas. *RIDE, Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(21). <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.775>
- Assafiri, Y. (2019). *Procedimiento general para la gestión del conocimiento estratégico en las organizaciones*. Universidad de Matanzas.
- Avendaño, V. y Flores, M. (2016). Modelos teóricos de gestión del conocimiento: descriptores, conceptualizaciones y enfoques. *Entreciencias, Diálogos en la sociedad del conocimiento*, 4(10), 201-227. <https://doi.org/10.21933/J.EDSC.2016.10.181>
- Bermeo-Giraldo, M. C., Acevedo, Y., Palacios, L., Benjumea, M. y Arango-Botero, D. (2020). Evolución y tendencias investigativas sobre estrategias de gestión del conocimiento en instituciones de educación superior. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (60), 202-227. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n60a11>
- Calvo, O. (2018). La gestión del conocimiento en las organizaciones y las regiones: una revisión de la literatura. *Tendencias*, 19(1), 140-163. <http://dx.doi.org/10.22267/rtend.181901.91>
- Castellanos, J. E., Barrera, A. P., Vega, J. C., Medina, G. F., Acosta, J. C., Vargas, S. R., Mora, R., Torres, E. Y. y Carranza, C. E. (2021). *Modelo del nivel de madurez de la gestión del conocimiento para las organizaciones empresariales*. UNAD, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Sello Editorial.
- De Freitas, V. (2018). Modelo de madurez en sistemas de gestión del conocimiento, desde un enfoque holístico. *Revista Científica Electrónica de Ciencias Gerenciales*, (39), 5-31. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4885088>
- Durango-Yepes, C. M. y Quiroz-Carvajal, J. (2017). Evaluación de la madurez de la gestión de conocimiento en grandes empresas de Colombia: modelo exploratorio. *Pensamiento y Gestión*, (43), 39-65. <http://dx.doi.org/10.14482/pege.41.9704>
- Garzón, M. A. e Ibarra, A. (2014). Revisión sobre la sostenibilidad empresarial. *Revista de Estudios Avanzados de Liderazgo*, 1(3), 52-77.
- González, M. B., Pérez, R. y Perilla, R. B. (2020). Prospectiva, estrategia y sostenibilidad empresarial, trinomio clave en las organizaciones del futuro. *Revista Espacios*, 41(29), 172-187.



- International Standardization Organization. (2018). ISO 30401:2018. *Sistema de gestión del conocimiento: Requisitos*. International Standardization Organization.
- Joyanes, L. (2019). *Inteligencia de negocios y analítica de datos. Una visión global de business intelligence & analytics*. Alfaomega.
- Joyanes, L. (2021). *Sistemas de información en la empresa. El impacto de la nube, la movilidad y los medios sociales*. Alfaomega.
- Larios-Gómez, E. (2016). La gestión de la competitividad en la MIPYME mexicana: Diagnóstico empírico desde la gestión del conocimiento. *Revista de Administração da UNIMEP*, 14(2), 177-209. 10.15600/1679-5350/rau.v14n2p177-209
- Padilla-Ornelas, P. y Martínez-Serna, M. C. (2018). Gestión del conocimiento y su influencia sobre el desempeño organizacional en las empresas de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia*, 26(75), 55-65. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2018751770>
- Pérez-Montoro, M. (2016). Gestión del conocimiento: orígenes y evolución. *Profesional de la información*, 25(4), 526-534. <https://doi.org/10.3145/epi.2016.jul.02>
- Porter, M. (2015). *Estrategia competitiva. Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de competencia* (M. E. Rosas Sánchez, Trad.; 2.ª ed.). Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V.
- Rivera, W. F. (2021). Modelo de gestión del conocimiento para centros de productividad e innovación. *TELOS*, 23(2), 347-366. <https://doi.org/10.36390/telos232.09>
- Rodríguez, Y. (2015). Gestión de Información y del conocimiento para la toma de decisiones organizacionales. *Anales de Investigación*, (11), 150-163.
- Rodríguez, Y. (2019). Mejores prácticas para gestionar el conocimiento según la ISO 30401. *Signos*, 11(2). <https://doi.org/10.15332/24631140.5090>
- Sarmiento, A. (2022). *Cada generación tiene lo suyo: las empresas y el trabajo en un mundo de millennials y centennials*. Paidós Empresa.
- Vásquez-Sánchez, J. R. y Larios-Gómez, E. (2020). Panorama de la gestión del conocimiento en marketing en las mipymes mexicanas y colombianas. *Ide@s CONCYTEG*, 15(256), 35-45.



Capítulo 5

Diseño de software para evaluar la parte de hidrostática de mecánica de fluidos

Gabriel Santiago Alpala Valenzuela¹
María Fernanda Lucero Lucano²
Julisa Alejandra Rodríguez Alvear³

Cítese como: Alpala-Valenzuela, G. S., Lucero-Lucano, M. F. y Rodríguez-Alvear, J. A. (2023). Diseño de software para evaluar la parte de hidrostática de mecánica de fluidos. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 99-104). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c354>

Resumen

El proyecto se enfoca en la realización de un software educativo que sirva de apoyo para estudiantes y profesores, en cuanto al ámbito de aprendizaje y de la enseñanza. El desarrollo del software se centra en cuatro objetivos específicos que abarcan desde la teoría, ecuaciones y variables del capítulo de hidrostática de mecánica de fluidos, hasta el lenguaje de programación (JavaScript), diseño de la interfaz del programa y realización de un manual de uso. La estructura del proyecto se llevó a cabo en tres fases con parámetros necesarios para verificar que el producto se encuentre en perfecto funcionamiento (revisión, diseño, desarrollo).

Palabras clave: software; lenguaje de programación; JavaScript; hidrostática; mecánica de fluidos.

Design of software to evaluate the hydrostatic part of fluid mechanics

Abstract

The project focuses on the development of educational software to support students and teachers in the field of learning and teaching. The development of the software focuses on four specific objectives ranging from the theory,

¹ Estudiante. Correo: Gabrielsa.alpala@umariana.edu.co

² Estudiante. Correo: marilucero@umariana.edu.co

³ Estudiante. Correo: julisaal.rodriguez@umariana.edu.co



equations, and variables of the hydrostatics chapter of fluid mechanics, to the programming language (JavaScript), design of the program interface, and creation of a user manual. The structure of the project was carried out in three phases, with the parameters necessary to verify that the product is in perfect working order (review, design, development).

Keywords: software; programming language; JavaScript; hydrostatics; fluid mechanics.

Desenho de software para avaliar a parte hidrostática da mecânica dos fluidos

Resumo

O projeto se concentra no desenvolvimento de software educacional para apoiar alunos e professores no campo do aprendizado e do ensino. O desenvolvimento do software se centra em quatro objetivos específicos, que vão desde a teoria, as equações e as variáveis do capítulo de hidrostática da mecânica dos fluidos até a linguagem de programação (JavaScript), o design da interface do programa e a criação de um manual do usuário. A estrutura do projeto foi realizada em três fases, com os parâmetros necessários para verificar se o produto está em perfeito estado de funcionamento (revisão, projeto, desenvolvimento).

Palavras-chave: software; linguagem de programação; JavaScript; hidrostática; mecânica dos fluidos.

Introducción

Las aplicaciones de los principios de la hidrostática de mecánica de fluidos son vitales para comprender el comportamiento de los fluidos y sus propiedades, siendo esta una rama fundamental y necesaria para comprender la hidráulica (Tagliagamba, 2022). De todo ello se puede inferir la importancia que tiene el correcto aprendizaje de esta materia y su respectiva aplicación, pues ella no solo utiliza conocimientos científicos de una sola rama de la ciencia, sino diversos, para poder resolver ejercicios prácticos (Bunge, 1974).

Con el fin de contribuir a la enseñanza y práctica, el presente trabajo da a conocer los resultados de la investigación en la creación del software educativo; adicional a ello, se busca dinamizar el aprendizaje de la hidrostática, que abarca focos de estudio que podría considerarse confusos o monótonos, a través de una interfaz interactiva que contiene ejercicios prácticos y su respectiva explicación teórica. Es un programa desarrollado para ejecutarse en computadoras (programado en el lenguaje de JavaScript), solucionando la falta de un procedimiento cómodo y didáctico, adaptándose positivamente a las novedosas generaciones de forma que posibilite un buen asentimiento tanto de los alumnos como de los profesores.



Existen antecedentes de diseños de softwares para el diseño hidráulico, que fueron creados para ser introducidos a un curso de mecánica de fluidos, aplicación que sería ofrecida por internet. Este se diseña para aplicar la ecuación hidrostática, la pérdida de energía en las tuberías y la optimización de la red de tuberías (Li y Aung, 2022). Así mismo, existen aplicativos que son desarrollados en lenguaje de modelado de realidad virtual, a través de tres módulos, para ilustrar aplicaciones VRML⁴ tridimensionales basadas en la web. Estos módulos utilizan herramientas como VRML y JAVA para la interactividad y la visualización tridimensional completa, donde se despliega temas como la velocidad y el perfil de la temperatura de la mecánica de fluidos (Appanaboyina, 2003).

En el desarrollo del software enfocado en la simulación y solución de ejercicios dentro del área de hidrostática, la metodología que se busca trabajar es la de Inducción, puesto que la premisa es la lógica a razonar operaciones delimitadas en la programación del software. Esta estructura se lleva a cabo en tres fases, con los parámetros necesarios para verificar que el producto se encuentre en perfecto funcionamiento (revisión, diseño, desarrollo).

La Mecánica de Fluidos es una materia obligatoria para numerosos estudiantes de Ingeniería, dentro de la cual la hidrostática cumple como una herramienta de matemáticas avanzadas, combinando diversas áreas del conocimiento y de la mecánica, como la termodinámica y la transferencia de calor (Gamez-Montero et al., 2015); todo ello aumenta el grado de complejidad a la hora de estudiar su contenido, pero, sobre todo por la diversidad de conceptos abstractos o teóricos como la presión dinámica (Li y Aung, 2022). Esta materia es considerada por los estudiantes como un reto, con altos niveles de complejidad; es allí donde el profesor tiene un gran desafío para encontrar métodos de aprendizaje y enseñanza eficientes que corroboren la absorción del conocimiento.

Desarrollo

En el desarrollo del software enfocado en la simulación y solución de ejercicios dentro del área de hidrostática, la metodología que se busca trabajar es la de Inducción, dado que la premisa es la lógica a razonar operaciones delimitadas en la programación del software.

El procedimiento principal para sistematizar la recolección de información necesaria en la elaboración del software se efectúa con una delimitación y elección de las propiedades de los fluidos y la solución de sus problemas, al igual que el lenguaje de programación preciso para ser plasmado en un software interactivo con el usuario. Para esto se buscó una estructura de trabajo adecuada, con la finalidad de obtener un programa eficiente y de muy buena calidad, a través de la descripción de los elementos y actividades, con el fin de generar el entorno pedagógico, técnico y estético de un software educativo (García et al., 2016).

⁴ Virtual Reality Modelling Language



Revisión

En esta sección se realiza la parte teórico-bibliográfica del proyecto en fuentes masivas de información como buscadores de artículos científicos, libros, revistas ingenieriles, bibliotecas físicas y virtuales, en aras de organizar y relacionar la información confiable para el desarrollo y construcción del programa.

Es importante advertir que se seleccionó dos motores de búsqueda especializados: Google Scholar y Eureka, con el fin de expandir la información científica e indexada y así tener mayor proximidad a los resultados pretendidos en la presente investigación. Estos son motores de búsqueda enfocados en la indagación de contenido y bibliografía científico-académica indexados de editoriales, bibliotecas, repositorios, bases de datos bibliográficas, tales como Scopus, Web of Science, Scival, Acepremsa, Digitalia Hispana, Jstor, Mendeley, Oxford University Press, Pivot, E-book Academic, Bibliotechnia, Chemical Reviews, Times Higher Education, Journal of The American Chemical Society, entre otros.

Diseño

En este campo se requiere dividir el trabajo en dos secciones, para hacer un diseño teórico apoyado en JavaScript referente al cálculo de las propiedades y condiciones de los fluidos, pero también, se necesita un diseño interactivo del programa, que satisfaga el ámbito pedagógico de enseñanza, donde el complemento de cada uno ofrezca un producto nuevo, eficiente y completo.

Desarrollo

Con el fin de cumplir los objetivos establecidos, se puso especial atención en el diseño del software y la estructura pedagógica para desarrollar un producto de alta calidad que fuera funcional y útil para aprender sobre hidrostática.

Para construir el software se utilizó el framework 'React', que permite desarrollar aplicaciones web utilizando HTML, CSS y JavaScript; se comenzó por instalar y configurar React y se utilizó Bootstrap para definir los estilos del aplicativo (Irawan et al., 2021). También se utilizó Node JS y Git para respaldar las versiones del código y permitir su desarrollo en diferentes servidores.

La arquitectura del código se basó en el modelo-vista-controlador que permite trabajar con cada módulo de manera independiente, incluyendo la parte lógica, las páginas y los componentes. El código se desarrolló con Hook y se empleó el paradigma funcional, definiendo todos los componentes como funciones.

Para reutilizar gran parte del código, se definió componentes y páginas que fueron construidos a partir de la conjunción de varios componentes, como el título, los botones y los modales. Asimismo, se definió un 'layout' para gestionar las rutas de navegación.



Conclusiones

Con esta aplicación se desarrolló una interfaz interactiva de fácil manejo, que permite al usuario acceder y explorar las diversas opciones presentes en el menú, correspondientes a los distintos temas relacionados con la hidrostática de fluidos, que funciona acertadamente como una herramienta pedagógica y permite al alumno salir de la clase teórica tradicional y experimentar con herramientas interactivas, generando una mayor motivación; además, al hacer uso de esta tecnología, se facilita el trabajo independiente, lo que potencia la proactividad del alumno en su proceso y, la retroalimentación autónoma, configurando criterios más altos de aprendizaje en el alumnado.

Con el software JavaScript se logró la creación de diferentes interfaces en las cuales el estudiante podrá interactuar haciendo uso de diferentes botones, ventanas y juegos interactivos con las diferentes temáticas.

El software POSEHIDRON se creó con la ayuda de JavaScript; es capaz de resolver distintos ejercicios de diferentes dificultades (fácil, intermedio y difícil) relacionados con la hidrostática de mecánica de fluidos, además de tener incorporadas diferentes calculadoras de conversión de unidades, tales como: tiempo, longitud, masa, velocidad, aceleración, área, volumen, resolviendo estas conversiones en un tiempo corto, nada despreciable.

Referencias

- Appanaboyina, S. K. (2003). *Development of a VRML application for teaching fluid mechanics*. Lamar University-Beaumont.
- Bunge, M. (1974). Technology as Applied Science. En F. Rapp (ed.), *Contributions to a Philosophy of Technology*, (pp. 93-114). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-2182-1_9
- Gamez-Montero, P. J., Raush, G., Domenech, L., Castilla, R., Garcia-Vilchez, M., Moreno, H., & Carbo, A. (2015). Methodology for developing teaching activities and materials for use in fluid mechanics courses in undergraduate engineering programs. *Journal of Technology and Science Education*, 5(1), 15-30. <http://dx.doi.org/10.3926/jotse.135>
- García, E., Vite, O., Navarrate, M. Á., García, M. Á. y Torres, V. (2016). Metodología para el desarrollo de software multimedia educativo MEDESME. *CPU-e. Revista de Investigación Educativa*, (23), 216-226. <https://doi.org/10.25009/cpue.v0i23.2169>
- Irawan, A. J., Twince, F. A., & Surbakti, E. E. (2021). Implementation of gamification octalysis method at design and build a react native framework learning application. *2021 6th International Conference on New Media Studies (CONMEDIA)*, 118-123.



- Li, X. & Aung, J. Z. (2022). Incorporating simple classroom demo experiments to enhance teaching of fluid mechanics. *Proceedings of the 2010 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference, McNeese State University*. American Society for Engineering Education.
- Tagliagamba, S. (2022). Hydraulics in Renaissance Science. En Sgarbi, M. (ed.) *Encyclopedia of Renaissance Philosophy*, (pp. 1-10). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02848-4_931-1



Capítulo 6

Diseño de un brazo robótico asistencial para personas con discapacidad

Adrián Tapia¹
Guillermo Mosquera²
Christian Rueda³
Raúl Paredes⁴

Cítese como: Tapia, A., Mosquera, G., Rueda, C. y Paredes, R. (2023). Diseño de un brazo robótico asistencial para personas con discapacidad. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 105-121). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c355>

Resumen

En los últimos años, en el campo de la robótica la investigación se ha dedicado a la creación de sistemas robóticos asistenciales. Estos sistemas están relacionados con la terapia ocupacional, en la que un cuidador ayuda a los pacientes con discapacidad. Estas personas a menudo tienen dificultades para realizar actividades cotidianas como la alimentación, lo que las hace sentirse dependientes de otras personas. Debido a los avances tecnológicos, aparecen los manipuladores robóticos asistenciales, para ayudar en el manejo y cuidado de personas con discapacidad, fomentando la inclusión de tecnología dirigida a personas dependientes que sufren limitaciones severas.

En este documento se presenta el diseño, simulación y validación del funcionamiento de un brazo robótico asistencial con capacidad de reconocer la boca de un paciente y alimentarlo de manera apropiada. El brazo robótico cuenta con un sistema de visión artificial que permite la interacción humano-robot, lo que garantiza autonomía y utilidad para el usuario final. Además, se detalla los requerimientos previos para el desarrollo del brazo robótico y se realiza un estudio de factibilidad para su producción en masa. En conclusión, el brazo robótico asistencial puede mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad y promover la independencia en su entorno.

¹ Correo: thar103100@ute.edu.ec

² Correo: guillermo.mosquera@ute.edu.ec

³ Correo: andres.rueda@ute.edu.ec

⁴ Correo: raulv.paredes@ute.edu.ec



Palabras clave: robótica asistencial; discapacidad; alimentación; brazo robótico; visión artificial.

Design of an assistive robotic arm for people with disabilities

Abstract

In recent years, research in the field of robotics has been dedicated to the creation of assistive robotic systems, related to occupational therapy, in which a caregiver helps patients with disabilities, who often have difficulties in performing daily activities such as feeding, which makes them feel dependent on other people. Due to technological advances, assistive robotic manipulators appear, to help in the management and care of this kind of people, promoting the inclusion of technology aimed at those dependents who suffer severe limitations.

This paper presents the design, simulation, and validation of the operation of an assistive robotic arm capable of recognizing a patient's mouth and feeding him/her appropriately. The robotic arm has an artificial vision system that allows human-robot interaction, which guarantees autonomy and usefulness for the end user. In addition, the previous requirements for its development are detailed and a feasibility study for its mass production is carried out. In conclusion, the assistive robotic arm can improve the quality of life of people with disabilities and promote independence in their environment.

Keywords: assistive robotics; disability; feeding; robotic arm; artificial vision.

Desenho de um braço robótico de assistência para pessoas com deficiência

Resumo

Nos últimos anos, as pesquisas na área de robótica têm se dedicado à criação de sistemas robóticos de assistência, relacionados à terapia ocupacional, na qual um cuidador auxilia pacientes com deficiências, que muitas vezes têm dificuldades para realizar atividades cotidianas, como a alimentação, o que faz com que se sintam dependentes de outras pessoas. Devido aos avanços tecnológicos, surgem os manipuladores robóticos de assistência, que auxiliam no gerenciamento e no cuidado desse tipo de pessoas, promovendo a inclusão de tecnologia voltada para os dependentes que sofrem limitações severas.

Este artigo apresenta o projeto, a simulação e a validação da operação de um braço robótico de assistência capaz de reconhecer a boca de um paciente e alimentá-lo adequadamente. O braço robótico possui um sistema de visão artificial que permite a interação homem-robô, o que garante autonomia e utilidade para o usuário final. Além disso, são detalhados os requisitos prévios para seu desenvolvimento e é realizado um estudo de viabilidade para sua produção em massa. Em conclusão, o braço robótico de assistência pode melhorar a qualidade de vida das pessoas com deficiências e promover a independência em seu ambiente.



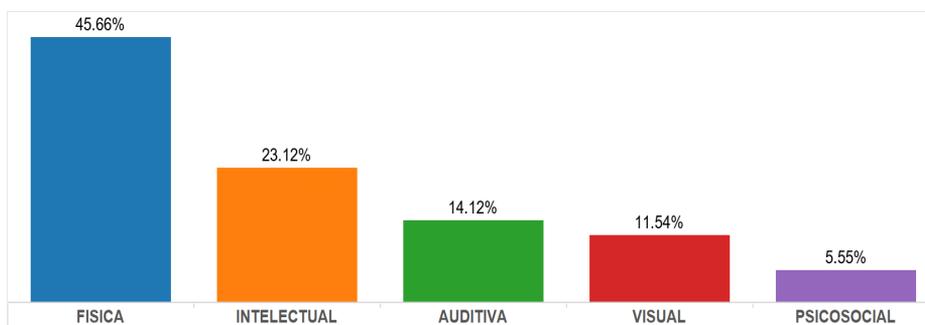
Palabras-chave: robótica de asistencia; deficiencia; alimentación; brazo robótico; visión artificial.

Introducción

El Ecuador es un país que cuenta con una población de 18 256 256 de habitantes, de los cuales 471 205 tienen un tipo de discapacidad; esto significa que el 2,58 % de la población tiene algún tipo de discapacidad. Del total de personas con esta condición, el 45,66 % sufre discapacidad física y el 23,12 % discapacidad intelectual, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Tipo de discapacidad

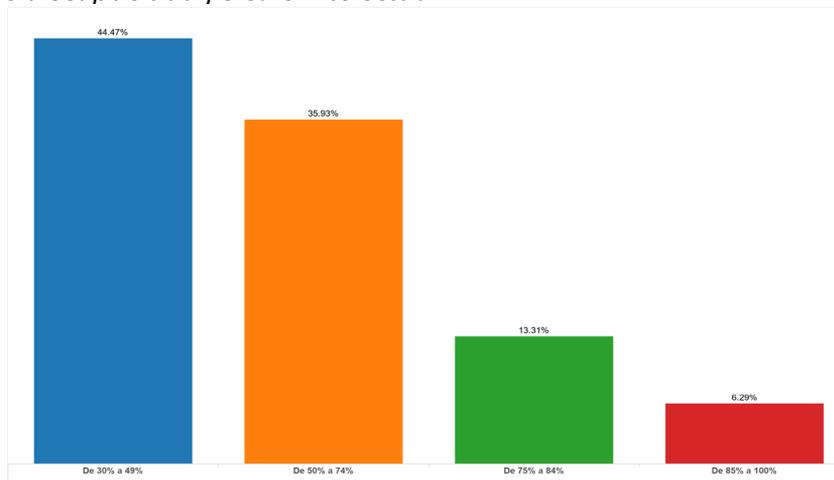


Fuente: Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS, 2022).

Del total de personas que cuentan con una discapacidad física o intelectual, en la Figura 2 se observa que el 13,31 % tiene un porcentaje de discapacidad entre el 75 % y 84 %, mientras que el 6,29 % tiene discapacidad entre el 85 % y 100 %.

Figura 2

Grado de discapacidad física e intelectual



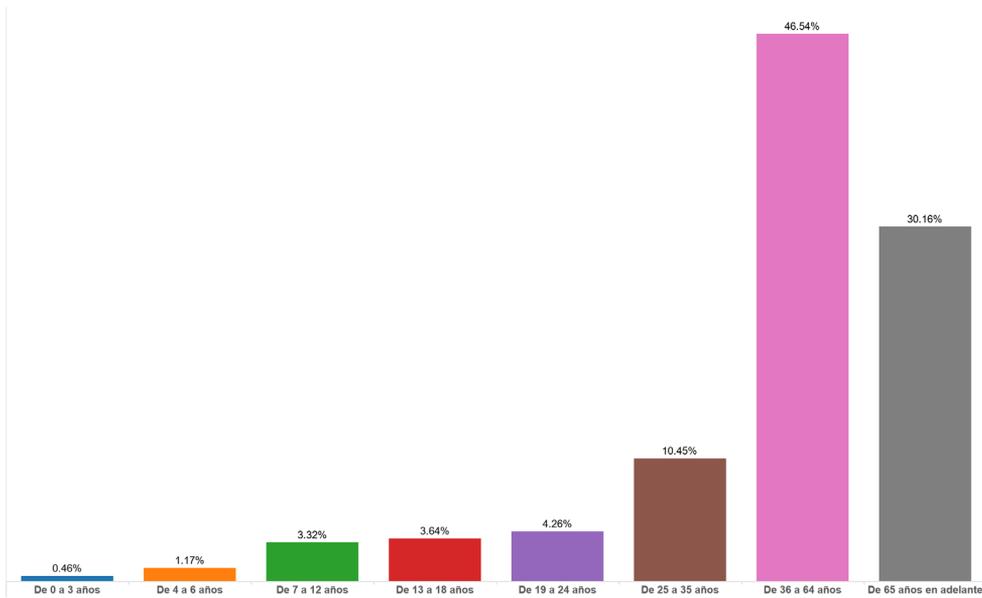
Fuente: CONADIS (2022).



En la Figura 3 se muestra que el grupo etario de 36 a 64 años se encuentra mayormente afectado.

Figura 3

Discapacidad por grupos etarios



Fuente: CONADIS (2022).

Esto demuestra la necesidad de desplegar tecnologías asistenciales para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad, por lo cual se decidió desarrollar un brazo robótico que fuera capaz de detectar la boca del usuario por medio de visión artificial, determinar la ruta y alimentarle de forma autónoma. Para realizar este proyecto se investigó algunos antecedentes, entre los cuales se cita:

Raptor

Es un brazo robótico montado en una silla de ruedas que cuenta con cuatro grados de libertad. Su diseño le permite alcanzar objetos situados sobre la cabeza del paciente, en una mesa o, incluso, recoger objetos del suelo. Es una herramienta muy útil para personas con movilidad reducida, ya que les permite realizar tareas cotidianas con mayor independencia y autonomía. Gracias a su precisión y versatilidad, puede adaptarse a diferentes situaciones y necesidades de los pacientes, mejorando así su calidad de vida y ofreciéndoles una mayor comodidad en su día a día (Fernández, 2013).

Neater Eater V6

Este brazo robótico es un dispositivo portátil diseñado para asistir a personas que tienen la capacidad de masticar y tragar en la ingesta de alimentos; ofrece



múltiples opciones de programas y se puede controlar desde una tableta, teléfono inteligente o una interfaz de pantalla táctil. El robot recoge la comida y la acerca a la boca en una posición preprogramada, con la opción de usar una cuchara o un tenedor; detecta el tamaño del plato y posee funciones para limpiar el exceso de líquido de la parte inferior de la cuchara o, vaciar el utensilio.

Puede trabajar tanto con sólidos como con líquidos, gracias a la versatilidad que le proporciona el plato circular. La posición elegida se mapea de forma manual y, se puede calibrar la posición del tenedor y el ítem en el plato para poder tomarlo. Es útil para personas que quieren disfrutar de una cena en un restaurante o en la comida diaria (Independent Living, 2017).

MySpoon

Es un brazo robótico asistencial diseñado en Japón, que puede ser utilizado para asistir a personas con discapacidad en la ingesta de alimentos; tiene la ventaja de poder utilizarse con diferentes tipos de alimentos que pueden ser preparados en casa, sin necesidad de paquetes especiales prefabricados. Además, cuenta con mandos intercambiables que permiten su adaptación a distintos tipos de discapacidades.

Tiene tres modos de funcionamiento: en el modo manual, el usuario selecciona el compartimento del que desea obtener la comida y el robot acerca la cuchara al alimento para que el paciente lo transporte hasta su boca. En el modo semiautomático, el paciente solo selecciona el compartimento, mientras que el robot realiza el resto de las acciones de forma automática. En el modo automático, el robot realiza todas las acciones de forma automática a partir de la secuencia preprogramada iniciada con un botón.

Puede ser utilizado con una amplia variedad de alimentos como: arroz, pollo frito, salsas, huevos revueltos, frutas, postres, vegetales revueltos, ensaladas, tofu, mermelada y tallarines. El robot cuenta con compartimentos específicos para cada uno de estos alimentos, lo que permite una disposición ordenada y segura de los mismos.

En resumen, es un robot asistencial diseñado para ayudar a personas con discapacidad en la ingesta de alimentos. Su diseño permite su adaptación a distintos tipos de discapacidades y, cuenta con tres modos de funcionamiento que permiten al usuario seleccionar el grado de control que desea tener sobre el robot. Además, puede utilizarse con una amplia variedad de alimentos, lo que lo convierte en una herramienta muy versátil para su uso en el hogar (SECOM CO., LTD., 2007).

Los objetivos específicos para el desarrollo apropiado del proyecto fueron:

- Determinar los grados de libertad que debe tener el brazo robótico para que pueda cumplir con las tareas requeridas.



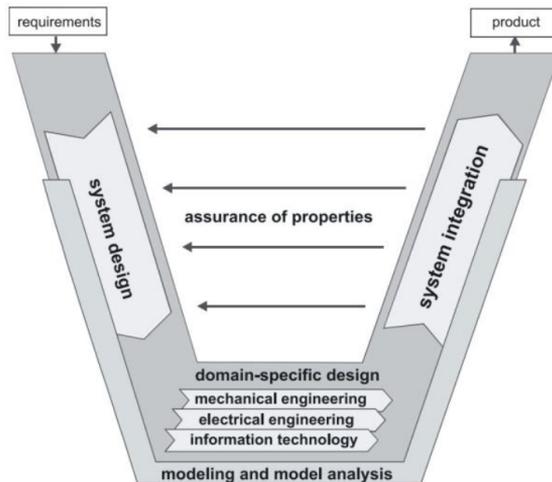
- Determinar las longitudes necesarias para los eslabonamientos, con la finalidad de que el manipulador alcance la boca del paciente.
- Definir las coordenadas de posición de la boca en el plano XZ, utilizando para ello el software MATLAB.
- Hallar los ángulos a los cuales deben ser movidos los eslabones, utilizando cinemática inversa.
- Diseñar el sistema articulado del brazo robótico mediante el uso de herramientas CAD para su posterior simulación.

Desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la metodología mecatrónica basada en el modelo en V, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Metodología Mecatrónica



Fuente: Verein Deutscher Ingenieure (2004).

Para definir los requisitos que debe cumplir el brazo robótico, se ha tenido en cuenta varios factores, como el alcance máximo, la facilidad de montaje y portabilidad y, la disponibilidad de suficientes grados de libertad para un óptimo desempeño. Es importante que el paciente tenga control en los movimientos, al menos de su cuello y boca, para completar la operación de alimentación. En cuanto al diseño general, se ha establecido cómo está constituido el sistema y los elementos que lo conforman, así como el comportamiento del brazo robótico al estar en funcionamiento.

El diseño específico consta de tres etapas concurrentes:



- **Diseño mecánico:** en esta etapa se determina el modelo matemático que mantendrá la relación de posición de todos los eslabones del brazo robótico respecto a un eje de coordenadas absoluto. También se establece la dimensión de los eslabones para su posterior modelado con herramientas CAD.
- **Diseño eléctrico y electrónico:** se analiza cómo energizar los actuadores que forman parte del brazo robótico, así como el envío de las señales de control que permiten el posicionamiento correcto del efector final y su respectiva alimentación.
- **Diseño de control:** se configura un sistema de visión artificial que permita al robot identificar la boca del paciente. Es indispensable determinar el algoritmo más apropiado que facilite reconocer la boca del paciente y calcular las coordenadas en el plano XZ. Además, se debe obtener el modelo matemático que represente el brazo robótico con los grados de libertad definidos posteriormente.

Después, se integrará los diferentes modelos y algoritmos, tanto matemático como de visión artificial y CAD por medio de una plataforma informática, para analizar su comportamiento y detectar incompatibilidades entre los elementos que conforman el sistema. Finalmente, se comprobará el cumplimiento de requisitos determinados y, como producto, se establecerá un prototipo de un brazo robótico validado que cumpla con los requerimientos definidos al inicio del proyecto.

Definición de requerimientos:

- Antes de realizar el movimiento de entrega de comida, el sistema de visión artificial debe detectar la boca del usuario, con la finalidad de acercarse de forma segura a la boca de este.
- La superficie de trabajo debe ser plana, horizontal y nivelada.
- El área máxima de trabajo del brazo robótico no debe ser mayor a 0.4 m².
- La longitud del brazo robótico no debe ser superior a 800 mm de longitud, considerando esta medida desde el hombro hasta el elemento que entra en contacto con el usuario (cuchara, tenedor).
- Debido a que la función del brazo robótico es alimentar al usuario, la carga máxima no debe superar los 10g.
- El tiempo de respuesta del robot debe ser menor a cinco segundos desde que recibe las coordenadas de la boca hasta que entrega el alimento al usuario.

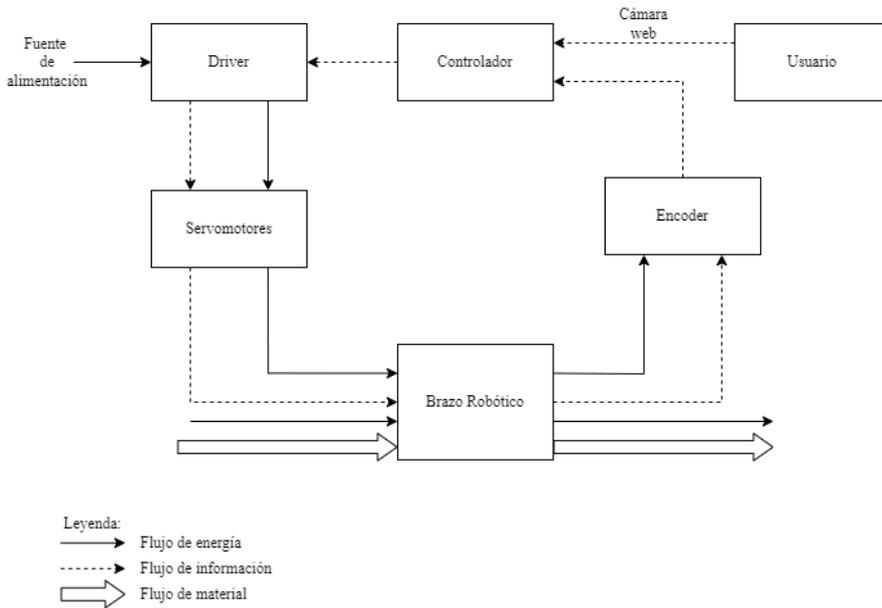
Diseño Conceptual

En la Figura 5 se presenta el concepto del robot asistencial, el cual representa los elementos que forman parte del sistema y la relación que existe entre ellos.



Figura 5

Concepto Brazo Robótico Asistencial



El sistema básico está compuesto por el brazo robótico, considerando solo sus eslabones de la cadena cinemática, además de la mesa que contiene los espacios donde son ubicados los alimentos. Para medir las posiciones de cada uno de los servomotores se utiliza *encoders*. La cámara web se encarga de capturar la imagen. La información adquirida tanto por los sensores como por la cámara web es enviada al controlador, el cual se encarga de procesar la información y determinar las acciones de control. La imagen determina la posición de la boca, con lo cual envía las instrucciones a los servomotores (Nicieza y Taverna Hnos., 2020).

Las instrucciones de control pasan por el *driver*, el cual también gestiona la energía de la fuente de alimentación. Esta energía e información llegan a los servomotores, los cuales se encargan de ejecutar las acciones de control para llegar a las coordenadas establecidas.

Diseño específico

Se estableció realizar el prototipo por medio de la herramienta de prototipado rápido de impresión 3D. En la Tabla 1 se muestra los materiales de impresión 3D que más se utiliza para este tipo de aplicaciones. Debido a que el Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) es el material con la menor densidad, fue seleccionado para la fabricación de los elementos del brazo robótico. Sin embargo, para el plato y la cuchara se escogió el Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG), debido a que el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) (Guerra, 2020), indica que uno de los materiales aceptados para este fin es el Tereftalato de polietileno (PET).



Tabla 1

Comparación densidad de materiales

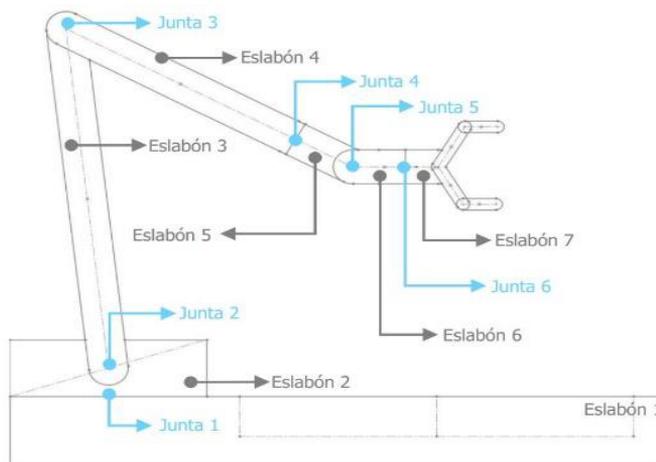
| Material | Densidad (g/cm³) |
|--------------------------------|------------------------------------|
| PLA (<i>Polylactic Acid</i>) | 1.24 |
| ABS | 1.05 |
| PETG | 1.27 |

Fuente: Nicieza y Taverna Hnos. (2020).

Según Corke (2017), un brazo robótico que tenga seis grados de libertad (GDL) puede alcanzar cualquier posición dentro de su área de trabajo y, es la forma más común para aplicaciones industriales. Debido a esto, se ha decidido que el brazo robótico en cuestión tenga seis grados de libertad, lo cual se puede observar en la Figura 6, que muestra tanto el número de eslabones como el de juntas.

Figura 6

Estructura del brazo robótico



Fuente: Tapia (2017).

Según Norton (2013), el cálculo del grado de libertad para mecanismos espaciales se logra al extender el concepto de Gruebler a tres dimensiones, lo que conduce a la ecuación de movilidad de Kutzbach para eslabonamientos en el espacio.



Ecuación de movilidad de Kutzbach:

$$M = 6(L - 1) - 5J_1 - 4J_2 - 3J_3 - 2J_4 - J_5$$

...donde:

M = movilidad del sistema

L = número de eslabones que componen la cadena cinemática

J_i = número de grados que eliminan la junta.

Puesto que ninguna junta tiene más de un grado de libertad, todas las juntas con subíndice dos y superiores, son igual a cero; por lo tanto:

$$L = 7$$

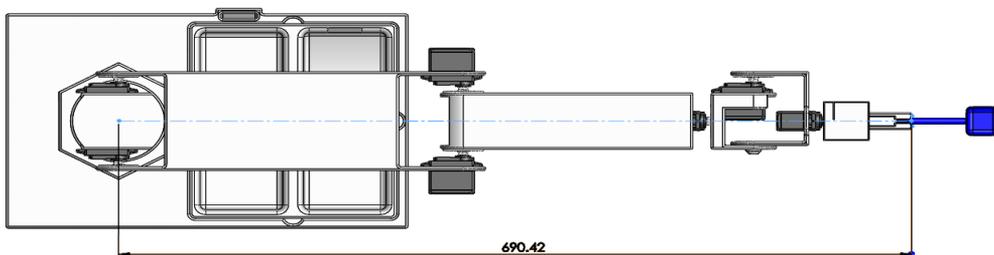
$$J_1 = 1$$

Reemplazando los valores en la ecuación de Kutzbach, se obtiene como resultado seis grados de libertad. Con base en este resultado, se define que el brazo robótico debe tener siete eslabones.

Se consideró la longitud promedio del brazo de una mujer y un hombre en un rango de edad de 18 a 65 años (686mm y 748mm, respectivamente), como base para determinar la longitud total del brazo robótico, como se muestra en la Figura 7. Estos datos fueron obtenidos de un estudio realizado en México por un grupo de investigadores del país (Ávila-Chaurand et al., 2007)

Figura 7

Extensión máxima del brazo robótico



Fuente: Tapia (2007).

El diseño del brazo mecánico se basa en la regulación ISO 13482, que establece los estándares de seguridad para los robots de asistencia personal. Según esta normativa (Tapia, 2017), estos robots se definen como de cuidado personal y su potencia es significativamente menor en comparación con los robots utilizados



en la industria o la manufactura. Además, no requieren una gran precisión y son usados por usuarios en entornos no estructurados para realizar tareas específicas o una variedad de tareas. La mayoría de estas tareas implican la interacción y el contacto con humanos y se consideran asistentes para uso en el hogar (Virk y Cameron, como se cita en Gonçalves et al., 2014).

Dentro del diseño se realizó el dimensionamiento de los torques de los servomotores que impulsan el movimiento de los eslabones del brazo robótico; para esto se utilizó la fórmula de torque dinámico equivalente de la segunda ley de Newton:

$$\sum \tau = I * \alpha$$

...donde:

I = inercia del elemento

α = aceleración angular

Para los cálculos considerados los casos más extremos, se tomó en cuenta cada grupo de eslabones completamente extendidos. La Tabla 2 permite ver los resultados obtenidos para la selección de los servomotores de la cintura, hombro y codo.

Tabla 2

Selección de servomotores (articulaciones 1 a 3)

| Articulación | Cintura | Hombro | Codo |
|---|----------------|---------------|-------------|
| Torque calculado necesario (kg-cm) | 0.36 | 29.02 | 8.64 |
| Marca Servomotor | Hitec | Hitec | Hitec |
| Modelo Servomotor | HS-311 | HS-5585MH | HSR-2645CR |
| Torque entregado por Servomotor (kg-cm) | 3 | 17 | 8 |
| Número de Servomotores | 1 | 2 | 2 |
| Torque total disponible (kg-cm) | 3 | 34 | 16 |

Fuente: Tapia (2017).

Los resultados obtenidos para la selección de los servomotores de la muñeca 1, muñeca 2 y *gripper* se presentan en la Tabla 3.



Tabla 3

Selección de servomotores (articulaciones 4 a 6)

| Articulación | Muñeca 1 | Muñeca 2 | Gripper |
|---|------------|------------|------------|
| Torque calculado necesario (kg-cm) | 1.11E-03 | 1.57 | 2.14E-05 |
| Marca Servomotor | Hitec | Hitec | Hitec |
| Modelo Servomotor | HSR-1425CR | HSR-1425CR | HSR-1425CR |
| Torque entregado por Servomotor (kg-cm) | 2.8 | 2.8 | 2.8 |
| Número de Servomotores | 1 | 1 | 1 |
| Torque total disponible (kg-cm) | 2.8 | 2.8 | 2.8 |

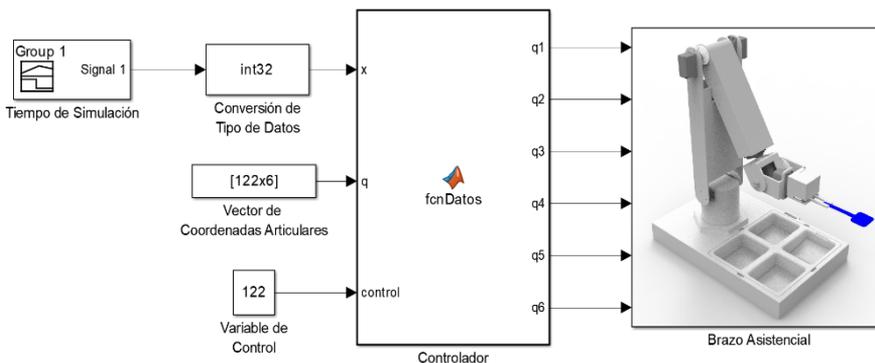
Fuente: Tapia (2017).

Se ha implementado un sistema de reconocimiento facial, utilizando tecnología de visión artificial para localizar las coordenadas de la boca de una persona. Este sistema permite al ordenador comparar la posición actual de la boca con su ubicación objetivo, utilizando la cinemática directa e inversa, respectivamente. Para detectar la boca de manera precisa, se utilizó el algoritmo Viola-Jones, que forma parte de la librería de MATLAB (The Mathworks, Inc., 2017).

Dentro de la herramienta Simulink se realizó la integración de los diferentes elementos del brazo robótico, para poder realizar las pruebas y verificar el funcionamiento del sistema. Se integró el modelo CAD del sistema en conjunto con el controlador, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Integración brazo robótico



Fuente: Tapia (2017).



Resultados

Se efectuó pruebas del algoritmo de reconocimiento de la boca bajo diferentes condiciones de luz natural y artificial. Los parámetros fueron ajustados para abordar los problemas de reconocimiento de la boca en diferentes características faciales y accesorios como lentes o barba en varones. El algoritmo Viola-Jones funciona correctamente, siempre y cuando el eje vertical de la cara forme menos de 18° de inclinación respecto a la vertical; caso contrario, no reconocerá la boca como una característica facial, debido a una configuración predeterminada del algoritmo. En la Figura 9 se presenta el reconocimiento de la boca utilizando el algoritmo.

Figura 9

Reconocimiento de boca a contraluz



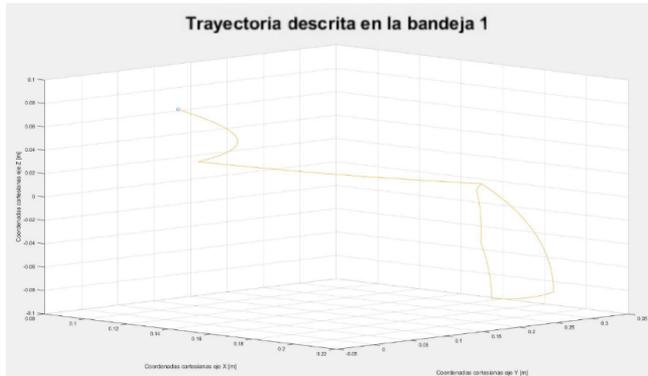
Fuente: Tapia (2017).

La Figura 10 muestra el recorrido que sigue el extremo del robot en el espacio para realizar los movimientos requeridos en la bandeja 1, donde se encuentra la sopa que se debe recoger, con el fin de evitar que el líquido se derrame.



Figura 10

Trayectoria seguida para recoger sopa

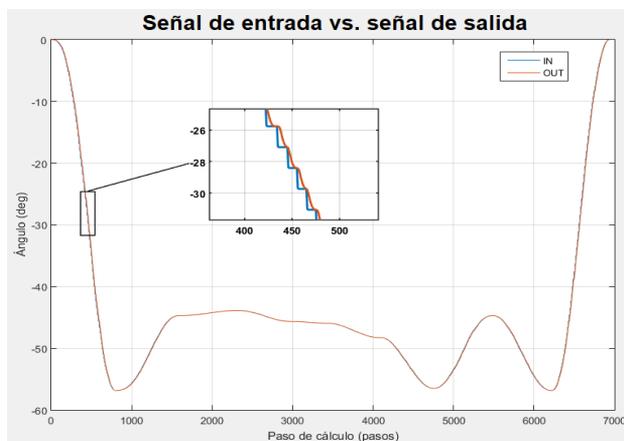


Fuente: Tapia (2017).

Se efectuó una prueba para analizar la precisión y exactitud del sistema de control después de recibir las coordenadas de la boca del paciente. La prueba consistió en colocar la imagen de una persona con la boca abierta en la misma posición durante diez repeticiones del proceso de entrega de comida, manteniendo así el sistema invariante para comprobar su efectividad. En la Figura 11 se puede observar la comparación entre la señal de entrada y la medición de la señal de salida en la junta q1, para comprobar el funcionamiento del sistema de control. Se utilizó una herramienta para acercar una porción de las gráficas para facilitar la interpretación del error generado. Esta prueba se realizó con cada una de las juntas del sistema.

Figura 11

Comparación de señales de entrada y salida en la articulación q1



Fuente: Tapia (2017).



En la Tabla 4 se presenta el promedio de error para cada una de las juntas, donde se aprecia que el error no supera el 1,5 %, lo cual se considera aceptable.

Tabla 4

Promedio de error medido en cada articulación

| Articulación | Error (%) |
|--------------|-----------|
| q1 | 1.26 |
| q2 | 0.76 |
| q3 | 0.11 |
| q4 | 1.31 |
| q5 | 0.11 |
| q6 | 1.43 |

Fuente: Tapia (2017).

Conclusiones

El sistema de visión artificial que ha sido creado para el brazo robótico funciona correctamente, sin dificultad, considerando la diversidad de características individuales de cada persona.

Con el objetivo de optimizar el reconocimiento mediante el algoritmo Viola-Jones, se limitó las imágenes capturadas a rostros que estén orientados hacia la cámara y tengan un ángulo de inclinación de la cabeza menor a 18 grados con respecto al eje vertical. Esta limitación es inherente al algoritmo utilizado. Como resultado de esta estrategia, se ha logrado una tasa del 100 % de éxito en la identificación de la boca del paciente.

Se calculó la longitud de los eslabones, tomando como referencia la longitud promedio de un brazo humano, con el fin de establecer el alcance máximo del brazo robótico. Como resultado de este análisis, se ha obtenido una longitud total de 690,42 mm.

Las coordenadas de la boca son calculadas únicamente si el sistema de visión artificial logra detectar la boca, encontrando su centroide. Dado que el sistema ha identificado la boca en el 100 % de los casos, se ha obtenido las coordenadas con una alta precisión y exactitud.

La trayectoria de los eslabones y del efector final del brazo robótico se mueven sin interrumpirse ni chocar entre sí ni con los demás componentes del brazo. Además, su desplazamiento se realiza dentro del área de trabajo propuesta de 0,4 m².



La capacidad del sistema de control, para ser preciso y exacto, se puede observar en el porcentaje de error medido durante diez ciclos de repetición al entregar la comida al paciente. En todas las juntas se ha obtenido un valor menor al 1,5 %, lo que indica una alta precisión y exactitud en el sistema.

Referencias

- Ávila-Chaurand, R., Prado-León, L. R. & González-Muñoz, E. L. (2007). *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile* (2.ª ed.). Universidad de Guadalajara.
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS). (2022). Estadísticas de Discapacidad. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Corke, P. (2017). *Robotics, Vision, and Control - Fundamental Algorithms in MATLAB* (2nd ed.). Springer International Publishing.
- Fernández, V. (2013). *Desarrollo de un entorno virtual para la evaluación experimental en robótica asistencial* [Tesis de Pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/17651>
- Gonçalves, P. J., Haiddeger, T., Prestes, E., & Schlenoff, C. (2014). Proceedings of the 1st Standardized Knowledge Representation and Ontologies for Robotics and Automation Workshop. <https://repositorio.ipcb.pt/handle/10400.11/2815>
- Guerra, K. V. (2020). RTE INEN 100. Materiales y artículos plásticos destinados a estar en contacto con los alimentos. <https://comunidad.todocomercioexterior.com.ec/profiles/blogs/rte-inen-100-materiales-y-articulos-plasticos-destinados-a-estar#>
- Independent Living. (2017). New V6 Robotic Neater Eater. <https://www.independentliving.co.uk/product-focus/new-v6-robotic-neater-eater/>
- Nicieza & Taverna Hnos. (2020). *Tabla comparativa de materiales Grilon3*. https://grilon3.com.ar/tabla_comparativa/
- Norton, R. (2013). *Diseño de maquinaria* (5th ed.). McGraw-Hill.
- SECOM CO., LTD. (2007). Automating My Spoon through Image Processing. <https://www.secom.co.jp/isl/e2/research/mw/report04/>



Tapia, A. R. (2017). *Diseño de un brazo robótico asistencial para personas con discapacidad* [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial]. <https://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/14679>

The Mathworks, Inc. (2017). Computer Vision Toolbox. Design and test computer vision, 3D vision, and video processing systems. <https://www.mathworks.com/products/computer-vision.html>

Verein Deutscher Ingenieure (VDI). (2004). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme (VDI 2206): Design methodology for mechatronic systems*. VDI 2004.



Capítulo 7

Diseño mecánico de una prótesis transfemoral

Sofía Vergara¹

Guillermo Mosquera Canchingre²

Vladimir Bonilla³

Christian Rueda Ayala⁴

Luis Hidalgo⁵

Cítese como: Vergara, S., Mosquera-Canchingre, G., Bonilla, V., Rueda-Ayala, C. y Hidalgo, L. (2023). Diseño mecánico de una prótesis transfemoral. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 122-138). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c356>

Resumen

Se presenta el diseño y simulación de una prótesis robótica transfemoral que puede replicar el movimiento de flexión y extensión de la pierna. Se utilizó la metodología mecatrónica con base en el modelo en V para desarrollar el prototipo de prótesis, comenzando por la definición de los requerimientos y el diseño conceptual. Luego se diseñó los componentes específicos de la prótesis, como la estructura mecánica, el circuito de adquisición de señales mioeléctricas y el sistema de control. En esta etapa, también se filtró las señales musculares para el entrenamiento de una red neuronal.

Se realizó una integración del sistema para comprobar que no hubiera incompatibilidades y que se cumpliera con los requerimientos planteados inicialmente. Se integró el diseño mecánico en una herramienta informática CAD y se verificó que el controlador y los datos de entrenamiento de la red neuronal estuvieran adecuados.

La estructura mecánica de la prótesis se sometió a pruebas necesarias según la norma NTC 4424 del Ministerio de Salud de Colombia, desde el módulo 1 al módulo 6. Finalmente, se obtuvo un prototipo de prótesis virtual capaz de realizar movimientos de flexión y extensión de la rodilla.

¹ Correo: sofia.vergara@ute.edu.ec

² Correo: guillermo.mosquera@ute.edu.ec

³ Correos: fbonilla@ute.edu.ec - fbonilla@yachaytech.edu.ec

⁴ Correo: andres.rueda@ute.edu.ec

⁵ Correo: lahidalgo@ute.edu.ec



Palabras clave: prótesis robótica transfemoral; flexión; extensión; metodología mecatrónica; red neuronal.

Mechanical design of a transfemoral prosthesis

Abstract

The design and simulation of a transfemoral robotic prosthesis that can replicate the flexion and extension movement of the leg is presented. The mechatronics methodology based on the V-model was used to develop the prosthesis prototype, starting with the definition of the requirements and conceptual design. Then, the specific components of the prosthesis were designed, such as the mechanical structure, the myoelectric signal acquisition circuit, and the control system. At this stage, the muscle signals were also filtered for the training of a neural network.

System integration was performed to verify that there were no incompatibilities and that the initial requirements were met. The mechanical design was integrated into a CAD software tool and the controller and neural network training data were verified to be adequate.

The mechanical structure of the prosthesis was subjected to the necessary tests according to the NTC 4424 Standard of the Colombian Ministry of Health, from module 1 to module 6. Finally, a virtual prosthesis prototype capable of performing knee flexion and extension movements was obtained.

Keywords: transfemoral robotic prosthesis; flexion; extension; mechatronic methodology; neural network.

Desenho mecânico de uma prótese transfemoral

Resumo

Apresentamos o projeto e a simulação de uma prótese robótica transfemoral que pode replicar o movimento de flexão e extensão da perna. A metodologia mecatrônica baseada no modelo V foi usada para desenvolver o protótipo da prótese, começando com a definição dos requisitos e o projeto conceitual. Em seguida, foram projetados os componentes específicos da prótese, como a estrutura mecânica, o circuito de aquisição do sinal mioelétrico e o sistema de controle. Nessa etapa, os sinais musculares também foram filtrados para o treinamento de uma rede neural.

Foi realizada a integração do sistema para verificar se não havia incompatibilidades e se os requisitos iniciais foram atendidos. O projeto mecânico foi integrado a uma ferramenta de software CAD e foram verificados como adequados, os dados de treinamento do controlador e da rede neural.



A estrutura mecânica da prótese foi submetida aos testes necessários de acordo com a Norma NTC 4424 do Ministério da Saúde da Colômbia, do módulo 1 ao módulo 6. Por fim, foi obtido um protótipo de prótese virtual capaz de realizar movimentos de flexão e extensão do joelho.

Palavras-chave: prótese robótica transfemoral; flexão; extensão; metodologia mecatrônica; rede neural.

Introducción

La tecnología ha avanzado mucho en campos como la ingeniería, la robótica y, sobre todo, la medicina; esto ha permitido mejorar dispositivos de ayuda para los seres humanos, especialmente en el área de prótesis y rehabilitación. Actualmente, existen diferentes sistemas mecatrónicos que ayudan a las personas a recuperar funciones perdidas, como los exoesqueletos de rehabilitación (Banala et al., 2009; Federici et al., 2015) y las prótesis que reemplazan extremidades perdidas (Mu y Poo, 2006). Algunas prótesis son muy avanzadas y utilizan señales electromiográficas para controlar los movimientos de manera natural (Chamorro-Moriana et al., 2018). Además, se puede utilizar herramientas de inteligencia artificial como las redes neuronales, para mejorar aún más el control de las prótesis (Matrone et al., 2012).

La pierna humana es un sistema de segmentos, uniones y músculos, que comprende el miembro inferior que está dividido en tres segmentos principales: cadera, pierna y pie. La rodilla es considerada como la articulación más importante del miembro inferior (Spanu y Hefzy, 2003), que proporciona estabilidad y flexibilidad al cuerpo, al tiempo que permite flexionar, girar y enderezar las piernas. Los músculos esqueléticos cuentan con abundante irrigación e inervación de vasos sanguíneos y nervios que están directamente relacionados con las contracciones musculares. Los músculos que permiten el movimiento de la rodilla son el bíceps y el cuádriceps femorales.

La actividad muscular en los movimientos del cuerpo es controlada por el sistema nervioso y, los movimientos se adaptan a patrones complejos casi automáticos. En la marcha humana, la mayoría de los músculos del grupo de la extremidad inferior están activos durante todo el ciclo de la marcha, principalmente al principio y al final de la fase de apoyo y, al principio y final de la fase oscilante. La electromiografía (EMG) se utiliza para medir la actividad muscular y se basa en la adquisición, registro y análisis de la actividad eléctrica generada por los nervios y los músculos a través de electrodos (Betancourt et al., 2004). El registro EMG se compone de señales provenientes de fibras musculares y de otras fuentes de ruido como la piel, los campos electromagnéticos y los aparatos eléctricos. El ancho de banda de los amplificadores de EMG es importante para filtrar la señal, evitar artefactos de baja frecuencia y atenuar la señal lo menos posible (López, 2021; Artal-Sevil et al., 2018).

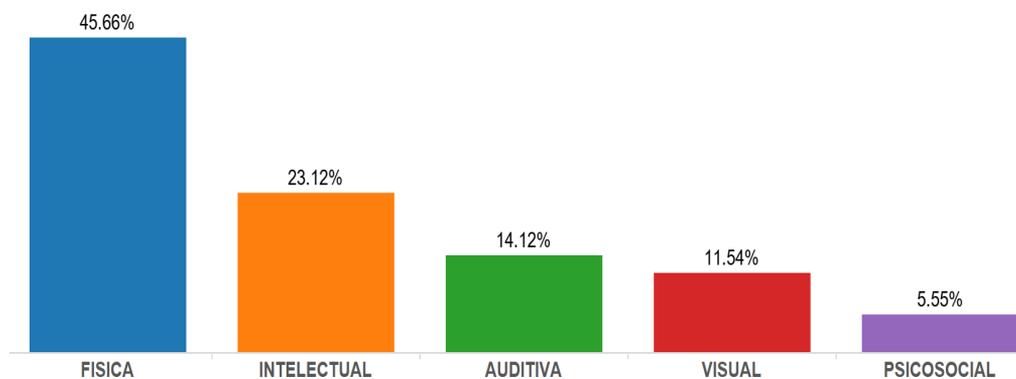


La amputación de un miembro inferior es una medida extrema que se lleva a cabo en casos en los que una extremidad inferior está dañada o enferma y su recuperación no es posible o está fuera de alcance. Las razones más comunes para amputar una extremidad inferior son lesiones traumáticas, enfermedades vasculares graves, infecciones y tumores (Coulston, 2012; Davie-Smith et al., 2017). En el proceso de amputación, el corte del fémur puede variar a diferentes alturas, de acuerdo con el padecimiento del paciente; los más comunes son la hemipelvectomía, desarticulación de cadera, transfemorales, desarticulación de rodilla, transtibial, desarticulación de tobillo y amputación parcial del pie. Amputar una pierna es un proceso que involucra la sutura de nervios, venas y músculos (Kester, 2006; Santoni, 2016).

Ecuador es un país con una población de 18 256 256 habitantes, de los cuales 471 205 tienen algún tipo de discapacidad, lo que representa el 2,58 % de la población total. Entre las personas con discapacidad, el 45,66 % tiene discapacidad física y el 23,12 % tiene discapacidad intelectual, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Tipo de discapacidad



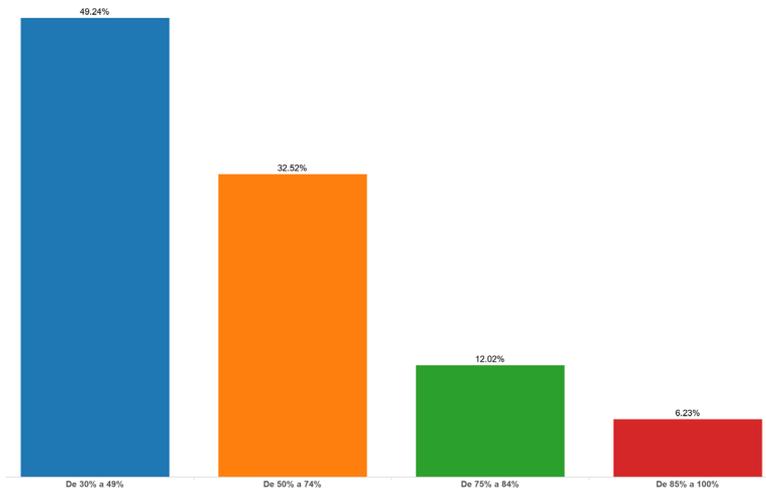
Fuente: Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS, 2022).

En cuanto al grado de discapacidad, la Figura 2 muestra que el 13,31 % de las personas con discapacidad física o intelectual tiene un porcentaje de discapacidad entre el 75 % y el 84 %, mientras que el 6,29 % tiene una discapacidad entre el 85 % y el 100 %.



Figura 2

Grado de discapacidad física

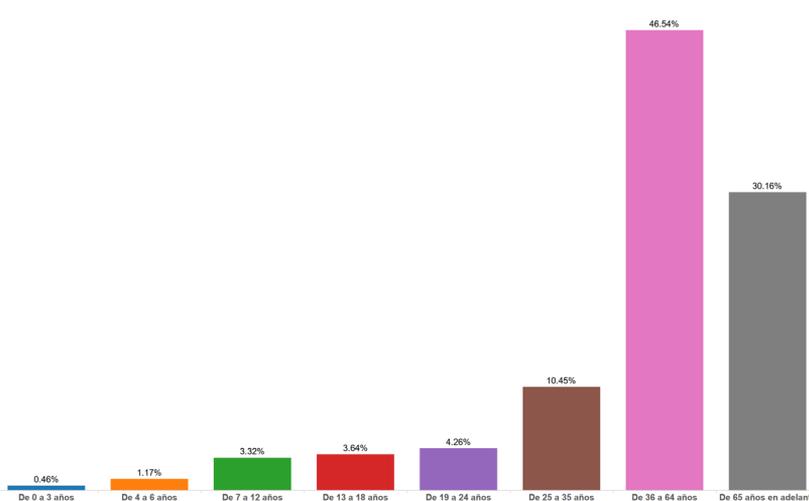


Fuente: CONADIS (2022).

Con relación a los grupos etarios, la Figura 3 indica que el grupo más afectado se encuentra entre los 36 y los 64 años. Estas estadísticas resaltan la necesidad de desarrollar tecnologías de apoyo para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad.

Figura 3

Grupos etarios



Fuente: CONADIS (2022).



En Ecuador, muchas personas han sufrido la amputación de una pierna, principalmente por accidentes de tránsito, laborales, enfermedades y otros problemas. La estatura promedio en Ecuador es de 167.1 cm en hombres y 154.2 cm en mujeres (Ministerio de Salud Pública de Ecuador, 2018).

La población laboralmente activa con discapacidad en Ecuador enfrenta múltiples desafíos y barreras para acceder a empleos y oportunidades laborales. Según datos de CONADIS (2022), de los 471 205 ecuatorianos con discapacidad, solo el 27,12 % se encuentra en edad laboral; es decir, entre los 18 y los 64 años. De este grupo de edad, solo el 33,46 % está empleado y, la tasa de desempleo para personas con discapacidad en Ecuador es significativamente más alta que la de la población en general. Según el mismo informe, la tasa de desempleo de personas con discapacidad es del 17,39 %, mientras que la de la población en general es del 7,22 %. Entre las principales barreras que enfrentan estas personas para acceder a empleos y oportunidades laborales están: la falta de accesibilidad física en los lugares de trabajo, la discriminación laboral y la falta de capacitación y habilidades específicas para el trabajo.

Para el diseño de prótesis robóticas se analiza distintos conceptos relacionados con el movimiento de los miembros superiores o inferiores (Puglisi y Moreno, 2006). De manera general, se considera el plano sagital como el plano de progresión de movimiento; en este plano ocurren los movimientos más importantes de las articulaciones que permiten la caminata (Salazar-Briceño, 2021). En cuanto al análisis de la marcha humana, se analiza el movimiento de tobillo, rodilla y cadera y, se describe cómo actúan en el plano sagital. Los movimientos angulares en los planos sagitales se denominan: flexión y extensión.

Las prótesis robóticas transfemorales constan de cinco componentes, siendo el *socket* la conexión entre la prótesis y el paciente, hecho de una laminación de fibra de carbono y fibra de vidrio, a medida del paciente (Castro-Gómez, 2015). La suspensión es un sistema que permite que la prótesis permanezca en su lugar; la alineación se refiere a la posición de la prótesis respecto al resto del cuerpo. El pie protésico que se une a la pierna mediante una articulación y el sistema de control, son los otros componentes importantes de la prótesis transfemoral.

Se tiene varios casos de prótesis comerciales que cumplen con las características de movimiento para los miembros inferiores. El proyecto CYBERLEGS (Ambrozic et al., 2014) y las prótesis Vanderbilt (Bennett, 2016), ONE y Welwalk WW-1000 (Toyota, 2017) combinan extremidades artificiales con robots portátiles para permitir a las personas que han sufrido amputaciones, caminar de manera natural. Estas prótesis están hechas de materiales como titanio, silicón, aluminio y carbono y, cuentan con motores y microprocesadores que emulan el movimiento de la rodilla, tobillo y pie; tienen sensores que analizan el nivel de exigencia y se ajustan al contexto con baterías recargables con una duración de tres a seis horas; permiten caminar, correr, saltar y escalar, como si usaran sus piernas de verdad.



Debido a lo expuesto, en este trabajo se planteó la creación de una prótesis que pueda imitar los movimientos naturales de la caminata, dirigida a personas que han sufrido una amputación transfemoral en su extremidad inferior y que forman parte de la población económicamente activa. La finalidad de esta prótesis es ayudar a suplir las funciones que, naturalmente han perdido y, de esta forma, mejorar su integración en su entorno social, familiar y laboral.

El objetivo general de este proyecto fue diseñar un sistema biomecánico de prótesis para discapacitados, que permita la flexión y extensión de la rodilla. Para cumplir con este objetivo general se ha establecido los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar un sistema biomecánico que permita la flexión y extensión de la rodilla, teniendo en cuenta aspectos como la ergonomía, resistencia y movilidad.
2. Diseñar un sistema de adquisición de señales SEMG y posición con base en el movimiento de la rodilla.
3. Diseñar un sistema de control de la prótesis basado en las señales SEMG.
4. Validar el funcionamiento del sistema integrado. Este objetivo específico implica comprobar que todo el sistema diseñado funciona correctamente y cumple con los objetivos planteados, asegurando así que la prótesis diseñada es útil y efectiva para su propósito.

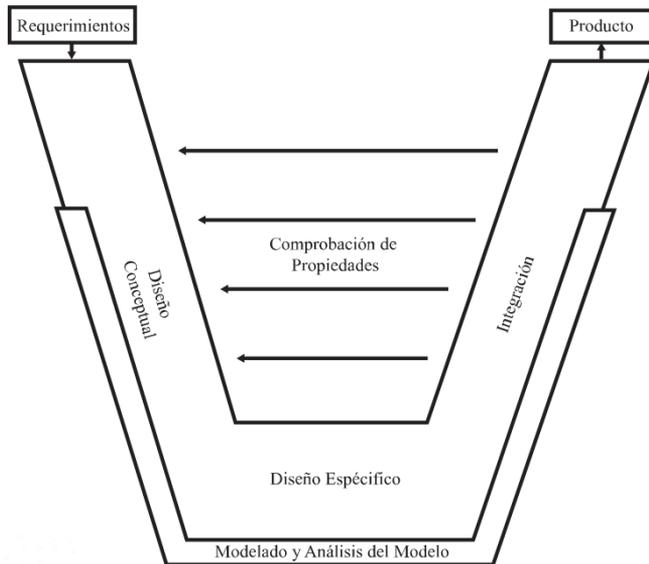
Desarrollo

Para el diseño de la prótesis robótica transfemoral se aplicó la metodología mecatrónica del modelo en V, presentada en la Figura 4. En la etapa de definición de requerimientos se estableció aspectos como la altura, peso, edad y tiempo de amputación del usuario, y se consideró requisitos técnicos como la lectura de señales musculares, tamaño, peso y tiempo de funcionamiento de la prótesis.



Figura 4

Aplicación Metodología Mecatrónica

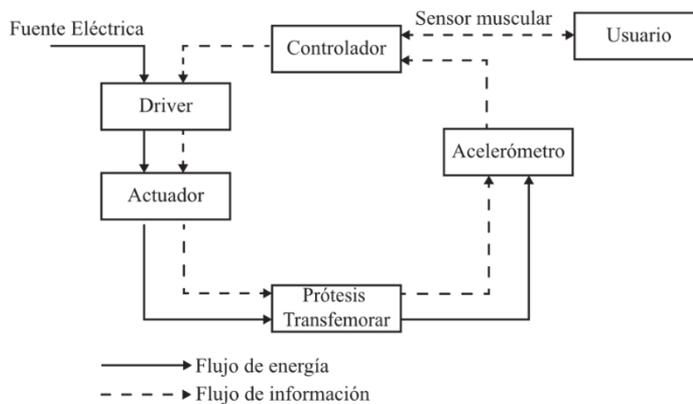


Fuente: adaptado de Verein Deutscher Ingenieure (VDI, 2004).

En la etapa de diseño conceptual se creó una idea general de las características físicas y las condiciones de operación del sistema; y, en la etapa de diseño específico, se diseñó los componentes mecánicos, eléctricos y de control de la prótesis, como se puede apreciar en la Figura 5.

Figura 5

Concepto Prótesis transfemoral



Fuente: Vergara-Ortiz (2019).



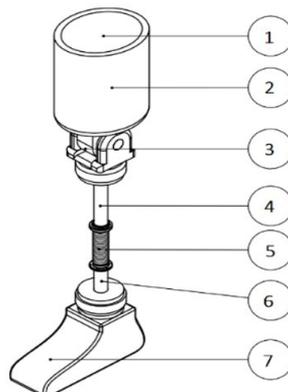
En la integración de los subsistemas se detectó incompatibilidades que fueron corregidas en ciclos subsiguientes del modelo en V, y se hizo pruebas de funcionalidad para verificar el correcto funcionamiento de la prótesis.

Componentes de la prótesis robótica

Para el proceso de diseño de una prótesis robótica se analiza varios componentes, incluyendo el pilar, el pasador, el resorte y el amortiguador de impacto. Para este caso en particular se plantea el diseño mecánico mediante diagramas paramétricos utilizados en el cálculo del diámetro mínimo del pilar, el diámetro del pasador, el número de espiras, el diámetro del alambre del resorte y la selección del amortiguador de impacto. El diámetro del pilar es proporcional a la fuerza generada por el usuario; se calcula la carga crítica, la inercia y el diámetro mínimos del pasador. En la Figura 6 se presenta el modelo de prótesis transfemoral y la numeración de sus componentes, ampliados en la Tabla 1.

Figura 6

Prótesis transfemoral



Fuente: Vergara-Ortiz (2019).

El resorte de compresión y el amortiguador de impacto son utilizados para reemplazar la función de la rodilla y amortiguar la carga del usuario y evitar lesiones en la cadera. En general, el diseño se enfoca en asegurar la capacidad de soportar la carga del usuario y reemplazar la función de la rodilla para lograr una prótesis robótica efectiva. En la Tabla 1 se muestra la numeración y los nombres de los elementos que conforman la prótesis transfemoral.



Tabla 1

Componentes de prótesis transfemoral

| Ítem | Componente |
|------|-------------------------|
| 1 | Suspensión |
| 2 | Socket |
| 3 | Rodilla |
| 4 | Pilar |
| 5 | Resorte de compresión |
| 6 | Amortiguador de impacto |
| 7 | Pie |

Fuente: Vergara-Ortiz (2019).

Para el cálculo del diseño de la prótesis transfemoral se utiliza el peso del usuario como carga principal, mediante la expresión que viene a continuación, obteniendo una fuerza de 766 N

$$F = (P_p + P_T) * g$$

...donde:

F: Fuerza
 P_p: Peso del paciente
 P_T: peso de tolerancia
 g: gravedad

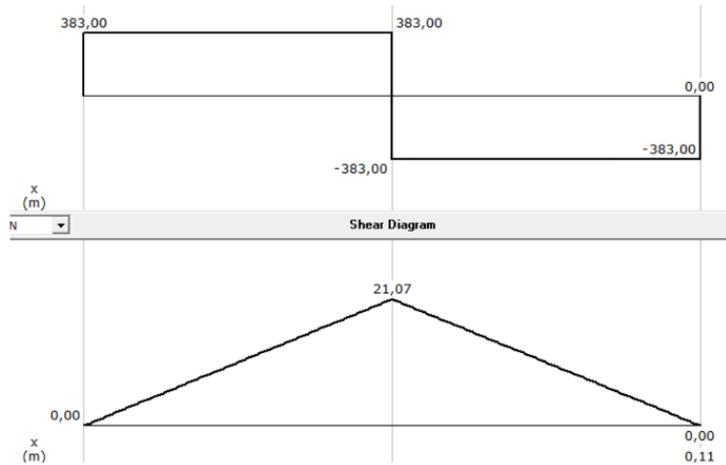
Cálculo del pasador

Para el cálculo del diámetro del pasador se utiliza el modelo de viga; el resultado del análisis de cargas de fuerza cortante y momento flector se muestra en la Figura 7:



Figura 7

Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector



Fuente: Vergara-Ortiz (2019).

$$M_{\text{máx}} = 21.07 \text{ Nm}$$

$$S_{\text{ut}} = 110 \text{ MPa}$$

Para el cálculo del diámetro se utiliza el método de Goodman para esfuerzos normales fluctuantes, lo que permite obtener el diámetro del pasador de 19,86 mm

$$\frac{K_t * \sigma_a}{S'n} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{N}$$

...donde:

K_t = Constante

S_{ut} = Resistencia última a la tensión

N = Factor de diseño

$S'n$ = Resistencia real estimada a la fatiga

Cálculo del pilar

Se considera la carga crítica de pandeo en una columna como 1912,95 N mediante la ecuación:

$$P_{\text{crit}} = F * N$$



La inercia mínima para obtener la carga generada por un paciente es 33,80 mm⁴; se obtiene de la ecuación:

$$I_{\min} = \frac{P_{\text{crit}} * (KL)^2}{E\pi^2}$$

...donde:

I_{\min} = inercia mínima

K = constante de dependencia de los extremos

L = longitud del pilar

E = módulo de elasticidad

El diámetro mínimo que tiene el pilar es de 5,12 mm

$$D_{\min} = \sqrt[4]{\frac{I_{\min} * 64}{\pi}}$$

...donde:

D_{\min} = diámetro mínimo

El diámetro mínimo obtenido es de 5.12mm, usando un factor de seguridad de $N=2.5$. Para que se vea uniforme se utilizará un diámetro de 30mm.

Cálculo del resorte y amortiguador

La constante del resorte garantiza que la compresión de este debe ser del 20 % igual al peso de la prótesis y la mitad de la masa de la persona. Con base en la dinámica del sistema, se obtiene:

$$\ddot{x} + 2\xi W_n \dot{x} + W_n^2 x = 0$$

$$\text{...donde: } W_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ y } \xi = \frac{\beta}{2\sqrt{mk}}$$

La constante β del amortiguador debe garantizar que el coeficiente de amortiguamiento ξ sea lo suficientemente alto como para impedir que el impacto de la prótesis con el suelo genere oscilaciones en la articulación prismática por un periodo de tiempo prolongado. El valor numérico de β se obtiene fijando el coeficiente de amortiguamiento en $\xi = \frac{2}{\sqrt{2}}$.

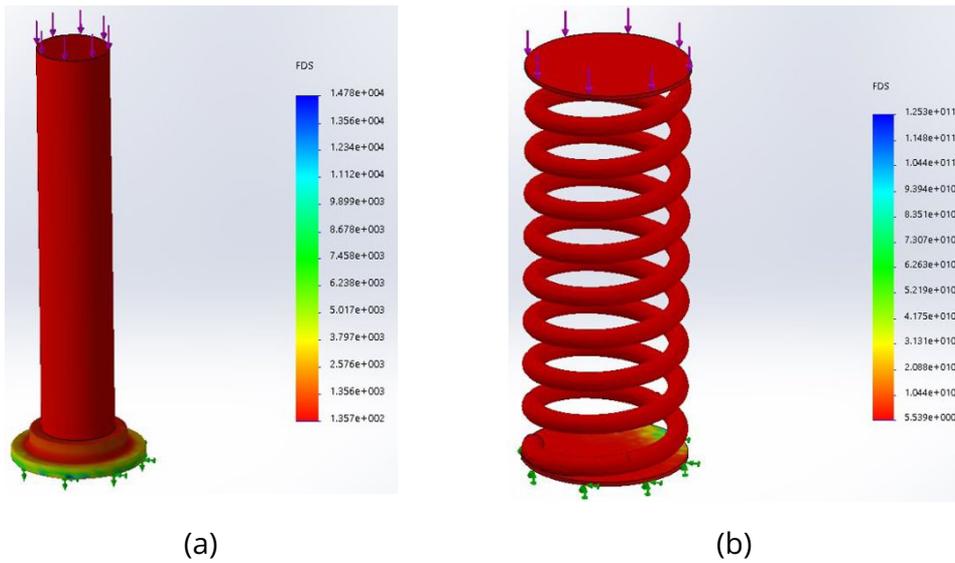


Resultados

Para la validación de los componentes diseñados se efectuó pruebas estáticas sobre un software CAD de simulación, obteniendo los resultados que se observa en la Figura 8 (partes a y b).

Figura 8

Pruebas estáticas de pilar (a) y resorte (b)



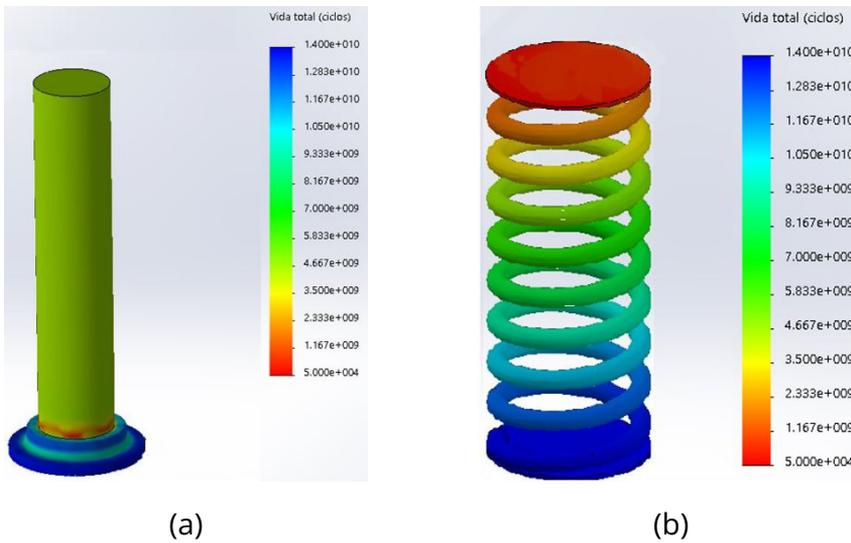
Fuente: Vergara-Ortiz (2019).

Posterior a este análisis se desarrolló un estudio de pruebas cíclicas para el análisis de los ciclos de vida de cada elemento, obteniendo los resultados presentados en la Figura 9 (partes a y b).



Figura 9

Pruebas cíclicas de pilas (a) y resorte (b)

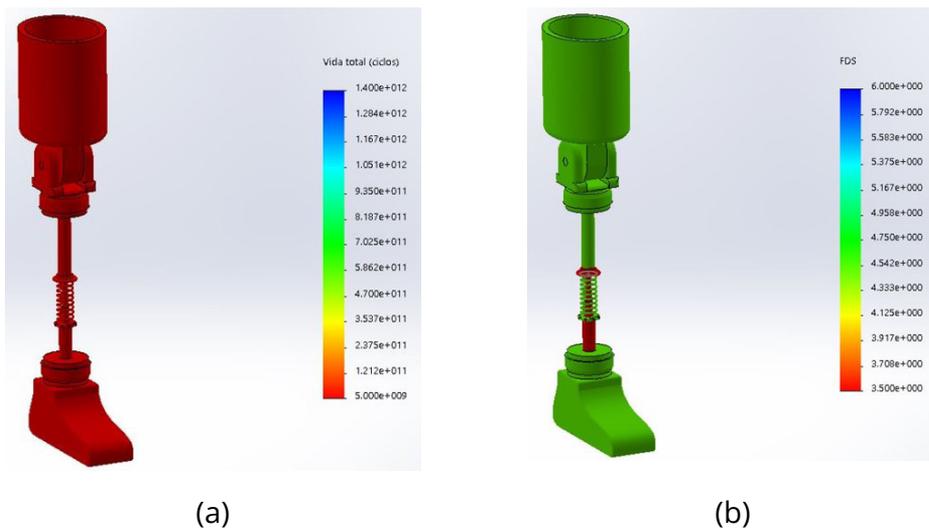


Fuente: Vergara-Ortiz (2019).

Finalmente, se analizó el conjunto de prótesis completo en cuanto a pruebas estáticas y cíclicas. Se presenta el resultado en la Figura 10 (partes a y b).

Figura 10

Pruebas estáticas (a) y cíclicas (b) del sistema completo



Fuente: Vergara-Ortiz (2019).



Conclusiones

Se logró diseñar un prototipo de prótesis transfemoral que puede soportar una carga de 766N, con un factor de seguridad de 2.5, que puede realizar movimientos de extensión y flexión de rodilla en un rango de 0° a 90°; los materiales utilizados en el diseño son capaces de soportar las cargas establecidas en las normas NTC; se evidenció que el titanio permite la creación de elementos con dimensiones menores que el aluminio. También se diseñó un sistema de adquisición de datos musculares y posición de la pierna, así como un sistema de control basado en una red neuronal que tiene una tasa de error del 20 % en la predicción de los movimientos de flexión y extensión. Se desarrolló filtros para procesar las señales musculares y reducir el ruido producido por el movimiento de los cables y la red eléctrica de 60 Hz. Finalmente, se creó una máquina de estados que convierte los datos de la neurona en movimientos de la prótesis.

Trabajos futuros

El desarrollo de prótesis para amputados ha avanzado significativamente en los últimos años, pero todavía hay muchos desafíos por superar. En este sentido, una de las líneas de investigación más prometedoras es la mejora de la tecnología y materiales utilizados en su fabricación. Uno de los objetivos principales es reducir aún más el diámetro del pasador y del pilar, sin comprometer su resistencia y durabilidad. De esta manera, se lograría una mayor comodidad y seguridad para el usuario. Además, otro aspecto clave es el desarrollo de un mecanismo de tobillo que permita una mayor flexibilidad y naturalidad en el movimiento de la prótesis, lo que mejoraría la calidad de vida de las personas amputadas.

Asimismo, es fundamental trabajar en el aspecto estético de la prótesis, mediante el desarrollo de un recubrimiento que permita una apariencia más realista e integrada con el cuerpo del usuario. Es primordial realizar pruebas exhaustivas de acuerdo con las normas NTC 4424 para asegurar que la prótesis cumpla con los requisitos de calidad, seguridad y rendimiento establecidos. Por último, es preciso seguir trabajando en el diseño de la prótesis para mejorar su funcionalidad y comodidad y, replicar los movimientos de la marcha humana de manera cada vez más precisa y natural. En definitiva, el desarrollo de prótesis más avanzadas y adaptadas a las necesidades de los usuarios es un campo de investigación en constante evolución, que seguirá mejorando la calidad de vida de las personas amputadas en todo el mundo.

Referencias

Ambrozic, L., Gorsic, M., Geeroms, J., Flynn, L., Molino, R., Kamnik, R., Munih, M., & Vitiello, N. (2014). CYBERLEGS: A user-oriented robotic transfemoral prosthesis with whole-body awareness control. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 21(4), 82-93. <https://doi.org/10.1109/MRA.2014.2360278>



- Artal-Sevil, J. S., Acón, A., Montañés, J. L. y Domínguez, J. A. (2018). Diseño de un brazo robótico de bajo coste controlado por Sensores EMG Superficiales. *Libro de Actas*, 576-583.
- Banala, S. K., Kim, S. H., Agrawal, S. K., & Scholz, J. P. (2009). Robot-assisted gait training with active leg exoskeleton (ALEX). *IEEE Transactions of Neural Systems Rehabilitation Engineering*, 17(1), 2-8. 10.1109/TNSRE.2008.2008280.
- Bennett, D. A. (2016). *Design and assessment of an upper extremity prosthetic system* [Tesis Doctoral, Universidad de Vanderbilt]. <https://core.ac.uk/reader/46929480>
- Betancourt, G. A., Giraldo, E. y Franco, J. F. (2004). Reconocimiento de patrones de movimiento a partir de señales electromiográficas. *Scientia et Technica*, 10(26), 53-58
- Castro-Gómez, L. A. (2015). *Sistema de control electrónico de una prótesis transfemoral* [Tesis de Pregrado, Universidad de Los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/17455>
- Chamorro-Moriana, G., Moreno, A., & Sevillano, J. (2018). Technology-based feedback and its efficacy in improving gait parameters in patients with abnormal gait: A Systematic Review. *Sensors*, 18(2), 142. <https://doi.org/10.3390/s18010142>
- Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS). (2022). Estadísticas de Discapacidad. <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Coulston, J. E., Tuff, V., Twine, C. P., Chester, J. F., Evers, P. S., & Stewart, H. R. (2012). Surgical factors in the prevention of infection following major lower limb amputation. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 43(5), 556-560. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2012.01.029>
- Davie-Smith, F., Coulter, E., Kennon, B., Wyke, S., & Paul, L. (2017). Factors influencing quality of life following lower limb amputation for peripheral arterial occlusive disease: A systematic review of the literature. *Prosthetics and Orthotics International*, 41(6), 537-547. <https://doi.org/10.1177/0309364617690394>
- Federici, S., Meloni, F., Bracalenti, M., & De Filippis, M. L. (2015). The effectiveness of powered, active lower limb exoskeletons in neurorehabilitation: a systematic review. *NeuroRehabilitation*, 37(3), 321-340. <https://doi.org/10.3233/NRE-151265>
- Kester, B. (2006). Surgical technique for transtibial amputation: A Review of the Literature. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 18(6), 174-179.



- López, P. (2021). *Diseño e implementación de un sistema EMG de captación de señales musculares y su aplicación a un sistema robótico* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/173632>
- Matrone, G. C., Cipriani, C., Carrozza, M. C., & Magenes, G. (2012). Real-time myoelectric control of a multi-fingered hand prosthesis using principal components analysis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-40>
- Ministerio de Salud Pública de Ecuador. (2018). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición – ENSANUT. <https://www.salud.gob.ec/encuesta-nacional-de-salud-y-nutricion-ensanut/>
- Mu, Y. & Poo, M. (2006). Spike Timing-Dependent LTP/LTD Mediates Visual Experience-Dependent Plasticity in a Developing Retinotectal System. *Neuron*, 50(1), 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.03.009>
- Puglisi, L. y Moreno, H. (2006). Prótesis Robóticas. <https://es.scribd.com/document/173033525/Protesis-roboticas>
- Salazar-Briceño, C. A. (2021). *Diseño de un mecanismo de dos grados de libertad para prótesis robótica transtibial* [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/20608>
- Santoni, B. S. (2016). The Role of Preoperative Imaging in Predicting Outcomes after Lower Extremity Amputation. *Journal of Vascular Surgery*, 63(2, Supplement), 54S-58S.
- Spanu, C. E. & Hefzy, M. S. (2003). Biomechanics of the knee joint in deep flexion: a prelude to a total knee replacement that allows for maximum flexion. *Technology and Health care*, 11(3), 161-181. <https://content.iospress.com/articles/technology-and-health-care/thc00300>
- Toyota. (2017). Toyota launches rental service for the Welwalk WW-1000 Rehabilitation Assist Robot in Japan. <https://global.toyota/en/detail/15989382>
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI). (2004). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme (VDI 2206): Design methodology for mechatronic systems*. VDI 2004.
- Vergara-Ortiz, S. C. (2019). *Diseño y simulación de un prototipo de prótesis robótica transfemoral* [Tesis de Pregrado, Universidad UTE]. <https://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/20580>



Capítulo 8

Estado del arte de la instrumentación geotécnica en presas

Raúl Mauricio Álvarez Álvarez¹
Carlos Andrés Ordóñez Ante²
Juan Camilo Parra Toro³

Cítese como: Álvarez-Álvarez, R. M., Ordóñez-Ante, C. A. y Parra-Toro, J. C. (2023). Estado del arte de la instrumentación geotécnica en presas. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 139-162). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c357>

Resumen

En su mayoría, las presas son diseñadas con modelos y parámetros asumidos a partir de estudios, pruebas de laboratorio, criterios de expertos y experiencias en la construcción de otras presas, en la búsqueda por proyectar su comportamiento en la realidad, por lo cual los ingenieros instalan instrumentos en el cuerpo de la presa durante la construcción, para medir las variables que aseguren su operación, permitan contrastar el comportamiento real con los criterios de diseño y, evaluar su operación.

Bajo esta premisa y, contemplando la instrumentación como extensión de los sentidos que permite identificar rápida y expeditamente los comportamientos y estados de las presas, se pretende presentar una compilación de la instrumentación actual más usada para monitorear las variables más relevantes en las presas, que facilite el monitoreo continuo y remoto de estas y, a su vez, integrarse a un sistema de adquisición de datos, para su almacenamiento y transmisión a servidores con software de análisis y procesamiento.

Palabras clave: presa; variables; instrumentación geotécnica.

State of art of geotechnical instrumentation in dams

Abstract

Most dams are designed with models and parameters assumed from studies, laboratory tests, expert criteria, and experiences in the construction of other

¹ Ingeniero en Instrumentación y Control. Correo: raul_alvarez91111@elpoli.edu.co

² Magíster en Geotecnia. Correo: caordonez@elpoli.edu.co

³ Ph. D. en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Correo: jcparra@elpoli.edu.co



dams, in the search for projecting their behavior in reality, for which engineers install instruments in the body of the dams during construction to measure the variables that ensure their operation, allow contrasting the real behavior with the design criteria and evaluate their operation.

Based on this premise, and considering instrumentation as an extension of the senses that allows rapid identification of the behavior and status of dams, we intend to present a compilation of the most commonly used current instrumentation to monitor the most relevant variables in dams to facilitate their continuous and remote monitoring and, in turn, integrate them into a data acquisition system for storage and transmission to servers with analysis and processing software.

Keywords: dam; variable; geotechnical instrumentation.

Estado da arte da instrumentação geotécnica em barragens

Resumo

A maioria das barragens é projetada com modelos e parâmetros assumidos a partir de estudos, testes de laboratório, critérios de especialistas e experiências na construção de outras barragens, na busca de projetar seu comportamento na realidade, para o que os engenheiros instalam instrumentos no corpo das barragens durante a construção para medir as variáveis que garantem sua operação, permitem contrastar o comportamento real com os critérios de projeto e avaliar sua operação.

Com base nessa premissa, e considerando a instrumentação como uma extensão dos sentidos que permite a rápida identificação do comportamento e do estado das barragens, pretendemos apresentar uma compilação da instrumentação atual mais comumente utilizada para monitorar as variáveis mais relevantes nas barragens, a fim de facilitar seu monitoramento contínuo e remoto e, por sua vez, integrá-las a um sistema de aquisição de dados para armazenamento e transmissão a servidores com software de análise e processamento.

Palavras-chave: barragem; variável; instrumentação geotécnica.

Introducción

La estabilidad estructural y geotécnica de una presa resulta de vital importancia, pues asegura en gran medida la operación adecuada de un embalse, al tiempo que permite establecer los niveles de riesgo que existen sobre el sistema donde se encuentra y, en muchos casos, sobre otros embalses ubicados aguas abajo y que operan de manera encadenada, lo cual implica todo el rigor técnico posible en su diseño y construcción.

Actualmente, los métodos empíricos de construcción de presas han sido reemplazados o complementados con procedimientos analíticos de ingeniería,



tanto en diseño como en construcción. El rápido avance en la ingeniería geotécnica ha dado como resultado, el desarrollo de procedimientos que incluyen una selección de instrumentación cuidadosamente planeada y diseñada y sistemas de monitoreo (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2012). Sin embargo, una variedad de fallas en presas es atribuible a errores de instrumentación que, al menos en el caso de la presa Taum Sauk, por dar un ejemplo, contribuyó a una falla catastrófica, donde los sensores defectuosos y mal programados/colocados, no dieron las indicaciones adecuadas (Sharma y Kumar, 2013).

Razones como las anteriores, sumadas a una creciente comprensión y conciencia situacional de los gobiernos y las empresas sobre los riesgos a los cuales están sometidas las personas, el medio ambiente y la infraestructura aguas abajo de las presas, hacen necesario un frecuente seguimiento a las variables geotécnicas y sísmicas de las presas, para lo cual se requiere instrumentarlas y monitorearlas de manera remota y con la frecuencia adecuada de acuerdo con el programa de inspección y mantenimiento (CIRIA, 2013). Más aun, teniendo en cuenta que, diseñar y construir una presa no es un ejercicio que se ejecuta una sola vez y para siempre; su estructura requiere ser supervisada e inspeccionada continuamente durante toda su vida, para asegurar que se mantenga en buen estado.

Orientados en la importancia de un monitoreo continuo, adecuado y confiable, Newell et al. (2016) plantean que la seguridad de una presa depende en gran medida de la adecuada selección de la instrumentación, la cual debe ser técnicamente eficiente. Para ello, los instrumentos deben ser seleccionados en función de las características y requisitos especiales de cada proyecto y, tener suficiente compatibilidad con todos los requerimientos.

Desarrollo

En la búsqueda de una metodología para la adecuada selección de instrumentación geotécnica de una presa de tierra, se ausculta sobre el estado del arte de la instrumentación geotécnica en presas y se obtiene como resultado el presente artículo, en el que se ilustra sobre los instrumentos, equipos y esquemas de instrumentación actualmente utilizados en la ingeniería de presas y, se hace una reseña de la actualización de la presa Miraflores en 2022, perteneciente a Empresas Públicas de Medellín (EPM), ubicada en el departamento de Antioquia.

El flujo de la investigación parte de un recorrido por los tipos de presas según su clasificación; posteriormente, se identifica las variables más relevantes y, de manera consiguiente, los instrumentos más utilizados en la actualidad.

Clasificación de las presas

Las presas pueden ser clasificadas por su altura, volumen, capacidad de almacenamiento, tipología, hasta por las consecuencias y los riesgos que pueden presentar por la posibilidad de una rotura.



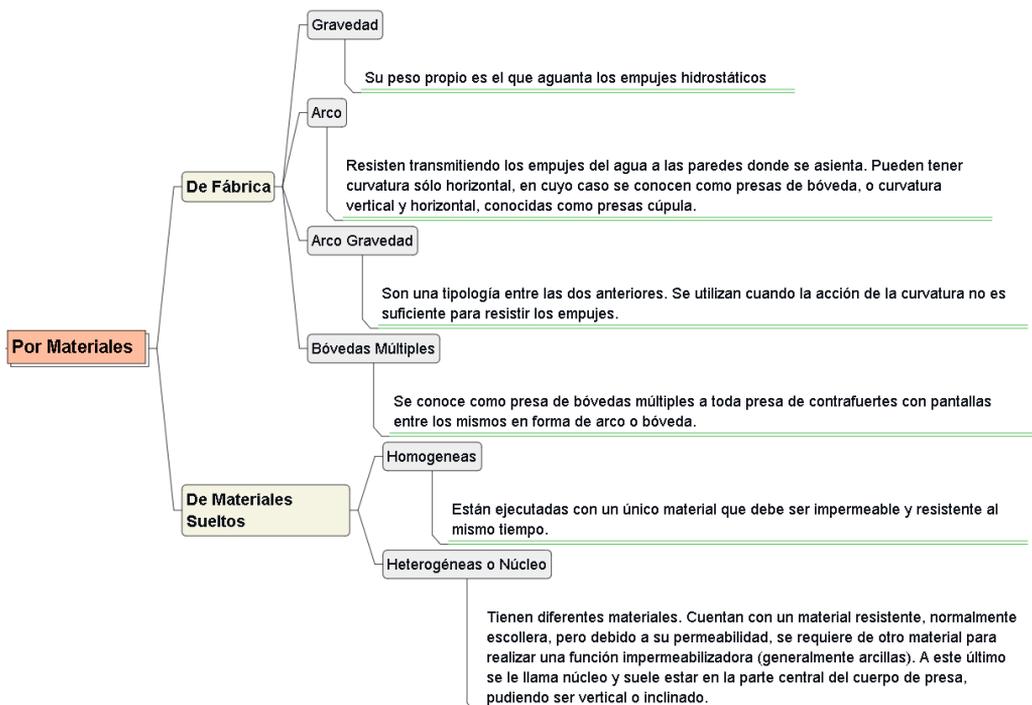
El Comité Nacional Español de Grandes Presas (2018) presenta una clasificación de presas de acuerdo con sus dimensiones, riesgo potencial, tipología, atendiendo diferentes factores. A continuación, se describe las más comunes, según:

- **Sus materiales:** se dividen en presas de gravedad u hormigón y presas de materiales sueltos (que pueden ser homogéneas, heterogéneas o de pantalla o diafragma)
- **Su forma de resistir los esfuerzos:** las presas de hormigón pueden clasificarse en presas de gravedad (macizas o aligeradas), presas arco (o bóveda), presas arco-gravedad y presas de bóvedas múltiples
- **Su normativa:** en función de su tamaño (pequeñas y grandes) o, en función del riesgo potencial.

Clasificación de las presas según sus materiales

Figura 1

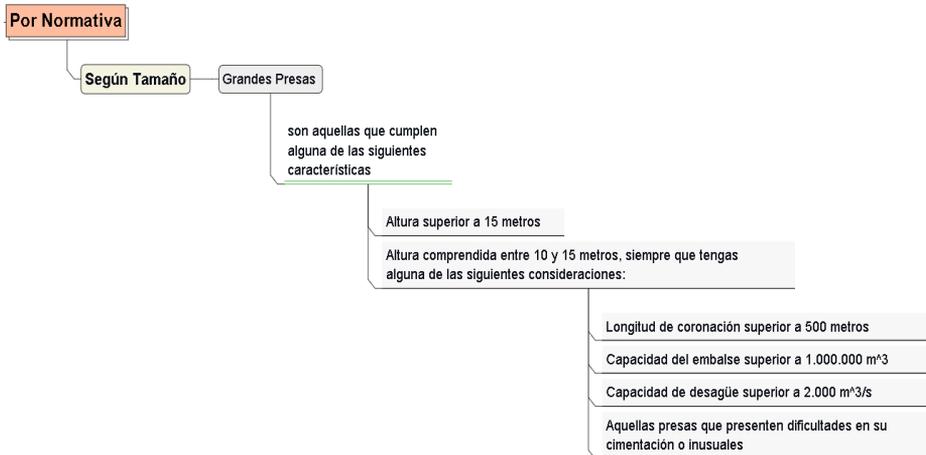
Clasificación de las presas según sus materiales



Clasificación de las presas por normativa

Figura 2

Clasificación de las presas según normatividad

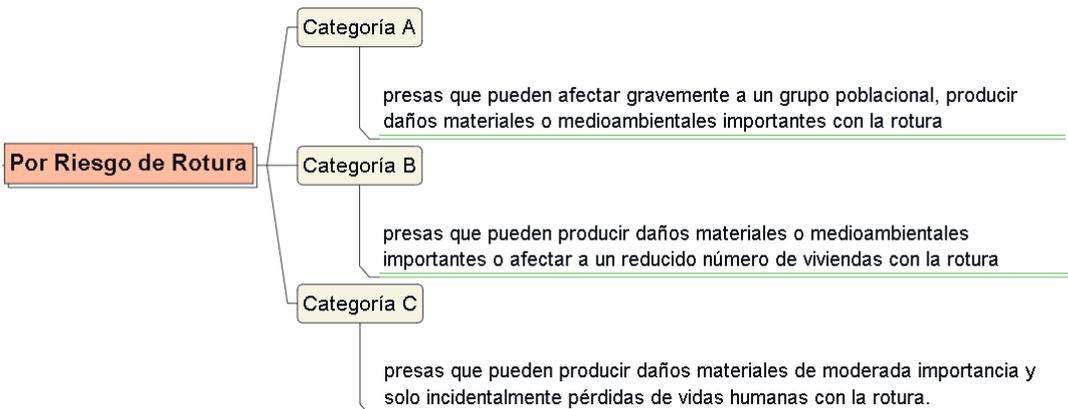


Riesgo potencial de rotura de las presas

Según Castillo y De Cos (1996, como se cita en Castillo y De Cos, 1997), las presas pueden ser clasificadas según las siguientes categorías:

Figura 3

Clasificación de las presas de acuerdo con el riesgo potencial de rotura



Metodologías actuales para la selección de instrumentación geotécnica de presas

En Ingeniería Geotécnica se ha hecho supuestos y aproximaciones y se ha utilizado soluciones teóricas simplificadas, con una variabilidad sustancial



asociada a los parámetros del suelo, donde se realiza diseños con base en datos limitados de laboratorio y de campo. Esto demanda asegurar las estructuras y verificar que los supuestos en los diseños sean correctos y, más aún, cuando son nuevos diseños y métodos constructivos, para lo cual es necesario el uso de algunos instrumentos para medir parámetros, como: piezómetros para medir presión de poros, celdas de carga para medir cargas en el suelo, inclinómetros y extensómetros para medir deformaciones, acelerógrafos para medir vibraciones y termómetros para medir temperatura (Das y Sivakugan, 2017).

Para la selección de una instrumentación adecuada de presas, es fundamental el conocimiento que se debe tener de las variables y particularidades constructivas y locativas de cada presa, pues, así como cada estructura tiene condiciones particulares, también las debe tener la instrumentación para monitorear su comportamiento (Masoumi et al., 2018).

En la mayoría de los casos de selección de instrumentación, los encargados de tomar las decisiones se basan en dos métodos: criterios de experto y funciones de probabilidad, métodos que, por lo general, son subjetivos y arrojan datos difusos en el proceso que no son tenidos en cuenta y que carecen de funciones matemáticas. Para mitigar esta subjetividad y facilitar la selección de los instrumentos apropiados de forma sistemática, se puede utilizar algunas técnicas como la de Toma de Decisiones Multi Atributo (MADM) junto con Procesos de Jerarquía Analítica (AHP) y Solución de Compromiso y Optimización de Criterios Múltiples (VIKOR) en la toma de decisiones (Masoumi et al., 2017).

Variables geotécnicas e instrumentación relevante para el monitoreo de presas

Cada presa cuenta con su propia jerarquización de variables e instrumentos y no se pretende, desde este artículo, establecer una jerarquía de variables ni de instrumentos de manera estandarizada; sin embargo, se busca de modo general, establecer las variables relevantes e instrumentos más utilizados actualmente en el monitoreo de presas, cuyas estructuras y fundaciones requieren de un control permanente de su comportamiento. Con este fin, debe conocerse las presiones, esfuerzos y movimientos que son generados en el relleno, los movimientos, deflexiones y esfuerzos que surgen en la cara de concreto, así como las posibles filtraciones a través de la presa y de su fundación (Díaz-Sepúlveda, 2014).

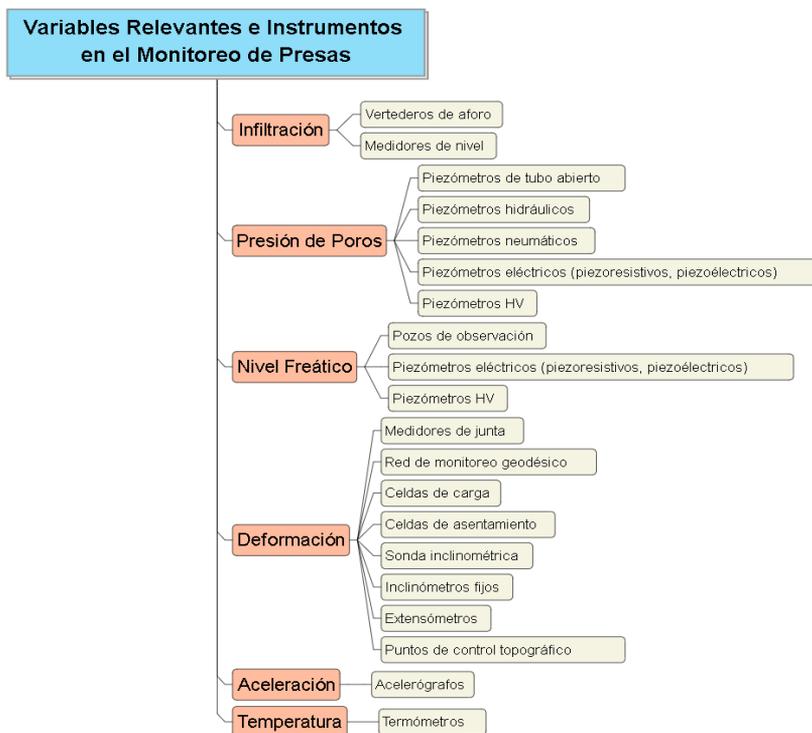
La instrumentación utilizada para monitorear deformaciones y esfuerzos se puede utilizar para confirmar si el comportamiento previsto de una presa es aceptable y es improbable que haya problemas o daños significativos, para proporcionar experiencia, para mejorar las predicciones futuras y para identificar alguna acción o construcción que pueda, potencialmente, llegar a un resultado inaceptable o, al desarrollo de una situación peligrosa (Bassett, 2012).



En este sentido, Canadian Dam Association (CDA, 2013) plantea que la instrumentación para el monitoreo de presas debe darse para proporcionar información que permita validar los supuestos de diseño, con relación a las variables relevantes de las presas, de acuerdo con sus características: asentamientos, presiones intersticiales, tensiones, desplazamientos, deformaciones y filtraciones, conceptos planteados igualmente por Tobón y Miranda (2008), además de otras variables relevantes, como: nivel freático, deformación, aceleración y temperatura, los cuales son compilados e ilustrados de manera esquemática en la Figura 4, en conjunto con los instrumentos típicos para medirlas:

Figura 4

Mapa de variables relevantes en presas con sus respectivos instrumentos



Estado del arte de la instrumentación geotécnica de presas

Los instrumentos son una herramienta para medir parámetros de ingeniería y cuantificar su magnitud. El diseño y uso de instrumentación geotécnica no es meramente la selección de instrumentos, sino un detallado paso a paso del proceso de ingeniería que comienza con una definición del objetivo, y finaliza con el análisis de los datos (Prasad y Naik, 2021), siendo propiamente en el aspecto del diseño donde Papachatzaki et al. (2009) plantean que la instrumentación tiene que ser simple y robusta, en la medida de las posibilidades, cuyo número y tipo de instrumentos instalados debe ajustarse a los recursos disponibles en el sitio durante la construcción y operación y, según la respuesta que se



busca resolver. Por lo tanto, es importante que el diseño y la instalación de instrumentación estén sujetos a un plan de instrumentación que garantice la existencia de las disposiciones, recursos y capacidades necesarias para lograr resultados seguros y sostenibles para la operación de las presas durante su vida útil, como expone el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial (2021); además, de manera estructurada establece cuatro planes de seguridad para presas, así:

- Plan para la supervisión de la construcción y el aseguramiento de la calidad (PSCAC)
- Plan de instrumentación (PI)
- Plan de operación y mantenimiento (POM)
- Plan de preparación ante emergencias (PPE).

Por su parte, el Ministerio de Medio Ambiente de España (2001) resalta la importancia del plan de instrumentación dado que, una adecuada selección y ubicación de la instrumentación, garantiza la operación, mantenimiento y detección de anomalías que, asociadas a un correcto establecimiento de umbrales o indicadores cuantitativos y cualitativos, avalan una adecuada gestión del riesgo, que puede verse optimizada y expedita, si se integra con un sistema automatizado de la instrumentación, para el monitoreo más frecuente de los parámetros claves de seguridad de la presa, como el nivel del agua del embalse, los niveles piezométricos, los flujos de filtración y los niveles de turbidez, como sugiere CDA (2013), donde los requisitos de monitoreo y la instrumentación relevante instalada en la presa deben ser identificados por el diseñador de la presa y, posteriormente, por el ingeniero que realiza la revisión de seguridad (Government of Malaysia, 2017).

En la Figura 4 se evidencia de manera esquemática los diferentes tipos de instrumentos que se utiliza típicamente en las presas y, se describe a continuación, la función y el principio de funcionamiento de los instrumentos identificados como típicos, para medir las variables geotécnicas más relevantes y que permiten su fácil integración a un sistema de adquisición de datos o, en su defecto, se pueda adquirir con una consola o equipo de medición, para ser posteriormente analizada y procesada en un computador o servidor.

Medidor de infiltraciones

Desde la antigüedad, las civilizaciones han tenido que comprender este hecho y buscar formas efectivas de controlar las infiltraciones, en aras de evitar el deterioro de las obras de ingeniería, la fuerza de la naturaleza o la afectación a zonas de asentamientos humanos (Iglesias, 2010).

Para medir las infiltraciones en las presas de tierra se utiliza varios métodos, como: piezómetros o medidores de infiltración por medio de vertederos de aforo, que son estanques con sistema de regulación de vertimiento por medio de una cuchilla o vertedero en forma de V o triangular de 90°, con un sistema de medición de nivel que los constituye en un instrumento de medición de



caudales de filtración inferidos por nivel; estos están ubicados en la salida del colector de drenaje de la presa principal.

Sensores de nivel para vertederos de aforo

Los sensores pueden ser de diferentes especificaciones tecnológicas; por ejemplo:

- Tipo flotador de hilo vibrante
- Magnetostrictivos - señal de salida de 4-20mA
- De presión sumergible tipo piezoeléctricos - señal de salida de 4-20mA, 0-5 volts o 0-10 volts
- De no contacto (Radar o Ultrasonido) - señal de salida de 4-20mA, 0-5 volts, 0-10 volts o SDI12.

Piezómetros

La medición de los niveles de agua y la presión de poro mediante el uso de piezómetros es fundamental para analizar el desarrollo del proceso de consolidación y el cálculo de los esfuerzos efectivos, combinando las mediciones con celdas de presión total, así como para estimar filtraciones y la efectividad de sistemas de drenaje (Vargas, 2019). Existen diferentes tipos de piezómetros:

- **Casagrande:** usados para detectar, medir y monitorear la presión de agua en terrenos de baja y media permeabilidad o rocas, específicamente en la profundidad instalada o en la punta del filtro; están compuestos por una unidad de filtro conectada a la superficie con un tubo simple o doble; pueden ser medidos a través de un sensor tipo piezómetro de hilo vibrante o semiconductor.
- **De tubo abierto:** usado para detectar, medir y monitorear el nivel freático en terrenos permeables. El filtro puede estar compuesto por un tubo ranurado en PVC con un filtro en geotextil externo o un simple filtro Casagrande no sellado con bentonita. Se puede medir a través de un sensor tipo piezómetro de hilo vibrante o semiconductor.
- **Hidráulicos:** es un instrumento de funcionamiento sencillo que sirve para conocer la subpresión existente en un punto. Su uso más común se ha dado en el estudio de presiones hidrostáticas en la cimentación de las presas; pueden ser complementados con transmisores de presión.
- **Semiconductores:** cuentan con electrónica interna típicamente piezorresistiva, cuyas señales de salida pueden ser de 0-5 volts o 4-20 mA, según requiera el usuario. Son utilizados típicamente para condiciones donde los sistemas de adquisición de datos no son compatibles con los sensores de hilo vibrante.
- **De hilo vibrante:** o de cuerda vibrante, consisten en un sensor de cuerda vibrante embebido en una carcasa de acero con filtro en un extremo. Los piezómetros VW ofrecen una excelente fiabilidad a largo plazo, como resultado del uso de los últimos desarrollos en tecnología de cuerda vibrante.



Deformaciones

- **Medidores de junta:** permiten controlar con precisión la apertura de juntas de dilatación, diaclasas, fisuras o cualquier otro elemento de separación que admita la colocación de dicho medidor y un posterior acceso a ellas para realizar las mediciones (Atinfo.net, 2023). Los medidores de junta pueden ser mecánicos, eléctricos o de hilo vibrante.
- **Monitoreo geodésico:** es un conjunto de puntos (estaciones) de monitoreo continuo de datos del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), distribuidos estratégicamente en un territorio, en los cuales se determina su posición geográfica (latitud, longitud y elevación).
- **Celdas de carga:** constan básicamente de dos platos de acero inoxidable separados por una delgada capa rellena con un fluido hidráulico, el cual, al ser sometido a la carga de material que la circunda, transfiere la presión hidráulica a un transductor, típicamente de hilo vibrante, que la traduce en señal eléctrica (Geokon, s.f.).
- **Celdas de asentamiento:** consisten en un sensor de hilo vibrante conectado a un plato de asentamiento en el punto de medición; el sensor, a su vez, está conectado de manera horizontal a través de dos tubos con líquido a un reservorio localizado en terreno estable. El sensor mide la cabeza hidráulica entre el sensor y el reservorio.
- **Inclinómetros:** constituyen uno de los principales métodos de investigación de los deslizamientos y, en general, de control de movimientos transversales a un sondeo. Son equipos que miden la inclinación de una tubería inclinométrica introducida en estratos de suelos o rocas, respecto a una línea vertical u horizontal y, mediante operaciones trigonométricas, determinan los desplazamientos correspondientes a dichos puntos de medición. Los inclinómetros son perforaciones, ya sea en roca o en un terraplén al cual se le instala una tubería con muesca tipo riel, con el objeto de guiar un torpedo que se le introduce para poder medir la deformación del punto donde se instaló. Pueden ser descritos como un sistema de cuatro elementos: sensor o torpedo, cable o carrete, consola de medición y tubería.
- **Inclinómetros fijos:** consisten en un grupo de sensores de hilo vibrante, sensores tipo MEMs (por sus siglas en inglés: Microelectromechanical system) o, de fibra óptica, los cuales son instalados de manera fija dentro de una tubería inclinométrica que se instala dentro de la zona de interés.
- **Extensómetros:** o, medidores de deformación, miden la expansión o compresión de un sistema de sensores anclados en diferentes puntos de una perforación, cuya distancia o separación es conocida (Morera, 2016). Existen también los extensómetros de hilo o largo rango, usados para medir deformación en taludes.
- **Puntos de control superficial:** son mojones de concreto con una varilla de hierro en la mitad, la cual tiene una perforación en el centro (centro punto) para garantizar que siempre que se haga seguimiento se tome el mismo punto de referencia; sirven para medir desplazamientos superficiales de la presa. Los puntos de control topográfico son leídos por medio de estaciones de topografía y prismas, pero pueden ser



adquiridos de forma automática por medio de una red geodésica con equipos GPS ubicados en el sitio de interés o, por medio de estaciones totales de topografía con prismas fijos.

- **Acelerógrafos:** están compuestos por una unidad de sensado o acelerómetro y una unidad de registro y digitalización o digitalizador. Permiten la obtención de un gráfico denominado acelerograma, que muestra la variación de aceleraciones en el lugar determinado y, el registro de los eventos sísmicos que posteriormente son procesados y analizados para determinar los valores de aceleración máxima y su escala de intensidad (Instituto Geofísico – EPN, 2023).

Termómetros

La temperatura es una variable importante para evaluar la influencia de los efectos térmicos en las mediciones y en la estructura que se monitorea, en especial en estructuras de concreto.

Los termómetros disponibles son de tipo RTD (Detector Resistencia térmica), termistor o, en sondas a cuerda vibrante, típicamente embebidos en cuerpo de acero inoxidable (Sisgeo, s.f.).

Caso de estudio: Presa Miraflores

Figura 5

Presa Miraflores



La presa Miraflores se encuentra ubicada sobre el río Tenche, en jurisdicción del municipio de Carolina del Príncipe, a 114 km al norte de la ciudad de Medellín, en el departamento de Antioquia (Colombia). La construcción se realizó entre los años 1958 y 1962, con actualizaciones en los años 1992 - 1994 y 2020 - 2022, como se ilustra en las figuras 6 y 7, más adelante. El embalse principal tiene un volumen aproximado a cota de máximo embalse de 149.26 hm^3 .



Tabla 1

Instrumentación presa Miraflores

| Variables | Instrumento de medida | Operativas |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| Infiltraciones | Pozos de observación | 21 |
| | Piezómetros eléctricos | 39 |
| | Piezómetros Casagrande o tubo abierto | 31 |
| | Vertederos de aforo (MI) | 3 |
| Presiones | Piezómetros hidráulicos | 31 |
| Deformaciones | Inclinómetros | 6 |
| | Puntos de control superficial | 53 |
| Aceleraciones | Acelerógrafos | 2 |
| Adquisición y transmisión de datos | Tableros de instrumentación | 4 |
| Total Instrumentos | | 190 |

La instrumentación de la presa se encuentra distribuida en todo el cuerpo de la infraestructura, como se ilustra en la Figura 8, siguiendo las recomendaciones de los expertos, a raíz de los estudios de evaluación y los diseños de la actualización (EPM, 2021).

Figura 8

Distribución en planta de la red de instrumentación en la presa Miraflores



A continuación, se detalla las instalaciones y particularidades de la instrumentación, las cuales cuentan con el estado del arte en la materia.

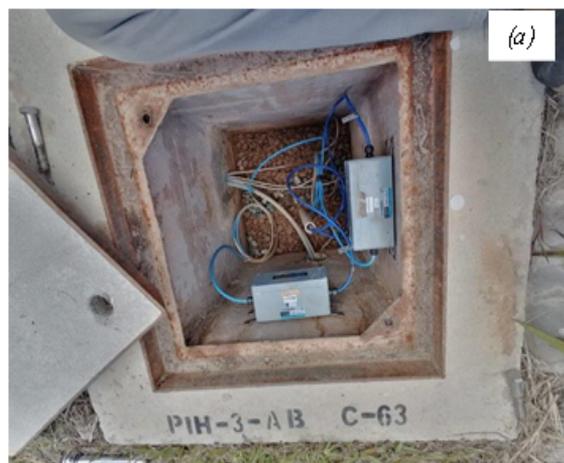


Instalación de piezómetros de hilo vibrante

Los 91 piezómetros de hilo vibrante son utilizados para monitorear los pozos de observación y los piezómetros Casagrande o de tubo abierto. En la superficie de la instalación se ejecutó obras civiles como cajas de empalme y cajas de paso en concreto, que permiten la adecuada conexión de los piezómetros con los sistemas de protección contra descargas eléctricas y empalmes necesarios para conectarlos con el sistema de adquisición de datos, como se ilustra en la Figura 9.

Figura 9

Adecuaciones para protección y conexión de los piezómetros en superficie



Medidores de infiltración

Los tres medidores de infiltración, compuestos por vertederos de aforo con cuchillas en V de 90° y una regleta, son monitoreados permanentemente por un sistema de medición de nivel con sensores tipo radar, cuya señal de 4-20mA se conecta a los sistemas de adquisición de datos en los tableros de instrumentación. Su configuración se ilustra en la Figura 10.



Figura 10

Medidores de infiltración con sistema de medición por radar



Piezómetros hidráulicos

La presa Miraflores cuenta, desde su construcción, con un sistema de piezómetros hidráulicos para monitorear las presiones intersticiales o presión de poros. El sistema de medición presentaba obsolescencia tecnológica en sus elementos de monitoreo, lo cual generaba incertidumbre en la exactitud de la variable que es considerada como variable relevante; por lo tanto, a partir de un análisis interno en EPM, se creyó oportuna y conveniente la actualización del sistema de medición, por ser una variable monitoreada desde el momento mismo de su construcción; así que, poder continuar con su monitoreo daría información de gran valor para conocer la evolución y el estado de la presa.

Los 31 piezómetros hidráulicos están concentrados en una caseta donde se cuenta con el sistema actualizado para su respectivo monitoreo. El sistema está compuesto por un módulo de purga y 31 módulos de medición (un módulo de medición por cada piezómetro); estos últimos están compuestos por un sistema redundante con dos manómetros y dos transductores de presión; los manómetros permiten verificar las medidas *in situ* por el inspector de campo; los transductores de presión son conectados a un sistema de adquisición de datos ubicado en la misma caseta. Adicionalmente, el sistema de purga permite calibrar y hacer limpiezas al sistema, según se establece en el plan metrológico.

Es importante mencionar que el sistema de monitoreo actual fue diseñado a partir de la experiencia en el campo de la instrumentación geotécnica, la adopción de conocimientos de instrumentación industrial y las recomendaciones de la Buró de Reclamación de los Estados Unidos de América, lo cual converge en un sistema altamente funcional, robusto y de fácil diagnóstico y mantenimiento.



El antes y después de la actualización del sistema de piezómetros hidráulicos se detalla en la Figura 11.

Figura 11

Antes (1962 a 2022) y después de la actualización del sistema de piezómetros hidráulicos

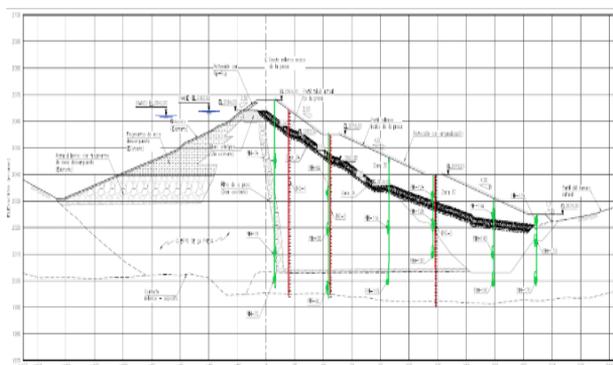


Inclinómetros

La presa cuenta con seis inclinómetros, de los cuales cinco están ubicados en el cuerpo de la presa y uno en el estribo derecho (Figura 12); la ubicación de tres de ellos está en la sección principal. Estos inclinómetros son de tipo sonda con consola y sus lecturas son realizadas manualmente, según el programa de lectura establecido desde el equipo Seguridad de Presas.

Figura 12

Ubicación de tres inclinómetros en la sección principal de la presa (líneas oscuras)



Puntos de control topográfico

La presa cuenta con 53 puntos de control topográfico, cuya ubicación en planta se ilustra en la Figura 13; los puntos son leídos a través de una estación total de topografía y prismas, con la participación de una comisión de topografía y de acuerdo con el programa de lectura establecido desde Seguridad de Presas. El ejemplo de la actividad es ilustrado en la Figura 14.

Figura 13

Distribución en planta de los puntos de control topográfico en la presa

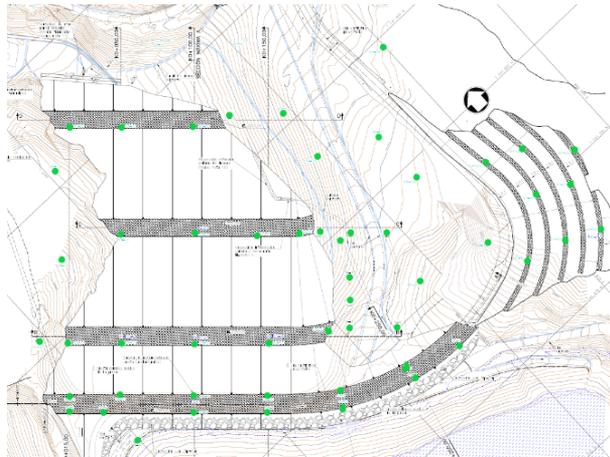


Figura 14

Comisión de topografía en la presa Miraflores



Acelerógrafos

La presa Miraflores cuenta con dos acelerógrafos, ubicados en casetas específicas diseñadas para su fin, como se ilustra en las figuras 15 y 16. Un equipo está instalado en la caseta ubicada en roca no intervenida (equipo de referencia) y otro en la caseta de la parte central de la cresta de la presa (zona con mayor grado de libertad), los cuales permiten el monitoreo de los sismos para verificar la frecuencia fundamental de vibración de la presa y su respuesta ante las sollicitaciones sísmicas, de acuerdo con los criterios de diseño.

Figura 15

Caseta de acelerógrafo



Figura 16

Detalle de instalación de acelerógrafo



Sistemas de adquisición de datos

Está compuesto por equipos especiales para el monitoreo y gestión de variables geotécnicas e hidrometeorológicas, adecuados con sistemas de protección y regulación eléctrica para su óptimo funcionamiento, integrados en un tablero que cumple con especificaciones de protección física, electrónica y contra las



inclemencias del medio ambiente en la zona particular de la instalación, como se ilustra en la Figura 17. A continuación, se lista los equipos integrados en los tableros:

- Datalogger
- Protecciones eléctricas
- Sistema de iluminación
- Fuente y regulación de potencia
- Multiplexores
- Radios RF
- Interruptor de comunicaciones
- Conversor medio (transceiver) FO-ETH

Figura 17

Tablero de instrumentación geotécnica

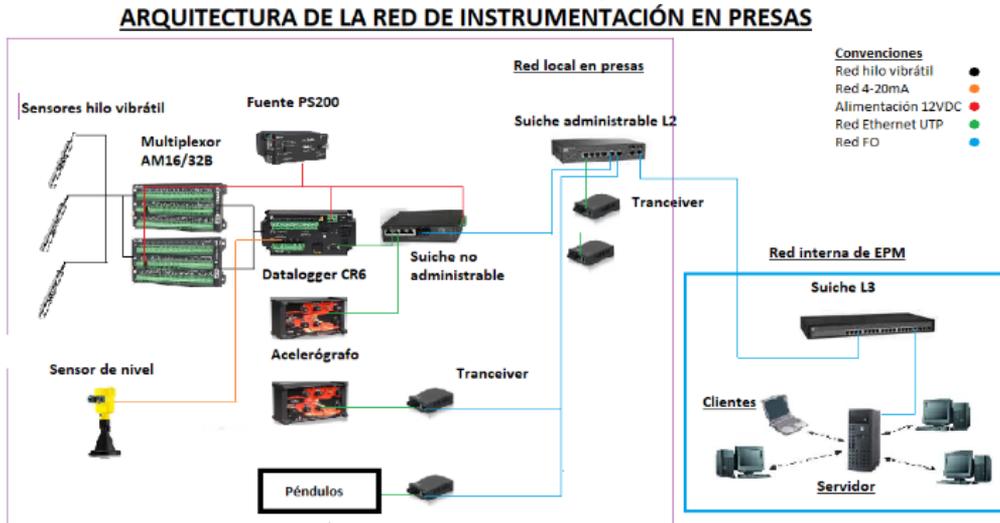


Finalmente, los sistemas integrados a este tablero se comunican con el centro de monitoreo técnico de Seguridad de Presas de EPM, formando una arquitectura de red estándar para la instrumentación geotécnica de presas de EPM (Figura 18) que permite monitorear las variables relevantes de las presas en tiempo real.



Figura 18

Arquitectura de red en presas y taludes de EPM



Recomendaciones básicas para la selección de instrumentos

Para la selección de los equipos que conformen el sistema de instrumentación geotécnica en presas, se debe tener en cuenta las siguientes características:

- Resistencia a la intemperie, humedad y corrosión
- Rango
- Confiabilidad a largo plazo
- Precisión y resolución
- Facilidad para la instalación
- Operación y mantenimiento
- Posibilidad de integrar a un sistema de adquisición de datos para telemetría
- Compatibilidad con los equipos y elementos existentes.

Seyed-Kolbadi et al. (2020) establecen el círculo general de gestión de riesgo en presas, seccionado en cinco elementos: identificación, análisis, planeación, monitoreo y control, los cuales convergen en un programa de inspección y mantenimiento basado en el monitoreo permanente de las variables más relevantes de una presa, con el fin de conocer su estado de salud y asegurar su correcto funcionamiento durante la construcción y durante toda su vida útil, así como la identificación, evaluación de los riesgos del proyecto y, las consecuencias que implicaría la materialización de estos riesgos. En consecuencia, algunos problemas o fallas en las presas están relacionados con el mal funcionamiento de la instrumentación, debido a falsas alarmas o, por no proporcionar alertas tempranas asociadas a inestabilidades que podrían ser evitables, al seguir los adecuados procedimientos en la selección

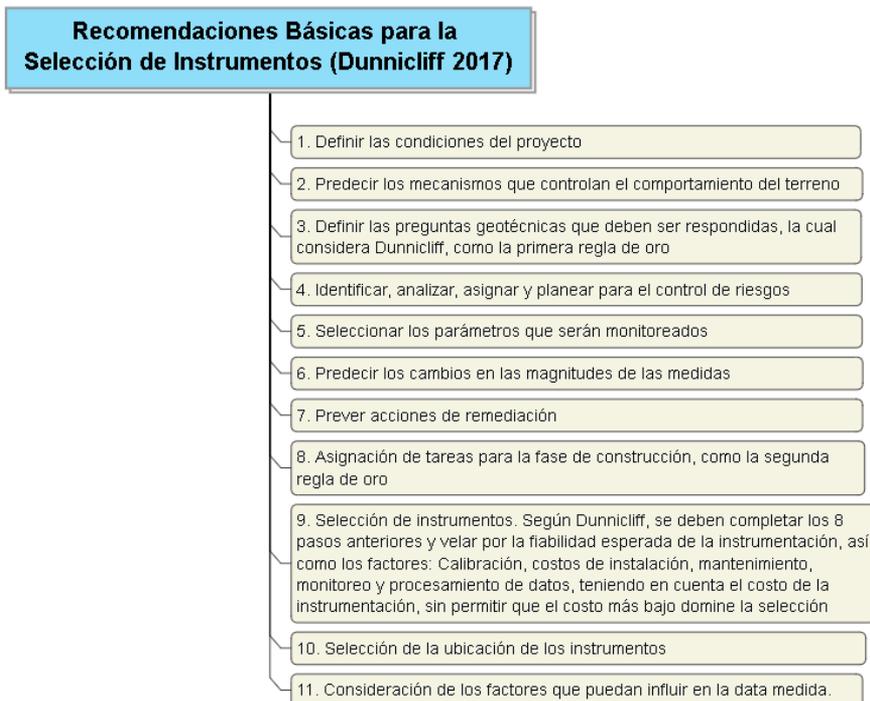


de instrumentación (Papachatzaki et al., 2009). Estos planteamientos sientan algunas bases que soportan la relevancia en la adecuada selección de instrumentación.

Dunnicliff (1982) plantea un concepto fundamental e integral en la selección de la instrumentación aún vigente: que cada instrumento en un proyecto debe ser seleccionado e instalado en un lugar específico, para dar respuesta a una pregunta específica: si no hay una pregunta, no debe haber un instrumento. Más adelante, entre 2012 y 2017, expone lo que se puede considerar como la metodología principal y típicamente usada para la adecuada selección de instrumentación, la cual es soportada en el criterio de expertos. Esta se compila en los siguientes once pasos de la Figura 19:

Figura 19

Recomendaciones básicas en la selección de instrumentación



Conclusiones

Se establece que, en el desarrollo de la ingeniería de presas es imperativo el seguimiento a la evolución de la instrumentación geotécnica, la electrónica y los sistemas de telecomunicaciones, de suerte que se pueda identificar y seleccionar los sistemas más adecuados para acondicionar las presas con una instrumentación que cumpla con las características requeridas por un proyecto en particular.



Resulta claro que, el estado del arte en la instrumentación geotécnica de presas abre la puerta en la búsqueda de una solución integral que establezca una metodología como soporte al geotecnista o instrumentista, en la obtención de los elementos necesarios para seleccionar la instrumentación más adecuada según sean los requerimientos.

Se ilustra el estado del arte en la instrumentación de presas, con el ejemplo reciente de la actualización de la presa Miraflores de EPM, la cual compila un importante grupo de instrumentos usados comúnmente para el monitoreo dinámico de presas.

La gestión integral del riesgo involucra, entre otros aspectos, la cuantificación de los riesgos particulares de cada estructura, además de aquellos que potencialmente son producidos y encadenados aguas abajo por fallos individuales. En tal sentido, resulta de particular importancia proveer y gestionar sistemas de instrumentación pertinentes para cada presa, pues ello conlleva una adecuada mitigación de riesgos estructurales, geotécnicos e hidráulicos sobre sistemas de embalses encadenados.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y a EPM por facilitar la información de su archivo, necesaria para compilar este artículo.

Referencias

- Atinfo.net. (2023). Auscultación y Taller de Ingeniería. Jornada sobre auscultación presas y su cimiento. <https://www.atinfo.net/>
- Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial. (2021). *Nota sobre buenas prácticas: Seguridad de las presas*. Banco Mundial.
- Bassett, R. (2012). *A guide to field instrumentation in geotechnics: principles, installation, and reading*. Taylor & Francis Group, LLC.
- Canadian Dam Association (CDA). (2013). Dam Safety Guidelines 2007. <https://cda.ca/publications/cda-guidance-documents/dam-safety-publications>
- Castillo, L. G. y De Cos, O. (1997). Corrección de la fórmula del SMPDBK para el cálculo del caudal pico de rotura de presas. *VII Congreso Nacional de Hidráulica*. https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/congresos/Quito_CorreccionSMPDBK_1997.pdf
- CIRIA. (2013). *The International Levee Handbook*. CIRIA, Griffin Court.



- Comité Nacional Español de Grandes Presas. (2018). Legislación de Seguridad de Presas en España. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/03_-_escuder_bueno_legislacion_sp_espana.pdf
- Das, B. M. & Sivakugan, N. (2017). *Fundamentals of Geotechnical Engineering* (7th ed.). CENGAGE.
- Díaz-Sepúlveda, D. F. (2014). *Validación de un modelo numérico de diseño de presas de enrocado con cara de concreto a partir de la instrumentación geotécnica caso Porce III* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52000>
- Dunnicliff, J. (1982). *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance*. National Research Council.
- Empresas Públicas de Medellín (EPM). (2021). EPM ejecuta obras de actualización y mejoramiento de la presa Miraflores. <https://cu.epm.com.co/clientesyusuarios/noticias-y-novedades/epm-ejecuta-obras-de-actualización-y-mejoramiento-de-la-presa-miraflores>
- Geokon. (s.f.). New satellite network loggers. <https://www.geokon.com/>
- Government of Malaysia. (2017). Malaysia Dam Safety Management Guidelines (MyDAMs). [https://www.water.gov.my/jps/resources/PDF/MyDAMS_2017_\(Free_Copy\).pdf](https://www.water.gov.my/jps/resources/PDF/MyDAMS_2017_(Free_Copy).pdf)
- Iglesias, C. A. (2010). *La instrumentación como medio de validación de diseños geotécnicos* [Tesis de Maestría, Universidad EAFIT]. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/1224>
- Instituto Geofísico - EPN. (2023). Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC). <https://www.igepn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos>
- Masoumi, I., Ahangari, K., & Noorzad, A. (2017). Reliable monitoring of embankment dams with optimal selection of geotechnical instruments. *Structural Monitoring and Maintenance*, 4(1), 85-108. <https://doi.org/10.12989/smm.2017.4.1.085>
- Masoumi, I., Ahangari, K., & Noorzad, A. (2018). Integrated fuzzy decision approach for reliability improvement of dam instrumentation and monitoring. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 3(2), 114-125. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24705314.2018.1461546>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2001). Guía técnica para la elaboración de los planes de emergencia de presas. https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/guia_planes_emergencia_tcm30-216054.pdf



- Morera, G. (2016). *Instrumentación y monitorización geotécnica del nuevo túnel "El Melón"* [Tesis de Pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía]. https://oa.upm.es/42989/1/PFG_Gonzalo_Morera-de_la_Vall_Gonzalez.pdf
- Newell, S., Hajdukiewicz, M., & Goggins, J. (2016). Real-time monitoring to investigate structural performance of hybrid precast concrete educational buildings. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 1(4), 147-155. <https://doi.org/10.1080/24705314.2016.1240525>
- Papachatzaki, Z., Anastasopoulos, K., Oikonomidis, C., & Siachou, S. (2009). Experiences from the installation of geotechnical instruments in dams. En *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (pp. 2021-2024). M. Hamza et al. (eds.). IOS Press.
- Prasad, B. & Naik, S. R. (2021). Importance of Instrumentation in Hydropower Projects. *Journal of Geological Research*, 3(2), 53-59. <https://doi.org/10.30564/jgr.v3i2.3018>
- Seyed-Kolbadi, S. M., Hariri-Ardebili, M. A., Mirtaheri, M., & F. Pourkamali-Anaraki, F. (2020). Instrumented Health Monitoring of an Earth Dam. *Infrastructures*, 5(3), 26. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5030026>
- Sharma, R. P. & Kumar, A. (2013). Case Histories of Earthen Dam Failures International. Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. <https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3092&context=icchge>
- Sisgeo. (s.f.). Instrumentación para geotecnia y monitoreo estructural. <https://www.sisgeo.com/es/>
- Tobón, A. y Miranda, R. (eds.). (2008). *Ingeniería de presas en Empresas Públicas de Medellín*. Empresas Públicas de Medellín.
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. (2012). Colorado River Basin water supply and demand study. https://www.usbr.gov/lc/region/programs/crbstudy/finalreport/Study%20Report/StudyReport_FINAL_Dec2012.pdf
- Vargas, A. (2019). Experiencias en el desarrollo de la instrumentación geotécnica y del método observacional en las grandes presas construidas para generación hidroeléctrica en México y la factibilidad de implementarse en presas de relaves mineros (residuos mineros). En *Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges* (pp. 1918-1928). 10.3233/STAL190250. <https://ebooks.iospress.nl/publication/53461>



Capítulo 9

Evaluación de sostenibilidad de la microcuenca de Tona mediante la cuantificación de su huella hídrica

Massiel Hernández Tarazona¹
Carlos Fernando Arenas Jimenez²
Yurley Paola Villabona Durán³

Cítese como: Hernández-Tarazona, M., Arenas-Jimenez, C. F. y Villabona-Durán, Y. P. (2023). Evaluación de sostenibilidad de la microcuenca de Tona mediante la cuantificación de su huella hídrica. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 163-178). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c358>

Resumen

La sostenibilidad en el uso del agua se ha convertido en uno de los temas de mayor prioridad para mejorar la gestión hídrica por parte de las entidades territoriales. Es por esto por lo que, Arjen Hoekstra y sus colaboradores definieron la metodología de la huella hídrica para calcular la cantidad de agua consumida en un área determinada, así como la sostenibilidad de dicho consumo. A su vez, la microcuenca del río Tona es una de las principales fuentes hídricas que abastece la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, así como las zonas de producción agropecuaria. Por lo anterior, la presente investigación evaluó la sostenibilidad de la microcuenca de Tona a partir de la medición de los indicadores de huella hídrica sobre el sector agropecuario.

Según este propósito, se estableció dos años de estudio: 2017 y 2020, clasificados como seco y húmedo, respectivamente, para analizar la variación de consumo hídrico en distintas condiciones climáticas. A partir de estos años, primero se determinó el indicador de balance hídrico mensual, constituyendo que la zona presenta estabilidad y exceso durante la mayor parte del año. Posteriormente, se construyó un modelo de lluvia escorrentía para estimar la oferta hídrica de los años de estudio. Después, mediante la metodología de Hoekstra se calculó la huella hídrica azul, verde y gris y el consumo por tonelada y a nivel mensual de las actividades agrícolas, encontrando que los

¹ Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, División de Ingenierías y Arquitectura, Ingeniería Civil. Correo electrónico: massiel.hernandez@ustabuca.edu.co

² Magíster en Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, División de Ingenierías y Arquitectura, Ingeniería Civil. Correo electrónico: carlos.arenas@ustabuca.edu.co

³ Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, División de Ingenierías y Arquitectura, Ingeniería Ambiental.



productos con mayor consumo fueron aguacate, cebolla junca, papa y café a nivel agrícola. Con los datos de huella hídrica se comparó el consumo con la oferta para encontrar los puntos de acceso a nivel temporal, definiendo que las épocas de verano o de menor precipitación son las que presentaron un menor grado de sostenibilidad. Finalmente, con el análisis de los resultados de oferta y consumo hídrico, así como la identificación de epicentros ambientales, fue posible determinar la sostenibilidad del área estudiada.

Palabras clave: huella hídrica; sostenibilidad; producción agropecuaria.

Sustainability assessment of the Tona micro-watershed through the quantification of its water footprint

Abstract

Sustainability in water use has become one of the highest priority issues to improve water management by territorial entities. Arjen Hoekstra defined the water footprint methodology to calculate the amount of water consumed in a given area, as well as the sustainability of consumption. The micro-watershed of the Tona River is one of the main water sources that supply the city of Bucaramanga and its metropolitan area, as well as the agricultural production areas, so this research evaluated its sustainability based on the measurement of water footprint indicators on the agricultural sector.

According to this purpose, a study period of two years was established: 2017 and 2020, classified as dry and wet, respectively, to analyze the variation of water consumption in different climatic conditions. From these years, the monthly water balance indicator was determined, establishing that the area presents stability and excess during most of the year. Subsequently, a rainfall-runoff model was constructed to estimate the water supply for the years under study. Then, using the Hoekstra methodology, the blue, green, and gray water footprint and the consumption per ton and at the monthly level of agricultural activities were calculated, finding that the products with the highest consumption were: avocado, onion, potato, and coffee at the agricultural level. With the water footprint data, consumption was compared with supply, to find the access points at the temporal level, defining that the summer seasons or those with less precipitation are the ones that showed a lower degree of sustainability. Finally, with the analysis of the results of water supply and consumption, as well as the identification of environmental epicenters, it was possible to determine the sustainability of the area studied.

Keywords: Water footprint; sustainability; agricultural production.



Avaliação da sustentabilidade da microbacia hidrográfica de Tona por meio da quantificação de sua pegada hídrica

Resumo

A sustentabilidade no uso da água tornou-se uma das questões de maior prioridade para melhorar a gestão da água por entidades territoriais. Arjen Hoekstra definiu a metodologia da pegada hídrica para calcular a quantidade de água consumida em uma determinada área, bem como a sustentabilidade do consumo. A microbacia hidrográfica do Rio Tona é uma das principais fontes de água que abastece a cidade de Bucaramanga e sua área metropolitana, bem como as áreas de produção agrícola, de modo que esta pesquisa avaliou sua sustentabilidade com base na medição dos indicadores de pegada hídrica no setor agrícola.

De acordo com esse objetivo, foi estabelecido um período de estudo de dois anos: 2017 e 2020, classificados como seco e úmido, respectivamente, para analisar a variação do consumo de água em diferentes condições climáticas. A partir desses anos, foi determinado o indicador de balanço hídrico mensal, estabelecendo que a área apresenta estabilidade e excesso durante a maior parte do ano. Posteriormente, foi construído um modelo de precipitação-escoamento para estimar o suprimento de água para os anos em estudo. Em seguida, usando a metodologia de Hoekstra, foram calculadas as pegadas hídricas azul, verde e cinza e o consumo por tonelada e em nível mensal de atividades agrícolas, constatando-se que os produtos com maior consumo foram: abacate, cebola, batata e café em nível agrícola. Com os dados da pegada hídrica, o consumo foi comparado com o fornecimento, para encontrar os pontos de acesso em nível temporal, definindo que as estações de verão ou aquelas com menos precipitação são as que apresentaram um grau mais baixo de sustentabilidade. Finalmente, com a análise dos resultados de abastecimento e consumo de água, bem como a identificação de epicentros ambientais, foi possível determinar a sustentabilidade da área estudada.

Palavras-chave: pegada hídrica; sustentabilidade; produção agrícola.

Introducción

La evaluación de la sostenibilidad en cuencas y microcuencas permite analizar la gestión de los cuerpos hídricos en áreas específicas, haciendo posible determinar si el uso del agua es sostenible. Es importante, ya que estos son sistemas hídricos complejos en los que hay cambios tanto bióticos como abióticos y, representan el sustento de agua necesario para el desarrollo de la vida humana.

En Colombia, el departamento de Santander presenta un déficit de oferta hídrica ya que, de los 87 municipios, el 57,5 % evidencia alto riesgo de desabastecimiento hídrico en épocas de sequía, frente a posibles déficits de precipitación; y, considerando que más del 50 % de la población santandereana



vive en el área metropolitana de Bucaramanga, se hace imprescindible asegurar el abastecimiento de la población en esta zona de gran concentración. Por otra parte, según datos del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB), la cuenca del río Tona brinda el mayor aporte de caudal, siendo este de 52,4 %. Sin embargo, debido a que la demanda supera el 40 % del agua disponible, se ocasiona que esta microcuenca sea más vulnerable en comparación a las otras cuencas. A partir de esta problemática surge la siguiente pregunta: ¿Qué tan sostenible es el consumo hídrico en la microcuenca de Tona?

Con el objeto de resolver dicho interrogante, el proyecto propone evaluar la sostenibilidad de la microcuenca de Tona, lo que implica el cálculo de la huella hídrica (HH) de las actividades agrícolas asociadas a la cuenca, la realización del modelo hidrológico para definir el comportamiento de la cuenca y, la elaboración de mapas en la zona delimitada, para mostrar gráficamente las variaciones climáticas y zonas de riesgo o sobreexplotación dentro de la cuenca.

Objetivos

Objetivo general: Evaluar la sostenibilidad de la zona baja de la microcuenca del río Tona mediante la cuantificación de su huella hídrica, determinando si se presenta déficit hídrico.

Objetivos específicos

- Estimar la oferta hídrica de la cuenca mediante un modelo de lluvia-escorrentía, definiendo de esta forma el volumen de agua disponible.
- Determinar la huella hídrica de las actividades agropecuarias con mayor afectación en la subcuenca del río Tona mediante un modelo de cuantificación, estableciendo así el volumen de agua consumida.
- Identificar los epicentros ambientales mediante un análisis comparativo entre oferta y demanda en la zona de estudio, proponiendo lineamientos de gestión sobre el recurso hídrico.

Desarrollo

Diseño de investigación

El proyecto de investigación *Evaluación de la sostenibilidad de la microcuenca de Tona mediante la cuantificación de su huella hídrica* tiene como propósito, evaluar la sostenibilidad de la cuenca mediante la cuantificación de la HH de los productos agrícolas más cultivados en la zona; por esto, su diseño es no experimental, ya que no busca brindar conocimiento extra sobre un área poco estudiada, sino evaluar un fenómeno real a partir del procesamiento de datos recolectados, sin manipularlos deliberadamente. Además, no se limita solo a la observación, sino que incluye el análisis y evaluación del fenómeno.



Por otra parte, dado que el tiempo de estudio fueron dos años puntuales, analizados de forma independiente, cuyos datos fueron obtenidos una única vez, el proyecto tiene un diseño transversal, con una estimación de obtención de resultados en un plazo de cuatro meses. Finalmente, según el objetivo propuesto, este proyecto es de tipo evaluativo, porque pretende evaluar el impacto que tienen las actividades agrícolas sobre la disponibilidad de agua en el río Tona, midiendo la sostenibilidad del gasto hídrico que generan y así, proporcionar información clara sobre el consumo de agua en la zona y el nivel de afectación que tiene tanto para la población del área metropolitana de Bucaramanga, como sobre las áreas productivas de la cuenca.

Lugar

El proyecto de investigación consideró la totalidad de la microcuenca de Tona, pues la distribución espacial de las áreas de cultivo no se encuentra en un mismo lugar sino de manera aleatoria, a lo largo de la delimitación de la cuenca. La ubicación de los puntos de medición de caudales sobre el río se distribuye entre las zonas alta y baja de la cuenca. Además, se tuvo en cuenta el caudal de captación final que alimenta la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de La Flora.

Enfoque

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que el propósito, necesidad y obtención de información así lo requieren; la recolección fue mediante la aplicación de encuestas y solicitudes de datos numéricos. A su vez, para lograr el objetivo y responder la pregunta de investigación, se debió hacer un análisis mediante ecuaciones establecidas y métodos estadístico de los datos que, a su vez, son expuestos en los resultados a través de gráficas estadísticas.

Población

La población de estudio fue seleccionada según las actividades económicas más desarrolladas en la zona y, dado que solo se halló producción agrícola, la población a estudiar se definió como los cultivos con mayor rendimiento. La obtención de estos cultivos se hizo mediante una consulta a la dependencia de agricultura de la Alcaldía de Tona; tras establecer los cultivos, se hizo una clasificación en dos grupos: permanentes y transitorios.



Figura 1

Población de estudio

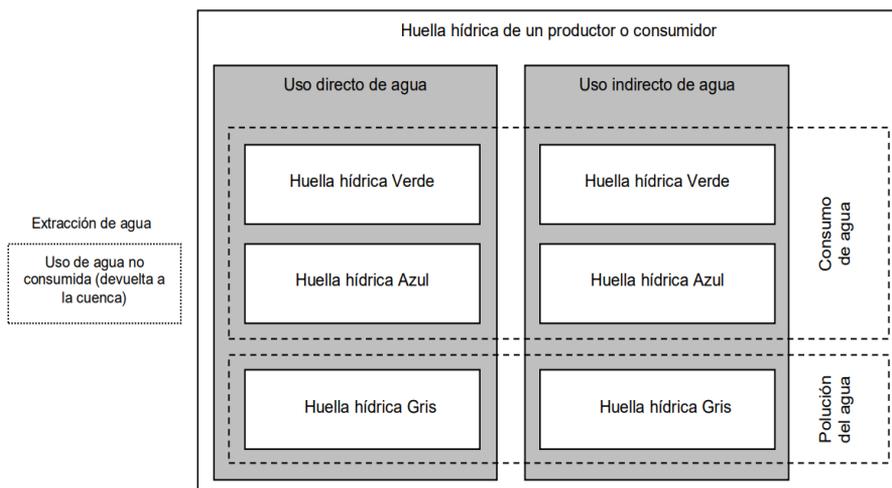
| Cultivos | |
|-------------|--------------|
| Permanentes | Transitorios |
| Café | Papa |
| Aguacate | Cebolla |
| Mora | Tomate |
| Plátano | Maíz |
| | Yuca |
| | Habichuela |

Técnicas de análisis

Huella hídrica: es una medida volumétrica del consumo y la contaminación del agua; no es una medida de la gravedad del impacto medioambiental local del consumo y la contaminación del agua. En términos generales, el objetivo de la evaluación de la HH es analizar cómo las actividades humanas o productos específicos están relacionados con los problemas de escasez y contaminación del agua y, ver cómo las actividades y los productos pueden ser más sostenibles desde el punto de vista del agua.

Figura 2

Componentes de huella hídrica en productos



HH verde: es un indicador del uso humano de la llamada ‘agua verde’; esta se refiere a las precipitaciones en tierra que no se escurren ni recargan las aguas subterráneas, sino que se almacenan en el suelo o permanecen



temporalmente sobre el suelo o la vegetación. Finalmente, esta parte de la precipitación se evapora o transpira a través de las plantas.

$$\mathbf{HHverde = Agua\ evapotranspirada + agua\ incorporada\ (1)}$$

HH azul: es un indicador del uso consuntivo de las denominadas aguas azules; es decir, agua dulce superficial o subterránea. El término 'uso consuntivo de agua' se refiere a uno de los cuatro casos siguientes: 1) el agua se evapora; 2) se incorpora al producto; 3) no vuelve a la cuenca y 4) el agua no retorna en el mismo período; por ejemplo, se extrae en un período de escasez y se devuelve en un período húmedo.

$$\mathbf{HHAzul = Agua\ evaporada + agua\ incorporada + agua\ que\ no\ retorna\ (2)}$$

HH gris: se define como el volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de contaminantes en función de las concentraciones naturales de fondo y de las normas de calidad del agua existentes.

$$\mathbf{HHgris = \frac{Qvertido * Cvertida - Qcaptado * Ccaptada}{Cm\acute{a}x - Cnat}\ (3)}$$

HH total: la HH total del proceso de cultivo de plantas o árboles (WF proc) es, básicamente, la suma de los componentes verde, azul y gris:

$$\mathbf{HHTotal = HHAzul + HHverde + HHgris\ (4)}$$

Modelo hidrológico

Es necesario aclarar que, para llevar a cabo este procedimiento fue necesario recolectar información de diversas fuentes, incluyendo bases de datos abiertas y, hacer solicitudes a entidades privadas, así como, hacer una revisión teórica.

Para la realización del modelo se debía contar con información de la variación climática y la precipitación de los años estudiados, lo cual se obtuvo a partir de las bases de datos del IDEAM y NASA, destacando que, si bien en la cuenca hay al menos 15 estaciones climáticas y pluviométricas, se escogió solamente tres y cuatro respectivamente, ya que eran las únicas que contaban con datos completos, por lo que se evitó efectuar algún tipo de método para rellenar datos. Además, la información respectiva a caudales de la cuenca fue solicitada al AMB mediante un acuerdo de tratamiento adecuado de datos emitida bajo la autorización del director del proyecto de investigación. Finalmente, los datos de caracterización morfométrica de la cuenca fueron extraídos de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas (POMCA).

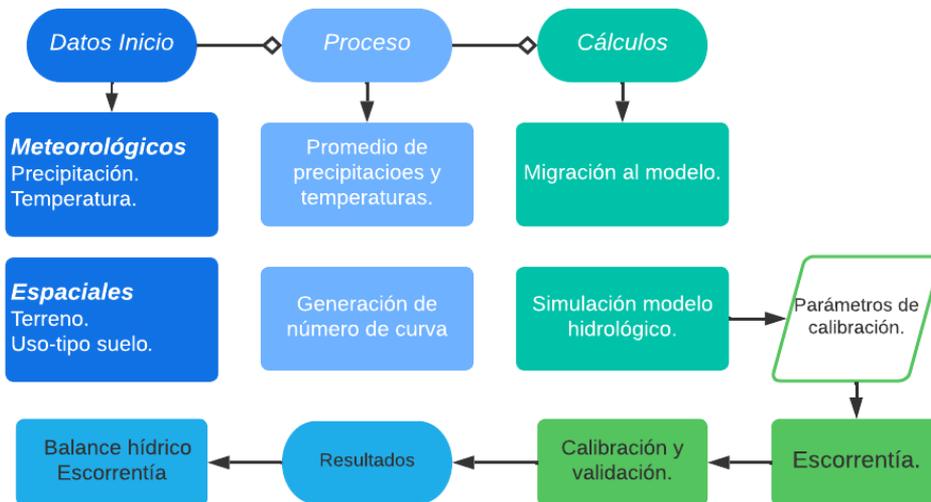


En la delimitación de las áreas se estableció una diferencia entre usos del suelo, denotando los de conservación como las zonas boscosas y los productivos como los de cultivos, pastos y residenciales.

Para la modelación se empleó el software libre de HEC-HMS 4.10 y se requirió la utilización de varios mapas con información de curvas de elevación, dirección y acumulación de flujo, tipos y coberturas del suelo. Según estos datos de entrada y el cálculo de número de curva de la cuenca, se realizó la respectiva calibración y validación del modelo hidrológico. Este procedimiento se muestra gráficamente en la Figura 3.

Figura 3

Proceso de modelación hidrológica



Desarrollo metodológico

Tabla 1

Desarrollo metodológico

| Objetivos | Actividades | Descripción |
|--|--|--|
| | Recolección de datos meteorológicos del IDEAM | Según los datos de las estaciones meteorológicas del IDEAM, se hace la selección de los años de estudio (seco y húmedo) no mayor a cinco años. |
| | Generación de mapa mediante un sistema de información geográfico | A partir de una herramienta SIG se genera un mapa con capas, definiendo las áreas productivas de estudio, los usos del suelo en la cuenca y los puntos críticos en las zonas de mayor consumo. |
| Estimar la oferta hídrica de la cuenca mediante un modelo lluvia-escorrentía definiendo de esta forma el volumen de agua disponible. | Elaboración de modelo lluvia-escorrentía en HEC-HMS | Procesamiento de mapas e información climatológica para el modelamiento de caudales medios mensuales del río Tona a partir de dos años elegidos (seco-húmedo) de la información previamente analizada. |
| | Calibración y validación del modelo | Se realiza esta actividad a partir de datos históricos de caudales del río Tona |
| | Estimación de caudales ecológicos mensuales | Con la delimitación de la cuenca, datos climáticos y de caudales, se calcula el caudal ecológico. |
| | Determinación de oferta hídrica | De acuerdo con el caudal total modelado y el caudal ecológico, se define la cantidad de agua disponible en el río Tona |



| | |
|--|--|
| <p>Trabajo de campo para identificar las actividades agropecuarias en la zona de estudio</p> | <p>Salida de campo a la Alcaldía y veredas de Tona para identificar y/o actualizar las actividades agropecuarias que se desarrolla en el área de estudio.</p> |
| <p>Recolección de información sobre consumo hídrico</p> | <p>Se recolecta por medio de fuentes como la Alcaldía de Tona, para realizar la descripción de las actividades agropecuarias que se lleva a cabo en la zona de estudio.</p> |
| <p>Recolección de información sobre caudales de ingreso a plantas de tratamiento de Bucaramanga</p> | <p>A partir de datos de caudales de ingreso a la planta de La Flora registrados por la AMB.</p> |
| <p>Cálculo de HH (verde, azul y gris) de la zona de estudio.</p> | <p>Según la metodología propuesta por Hoekstra et al. (2011)</p> |
| <p>Análisis de mapas de coberturas según el uso de suelo y delimitación de áreas de actividades agropecuarias</p> | <p>A partir de las capas de uso y tipos de suelos obtenidas se crea un mapa, diferenciando las zonas naturales de las explotadas.</p> |
| <p>Identificación de puntos críticos espaciales y/o temporales de consumo hídrico</p> | <p>Identificar actividades o períodos de tiempo que superen la oferta hídrica de la cuenca.</p> |
| <p>Comparación entre oferta y demanda hídrica calculadas</p> | <p>A partir de los resultados calculados sobre el balance hídrico, caudal ecológico calculado y HH de los productos.</p> |
| <p>Determinar la HH de las actividades agropecuarias con mayor afectación en la subcuenca del río Tona mediante un modelo de cuantificación, estableciendo así el volumen de agua consumida.</p> | <p>Identificar los epicentros ambientales mediante un análisis comparativo entre oferta y demanda en la zona de estudio, proponiendo así lineamientos de gestión sobre el recurso hídrico.</p> |



Resultados

A continuación, se muestra brevemente los principales resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto. Primero, se realizó la denotación de los puntos críticos; si bien se contaba con la presencia de estos por la superación de demanda de los cultivos, especialmente en la época seca de 2020, no se esperaba que de la totalidad de la cuenca el 58,9 % fuese sobreutilizada.

Figura 4

Zonas sobreexplotadas de la microcuenca

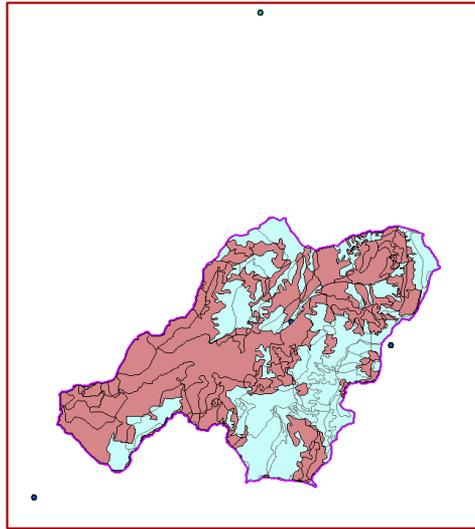


Figura 5

Balance hídrico 2017

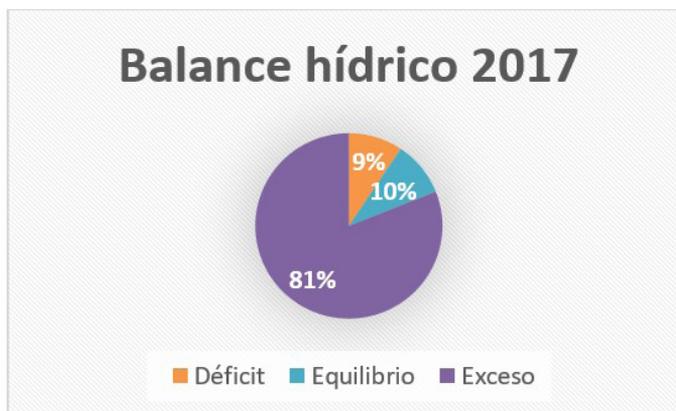


Figura 6

Balance hídrico 2020



Estas gráficas permiten evidenciar la diferencia entre exceso y déficit, ya que hubo una disminución del exceso para 2020 de 6 % y aumento en el déficit de 6 % también, lo cual se debe a las variaciones en las temperaturas y precipitaciones, pues el año húmedo fue 2017 y el seco, 2020, aunque la variación no fue drástica porque la cuenca se ubica en una zona templada, relativamente alta (1.893 m s.n.m.) y cercana al páramo de Santurban; de ahí que el exceso sea mayor al 70 % en ambos años.

Por otra parte, de los cultivos analizados se identificó que los de mayor consumo entre los permanentes fueron el café y la cebolla; en el caso de los transitorios, para ambos años; por esto, se hace un mayor énfasis en estos dos productos.

Tabla 2

Huella hídrica total 2017

| 2017 | | | | | |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------|
| Cultivo | HH Verde (m3) | HH Azul (m3) | HH Gris (m3) | TOTAL | % |
| Aguacate | 706077 | 43416 | 62308,5 | 811801,5 | 5% |
| Café | 2827930 | 593205 | 338528,2 | 3759663,2 | 24% |
| Plátano | 1294540 | 253240 | 149336,6 | 1697116,6 | 11% |
| Mora | 74295 | 330 | 2223,4 | 76848,4 | 0,5% |
| Cebolla | 3783720 | 824111 | 2532430,5 | 7140261,5 | 46% |
| Papa | 1142155 | 169520 | 2223,4 | 1313898,4 | 8% |
| Yuca | 206815 | 38500 | 135619,3 | 380934,3 | 2% |
| Tomate | 152702 | 24914 | 29934,9 | 207550,9 | 1% |
| Habichuela | 36492 | 790 | 2276,8 | 39558,8 | 0,3% |
| Maíz | 178486 | 34364 | 38001,9 | 250851,9 | 2% |
| TOTAL | 10403212,00 | 1982390,00 | 3292883,52 | 15678485,52 | 100% |



Tabla 3

Huella hídrica total 2020

| 2020 | | | | | |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------|
| Cultivo | HH Verde (m3) | HH Azul (m3) | HH Gris (m3) | TOTAL | % |
| Aguacate | 1187480 | 91840 | 85614,7 | 1364934,7 | 8% |
| Café | 2717760 | 1063240 | 351333,1 | 4132333,1 | 24% |
| Plátano | 36540 | 32670 | 2223,4 | 71433,4 | 0% |
| Mora | 47940 | 9180 | 2223,4 | 59343,4 | 0,4% |
| Cebolla | 4270350 | 845250 | 3260080,4 | 8375680,4 | 49% |
| Papa | 1059700 | 641900 | 869354,8 | 2570954,8 | 15% |
| Yuca | 49170 | 31215 | 39121,0 | 119506,0 | 1% |
| Tomate | 79144 | 0 | 20801,1 | 99945,1 | 1% |
| Habichuela | 21310 | 1850 | 1319,9 | 24479,9 | 0% |
| Maíz | 104468 | 12660 | 14667,4 | 131795,4 | 1% |
| TOTAL | 9573862,00 | 2729805,00 | 4646739,15 | 16950406,15 | 100% |

Solo estos dos productos representan un consumo de agua de más del 60 %, siendo en cada año, respectivamente, 70 % y 73 %, habiendo un aumento del 3 % para el gasto hídrico de la cebolla en el año 2020.

Figura 7

Huella hídrica de café 2017

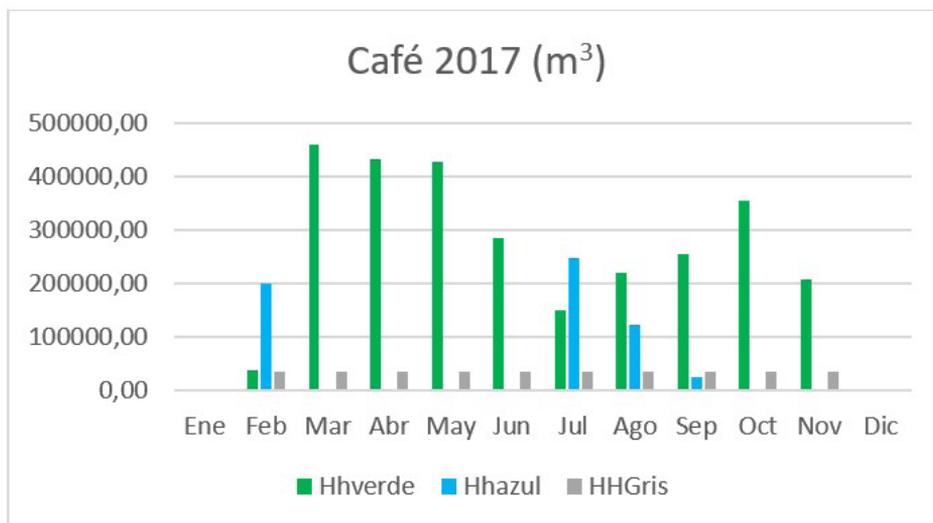
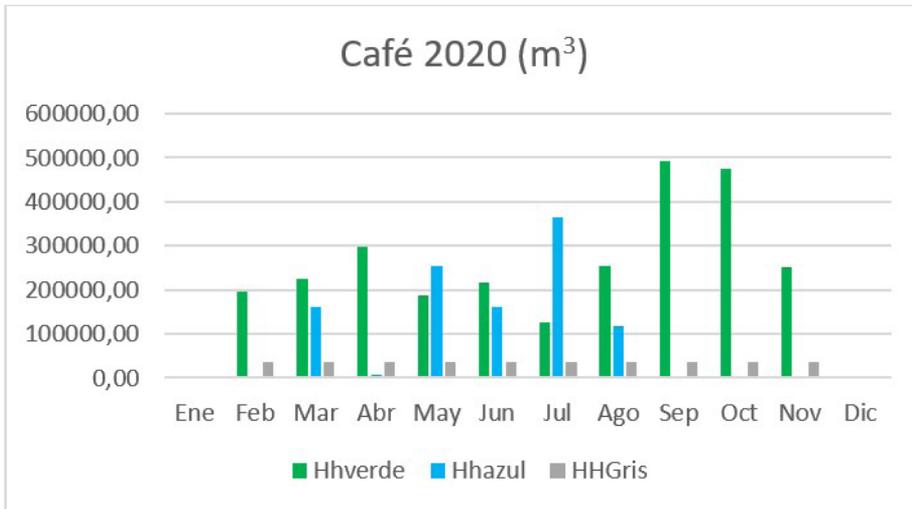


Figura 8

Huella hídrica de café 2020



Comparando el comportamiento de disponibilidad y consumo hídrico para el café, se puede decir que, en 2017 la disponibilidad de agua en el suelo fue superada por el consumo en los meses de febrero y julio, a diferencia de 2020 que fue en mayo y julio. Además, se evidencia que en el segundo año hay mayor consumo de agua azul, siendo 1'057.920 m³, a diferencia de 2017 que fue de 593.205 m³. Sin embargo, la producción solo aumentó un 8 % en 2020, pasando de 419 Ton a 456 Ton, respectivamente.

Figura 9

Huella hídrica cebolla 2017

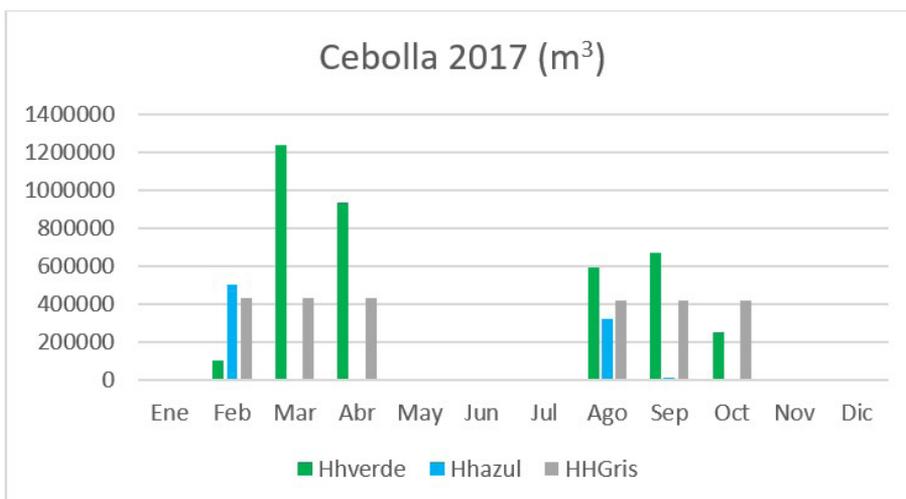
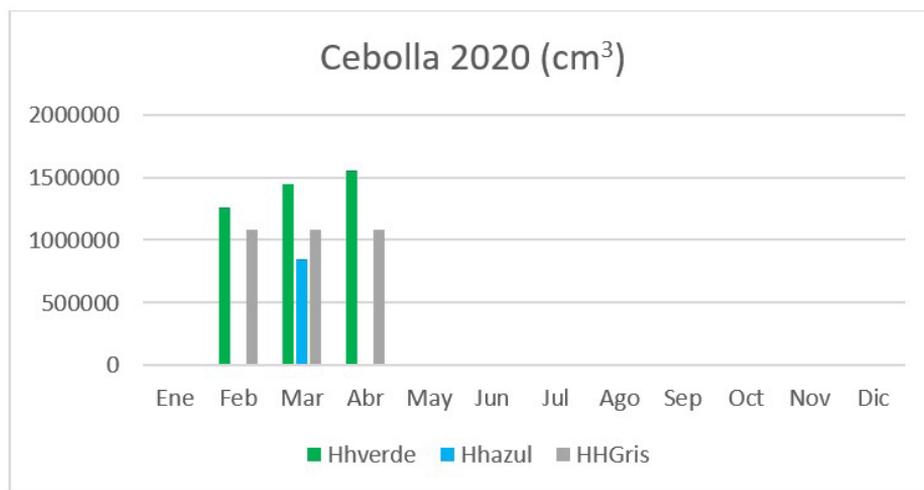


Figura 10

Huella hídrica cebolla 2020



Para la cebolla se observó que, en el año 2020 no hubo producción en el segundo semestre; y, solo el mes de febrero de 2017 presentó mayor consumo de agua frente a la disponible en el suelo. A su vez, aunque solo hubo gasto de agua en mayo, este fue más alto que la requerida en todo 2017, con un valor de 845.250 m³ para 2020, frente a 822.255 m³ en 2017. Por su parte, la producción de 2020 superó la de 2017 en 58 %, siendo de 54.230 Ton y 85.750 Ton, respectivamente.

Conclusiones

Los cultivos con mayor consumo fueron el café (3'759.663) y cebolla (7'140.261) para el año 2017. En 2020 fueron 4'132.333 y 8'375.680, correspondientemente.

Los puntos críticos temporales fueron definidos por los meses de febrero y julio para 2017, y, mayo y julio para 2020. Respecto a los espaciales, se apreció que más de la mitad de la cuenca se encuentra en estado crítico o en sobreexplotación (58,9 %).

La HH total para 2017 fue de 15'678.485 y en 2020 de 16'950.406, habiendo mayor demanda hídrica para los cultivos en el último año, siendo más de 1'000.000 de m³ de agua.

Hubo menor producción agrícola en 2020 pero, presentó mayor gasto hídrico, ya que solo dos de los seis cultivos transitorios (maíz, papa) tuvieron cosecha en ambos semestres, mientras los demás la tuvieron únicamente en el primer semestre.

La cuenca está siendo sobre explotada en más de la mitad de su área y, dado que hubo una disminución en el exceso hídrico, así como un aumento de



déficit en el año seco por la variación climática, es posible afirmar que esta cuenca es altamente vulnerable a presentar disminución en su caudal durante las futuras épocas de verano o sequía que haya en la zona metropolitana de Bucaramanga, lo cual pone en riesgo de desabastecimiento de agua a la población, para dichas temporadas.

Referencias

Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (AMB). (2014). Gestión 2014. Informe de Sustentabilidad. http://www.amb.com.co/Indicadores/Archivos/Sostenibilidad_Ambiental_2014.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Earthscan, Ltd.



Capítulo 10

Factores de deserción escolar en alumnos del Tecnológico Superior de Champotón, generación 2017-2021

Iris del Carmen Delgado Aguilar¹
Cintia del Carmen Hernández Crisostomo
Ivonne Medelij Cobos Sleme

Cítese como: Delgado-Aguilar, I. C., Hernández-Crisostomo, C. D. Y Cobos-Sleme, I. M. (2023). Factores de deserción escolar en alumnos del Tecnológico Superior de Champotón, generación 2017-2021. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 179-190). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c359>

Resumen

En México, la deserción en estudiantes de nivel superior forma uno de los problemas más notables de todo el país, ya que los jóvenes no logran terminar sus estudios, por diversos factores. La Secretaría de Educación Pública en particular, considera la deserción escolar como el abandono académico antes de su culminación. El propósito del trabajo fue determinar los principales factores de deserción escolar del Instituto Tecnológico Superior de Champotón, Campeche, con la finalidad de implementar estrategias y alternativas de solución que puedan favorecer el equilibrio o aumento de la matrícula institucional. El método que se usó fue una entrevista estructurada, exploratoria y de tipo inductivo. La muestra fue de 60 docentes, incluyendo personal administrativo, que están involucrados con la información requerida. Los resultados de este estudio mostraron que el factor económico es la principal causa de deserción escolar, con un 18,64 %, seguido del factor familiar con un 11,86 %. Se concluye que las principales estrategias y alternativas de mejora para la institución son: la implementación de becas internas, independientemente de las que proporcionan los gobiernos federales, una casa habitación para alumnos foráneos, la reestructuración del programa de tutorías y la implementación de cursos talleres psicológicos para los alumnos.

Palabras clave: deserción escolar; alumnos.

¹ Correo: iris.da@champon.tecnm.mx



Dropout factors in students of the Tecnológico Superior de Champotón, generation 2017-2021

Abstract

In Mexico, dropout among higher education students is one of the most notable problems in the country, as young people fail to complete their studies due to a variety of factors. The Ministry of Public Education, in particular, considers school dropout as academic abandonment before completion. The purpose of this study was to determine the main factors of school dropout at the Instituto Tecnológico Superior de Champotón, Campeche, to implement strategies and alternative solutions that could favor the balance or increase of institutional enrollment. The method used was a structured, exploratory, and inductive interview. The sample consisted of 60 teachers, including administrative personnel, who are involved with the required information. The results of this study showed that the economic factor is the main cause, with 18.64%, followed by the family factor with 11.86%. It is concluded that the main strategies and improvement alternatives for the institution are: the implementation of internal scholarships, independently of those provided by the federal government, a house for foreign students, the restructuring of the tutoring program, and the implementation of psychological workshops for students.

Keywords: school dropout; students.

Fatores de evasão dos alunos do Tecnológico Superior de Champotón, geração 2017-2021

Resumo

No México, a evasão escolar entre os alunos do ensino superior é um dos problemas mais notáveis do país, pois os jovens não conseguem concluir seus estudos devido a uma série de fatores. O Ministério da Educação Pública, em particular, considera a evasão escolar como o abandono acadêmico antes da conclusão. O objetivo deste estudo foi determinar os principais fatores da evasão escolar no Instituto Tecnológico Superior de Champotón, Campeche, para implementar estratégias e soluções alternativas que possam favorecer o equilíbrio ou o aumento da matrícula institucional. O método utilizado foi uma entrevista estruturada, exploratória e indutiva. A amostra foi composta por 60 professores, incluindo o pessoal administrativo, que estão envolvidos com as informações necessárias. Os resultados desse estudo mostraram que o fator econômico é a principal causa, com 18,64%, seguido pelo fator familiar, com 11,86%. Conclui-se que as principais estratégias e alternativas de melhoria para a instituição são: a implementação de bolsas de estudo internas, independentemente daquelas fornecidas pelo governo federal, uma casa para alunos estrangeiros, a reestruturação do programa de tutoria e a implementação de oficinas psicológicas para os alunos.

Palavras-chave: evasão escolar; alunos.



Introducción

El Tecnológico Nacional de México (TecNM) está constituido por 266 instituciones, de las cuales 126 son institutos tecnológicos federales; 134, institutos tecnológicos descentralizados; cuatro, centros regionales de optimización y desarrollo de equipo (CRODE); un centro interdisciplinario de investigación y docencia en educación técnica (CIIDET) y, un centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico (CENIDET). En estas instituciones, el TecNM atiende a una población escolar de 521 105 estudiantes en licenciatura y posgrado en todo el territorio nacional, incluido el Distrito Federal.

En el año 2006 se inauguró el Instituto Tecnológico en el municipio de Champotón del Estado de Campeche, el cual hasta hoy sigue en construcción y ampliación de las instalaciones. Este plantel se inauguró el 3 de octubre del año 2006, ofreciendo las carreras de Ingeniería en administración, Ingeniería en computación, Ingeniería ambiental, Ingeniería en electromecánica, Ingeniería en gestión empresarial y Licenciatura en turismo. Su planta física cuenta actualmente con un total de 32 aulas, una cancha techada, una cancha de baloncesto, una cancha de fútbol, un centro de cómputo, un laboratorio de informática, un taller de electromecánica, un taller de laboratorio de química, física, un taller de inglés, un auditorio, equipos de cómputo, multimedia, centro bibliotecario; además, diversas áreas administrativas y de dirección; actualmente, tiene una población de 836 alumnos.

Si bien se tiene instalaciones, personal docente, administrativo, directivo y el alumnado, lo complicado es mantener el número de alumnos hasta concluir, ya que muchos de ellos desertan o abandonan su carrera.

La deserción escolar lleva al fracaso escolar y, por lo tanto, podría afectar psicológicamente a los estudiantes (Perassi, 2009). La Constitución Nacional y la Ley General de Educación buscan asegurar las condiciones de permanencia y calidad en el sistema educativo de la población estudiantil, hasta concluir con sus estudios, para obtener a través de ella una mejor calidad de vida.

Hoy en día, la deserción escolar es una problemática que ha afectado a muchos estudiantes en todo el país y, como consecuencia, ha dejado problemas sociales que impactan en el desarrollo económico. Por eso, en este estudio se pretende conocer los principales factores que interrumpen la culminación de las carreras de los estudiantes de nivel superior del Instituto Tecnológico Superior de Champotón, Campeche para, posteriormente ofrecer alternativas estratégicas que puedan mejorar y favorecer la continuación escolar. La metodología que se llevó a cabo fue de tipo cualitativo, ya que describe los contextos a estudiar, interpretar los fenómenos y, dar significado a los factores que ocasionan la deserción escolar (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2014).

Las problemáticas abordadas en la institución fueron: el reducido número de matrículas de los alumnos y el riesgo de que las carreras desaparezcan, lo cual propiciaría menos oportunidades para las futuras generaciones y, por lo tanto, reduciría la oportunidad de empleo a personal docente y administrativo.



Bachman et al. (como se cita en Martínez y Ortega, s.f.) sostienen que, faltar a clases un significativo número de veces por diversas circunstancias o por salud, puede originar la deserción escolar.

El objetivo principal del estudio actual es implementar estrategias y alternativas que favorezcan el incremento de la matrícula estudiantil, así como, ofrecer una mejor calidad educativa. Las teorías que han investigado el problema de la deserción escolar han estado centradas en valorar las peculiaridades escolares, económicas, sociales, psicológicas y contextuales de los estudiantes cuando ingresan a la educación superior.

La problemática de la deserción sigue siendo cada vez más notoria en las zonas rurales, llegando en muchos países a multiplicar la tasa entre los estudiantes urbanos. Hoy en día, en las instituciones de nuestro país, es evidente el índice de deserción escolar en el Instituto Tecnológico Superior de Champotón. Entre los factores de deserción escolar, los principales son los contextos sociales, culturales, económicos y familiares, identificados como factores que propician el fracaso escolar.

Metodología

Este estudio se enfoca en identificar el principal factor escolar que propicia la deserción en alumnos de nivel superior, para poder determinar y diseñar estrategias que favorezcan la problemática que se presenta. Para su realización, se utilizó la metodología descriptiva, ya que se busca definir las características de personas, grupos o comunidades; mide y evalúa diversos aspectos del ser humano y su contexto; incluso, este estudio es diseño no experimental y transversal, ya que no hay comparación de grupos ni manipulación de variables; su propósito es describir variables (Hernández et al., 2014).

Para la recolección de datos o información se realizó una entrevista estructurada de elaboración propia, que constó de diez preguntas de opción múltiple, a la cual se hizo pilotaje antes de llevar a cabo la adquisición de datos que se requería para el estudio. La entrevista fue aplicada en su mayoría a docentes, incluyendo tutores y algunos de personal administrativo que están involucrados con la información de deserción escolar.

Resultados

Aplicación de la entrevista: se aplicó de manera física a 60 docentes, incluyendo a diez administrativos para, posteriormente, registrar y analizar las respuestas mediante el programa Excel 2010. La entrevista fue estructurada; constó de diez preguntas y opciones múltiples; se mostrará las respuestas más significativas en la Tabla 1 y Figura 1.



Tabla 1

Número de alumnos desertados por semestre

| En su experiencia como docente ¿cuál cree que sea el número de alumnos semestral desertados en la institución? | |
|--|-----------------------|
| Respuestas | Número de encuestados |
| De 1 a 5 | 6 |
| De 5 a 10 | 22 |
| De 10 a 15 | 12 |
| De 15 a 30 | 15 |
| Más de 30 | 5 |

Figura 1

Número de alumnos desertados por semestre



Los datos de la Tabla 1 y la Figura 1 evidencian que todos los maestros y administrativos afirman que en el Instituto Tecnológico hay desertores; hay que considerar que la mayoría de los alumnos son externos; es decir, de otros lugares, la cual podría dificultar su asistencia a las clases. El principal factor de la deserción escolar se puede observar en la Tabla 2 y Figura 2.



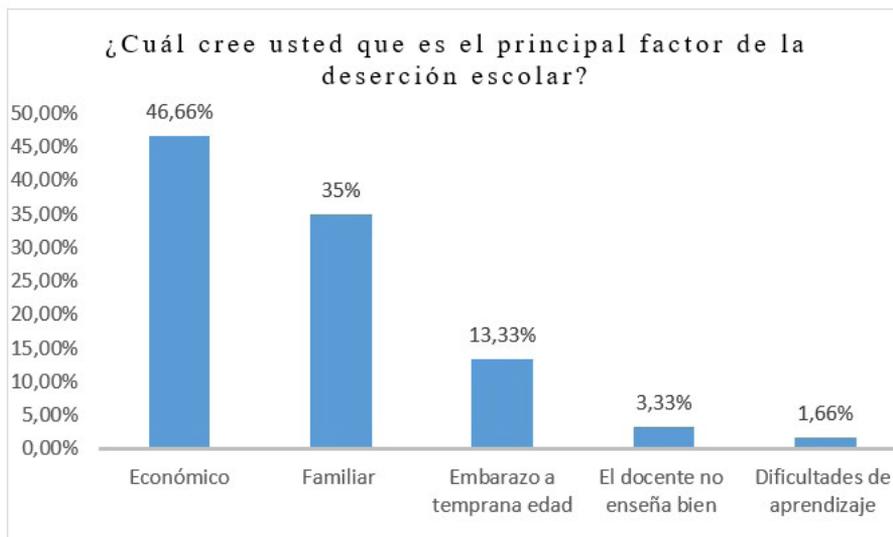
Tabla 2

Principal factor escolar

| ¿Cuál cree usted que es el principal factor de la deserción escolar? | |
|--|-----------------------|
| Respuestas | Número de encuestados |
| Económico | 28 |
| Familiar | 21 |
| Embarazo a temprana edad | 8 |
| El docente no enseña bien | 2 |
| Dificultad de aprendizaje | 1 |

Figura 2

Principal factor escolar



El 28 % afirma que sí conoce cuál es el principal factor de deserción escolar; el que predomina es el factor económico (Véase Tabla 3, Figura 3).



Tabla 3

Factor económico, principal causa de la deserción escolar

| ¿Considera que el factor económico es el principal factor que influye en la deserción escolar? | |
|--|-----------------------|
| Respuestas | Número de encuestados |
| Sí | 55 |
| No | 5 |

Figura 3

Factor económico, principal causa de la deserción escolar



El 55 % de los maestros sostiene que el factor económico es la principal causa de deserción escolar, ocasionando la no conclusión de los estudios de nivel superior ya que, en su mayoría, los estudiantes descuidan sus estudios por la necesidad de tener que trabajar o, por no tener el tiempo suficiente para cumplir con sus tareas y asistir a clases. Los problemas familiares son el segundo factor que influye en la deserción escolar (Tabla 4, Figura 4).



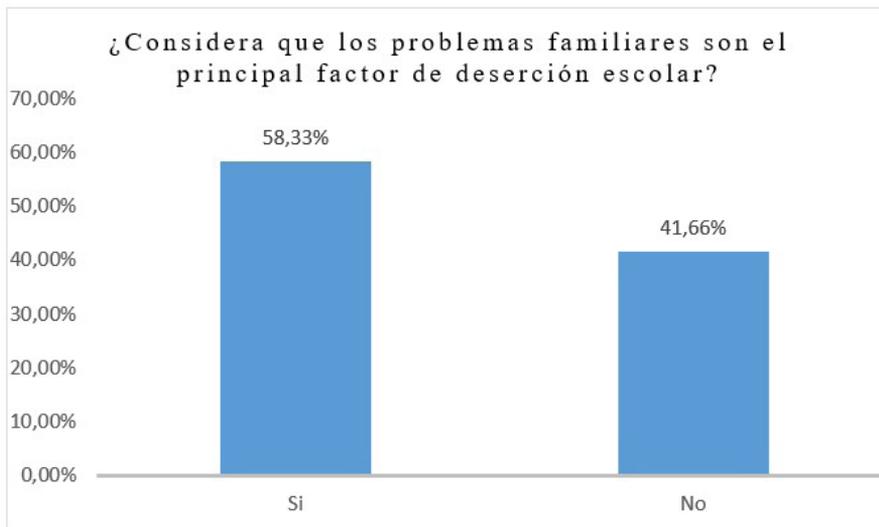
Tabla 4

Principal factor familiar que influye en la deserción escolar

| ¿Considera que los problemas familiares son el principal factor de deserción escolar? | |
|---|-----------------------|
| Respuestas | Número de encuestados |
| Sí | 35 |
| No | 25 |

Figura 4

Principal factor familiar que influye en la deserción escolar



El 35 % de los entrevistados contesta que la deserción se debe a los problemas familiares; estos influyen en la deserción escolar, después del factor económico. Es importante saber el número de frecuencia arrojada en cada pregunta, para determinar que estos factores fueron los más demandados en esta investigación (Véase Tabla 5, Figura 5).



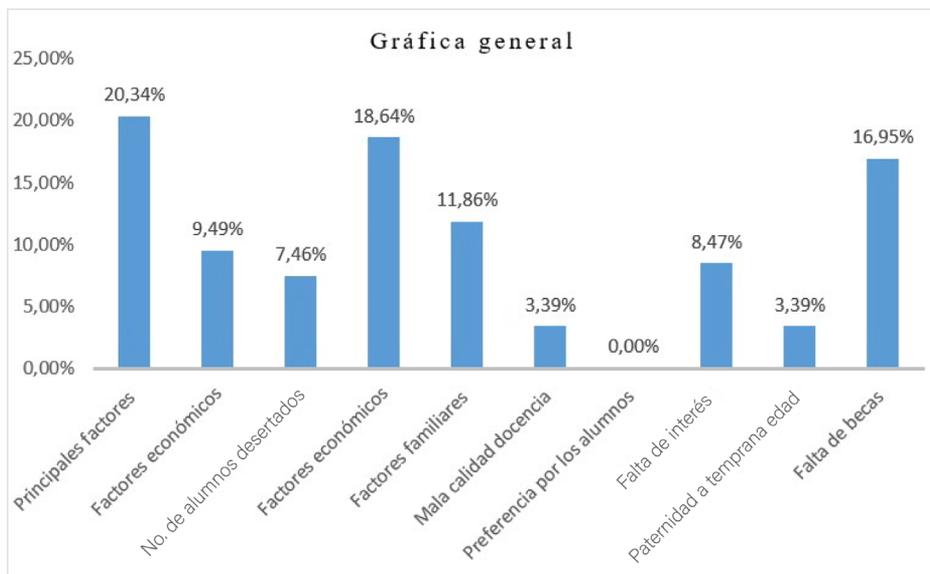
Tabla 5

Número de factores que influye en la deserción escolar

| Respuestas | Número de frecuencias | % |
|---|------------------------------|----------------|
| Conocimiento de principales factores de deserción | 60 | 20,34 % |
| Conocimiento de cantidad de desertores escolares | 28 | 9,49 % |
| Número de alumnos desertados | 22 | 7,46 % |
| Factores económicos | 55 | 18,64 % |
| Factores familiares | 35 | 11,86 % |
| Mala calidad en la docencia | 10 | 3,39 % |
| Preferencia por los alumnos | 0 | 0,00 % |
| Falta de interés | 25 | 8,47 % |
| Paternidad a temprana edad | 10 | 3,39 % |
| Falta de becas | 50 | 16,95 % |

Figura 5

Principal factor familiar que influye en la deserción escolar



Resultados

Como se puede observar en la Tabla 5, el 100 % de los entrevistados asegura que sí hay deserción escolar en la institución; el 11,86 % asevera que esto se debe al factor familiar; el 18,64 % a factores económicos; el 16,95 % a falta de becas y, el 8,47 % a falta de interés, siendo el de mayor frecuencia, el factor económico.

El número predominante de los alumnos que desertaron por semestre durante las carreras fue entre 5 y 10, lo que representa un 7,46 %. Se considera que la paternidad a temprana edad es un causante de la deserción, obteniendo un porcentaje de 3,39 %. Estos resultados fueron los de mayor predominio; sin embargo, el factor económico arrojó la causa principal, incluso relacionado con la falta de becas y los problemas de traslado, dado que la mayoría de estudiantes son de comunidades y ejidos del municipio y se ven en la necesidad de rentar casas o, incluso, viajar a diario, lo que implica un gasto extra, en comparación con los alumnos que no son foráneos. Estos resultados coinciden con el estudio de Montes (2022), cuya mayoría de alumnos desertó por la necesidad de trabajar, la pérdida de porcentaje de becas, situación académica, rezago en pagos y generación de intereses.

Entre los años 2000 y 2021, la tasa de deserción de los estudiantes de nivel medio superior y superior osciló en un 10 %. En este sentido, el comportamiento del índice de deserción en lo que respecta a América Latina, fluctúa entre 40 % y 70 %. Esta situación se presenta con frecuencia en estudiantes provenientes de los grupos más vulnerables y son, por tanto, los que no terminan sus estudios (Rodríguez et al., 2021).

La deserción escolar se origina desde los hogares, cuando no se cuenta con los recursos económicos para solventar los estudios en los hijos. Otro trabajo que coincide con lo abordado es el de Moreno (2013), quien expresa que el factor predominante es la economía, ya que los estudiantes tenían que trasladarse en vehículos, por las largas distancias, comprar material académico, entre otros gastos, que afectaban su economía.

Conclusiones

Después de conocer cuáles son los principales factores que influyen en la aparición de la deserción escolar en el Instituto Tecnológico de Champotón, podemos manifestar que el principal es el **económico**, ya que muchos jóvenes y familias no tienen los recursos suficientes para mantener su hogar y, deben trabajar, lo cual es un factor muy importante para que deserten. Otra circunstancia que propicia la deserción en los jóvenes es la escasez de becas, así como también, los gastos extras como renta de casas, viáticos, alimento, entre otros consumos, al ser foráneos, para poder llevar a cabo sus estudios. La segunda causa es el **factor familiar**, siendo esta una de las situaciones más complejas, porque va más allá de lo material y, sobre todo, porque tiene que ver más con los procesos cognitivos, mentales y psicológicos, ante los cuales



se requiere ayuda de tutores o de intervención psicológica para el estudiante pueda recibir atención.

Estos problemas que enfrenta el joven por cuestiones económicas, familiares o de paternidad a temprana edad, etc., son obstáculos que impiden la culminación de sus estudios; por lo tanto, existe relación entre los factores sociales y la deserción escolar en los alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Champotón generación 2017-2021 en las diferentes carreras, razón por la que es necesario reestructurar los programas de tutorías e implementar estrategias como alternativas de solución para prevenir la deserción en los jóvenes de nivel licenciatura. Estos índices se manifiestan en un 40 % y 70 % respecto a América Latina, en estudiantes vulnerables, lo que ocasiona que no concluyan sus estudios (Rodríguez et al., 2021).

Recomendaciones

Implementar becas internas escolares para facilitar sus estudios en los jóvenes, evitando gastos que podrían servir para sus alimentos, viajes, cosas personales, entre otros.

Crear una casa habitación para estudiantes de otros lugares, lo cual les evitaría pagar rentas que implican un gasto bastante significativo para los padres y los jóvenes.

Reestructurar los programas de tutorías o, canalizar a una unidad de salud psicológica que permitan resolver los problemas emocionales de forma correcta y, especialmente, que generen herramientas para enfrentarse ante cualquier conflicto.

Plantear un curso de actualización y capacitación dirigido a docentes, con enfoque de tutorías e, incluso, adquirir diplomados.

Efectuar pláticas y actividades con los padres de familia, para propiciar una convivencia sana entre ellos y los jóvenes y, mejore la relación.

Referencias

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Hernández-Sampieri, R. y Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la Investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Editorial Mc Graw Hill Education.

Martínez, J. y Ortega, A. (s.f.). La problemática actual de la deserción escolar, un análisis desde lo local. http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/elibros_internet/55796.pdf



- Montes, T. (2022). Educación superior: factores económicos que inciden en la deserción escolar. Caso de las licenciaturas de la UNID Tlalnepantla. *RIDE, Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23), e041. <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.1061>
- Moreno, D. M. (2013). La deserción escolar: un problema de carácter social. *Vestigium Ire*, 6(1), 115-124.
- Perassi, Z. (2009). ¿Es la evaluación causa del fracaso escolar? *Revista Iberoamericana de Educación*, 50 (1), 65-80. <https://doi.org/10.35362/rie500661>
- Rodríguez, I., Pérez, R. y Florez, J. M. (2021). Estrategias para mejorar la calidad educativa con base en el análisis de la trayectoria académica en el área de ingeniería. *RIDE, Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(22), e020. <https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.858>



Capítulo 11

Identificación y cuantificación de microplásticos en sedimentos de tres playas recreativas de la costa de Campeche

Cintia del Carmen Hernández Crisostomo¹
Iris del Carmen Delgado Aguilar
Vanessa Vargas Varela

Cítese como: Hernández-Crisostomo, C. D, Delgado-Aguilar, I D. y Vargas-Varela, V. (2023). Identificación y cuantificación de microplásticos en sedimentos de tres playas recreativas de la costa de Campeche. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 191-206). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c360>

Resumen

Con la presente investigación se realizó la identificación y cuantificación de microplásticos en sedimentos de algunas de las playas recreativas del municipio de Champotón, Campeche, con el objetivo de caracterizar, cuantificar y determinar si existen diferencias entre las cantidades de microplásticos con relación a las temporadas climáticas y puntos de análisis. Se seleccionó tres estaciones de muestreo: las playas de Puntaxen, Boca del río y Payucán; en cada una se estableció tres zonas: alta, media y baja, paralelas a la línea de costa y, sobre ellas se hizo transectos de 50x50 cm, modificados de la metodología de Hidalgo-Ruz et al. (2012). El estudio demostró las cantidades de microplásticos hallados en cada uno de los lugares del muestreo, de acuerdo con las estaciones de verano y otoño. Con base en un análisis univariado de varianza y pruebas de Tukey y Duncan, se concluyó que no existe evidencia significativa que indique diferencias entre las muestras por transectos, estaciones y/o lugares de muestreo.

Palabras clave: sedimento; playa; cuadrante; estaciones.

¹ Instituto Tecnológico Superior de Champotón. Correo: cintia.hc@champton.tecnm.mx



Identification and quantification of microplastics in sediments of three recreational beaches on the Campeche coast

Abstract

This research allowed the identification and quantification of microplastics in sediments of some of the recreational beaches of the municipality of Champotón, Campeche, to characterize, quantify, and determine if there are differences between the quantities of microplastics concerning the climatic seasons and points of analysis. Three sampling stations were selected: the beaches of Puntaxen, Boca del río, and Payucán; in each one of the three zones were established: high, medium, and low, parallel to the coastline, and, on them 50x50 cm transects were made, modified from the methodology of Hidalgo-Ruz et al. (2012). The study showed the amounts of microplastics found in each of the sampling sites, according to the summer and autumn seasons. Based on univariate analysis of variance and Tukey and Duncan tests, it was concluded that there is no significant evidence indicating differences between samples by transects, seasons, and/or sampling sites.

Keywords: sediment; beach; quadrant; seasons.

Identificação e quantificação de microplásticos em sedimentos de três praias de recreio da costa do Campeche

Resumo

Esta pesquisa permitiu a identificação e a quantificação de microplásticos em sedimentos de algumas das praias recreativas do município de Champotón, Campeche, para caracterizar, quantificar e determinar se há diferenças entre as quantidades de microplásticos em relação às estações climáticas e aos pontos de análise. Três estações de amostragem foram selecionadas: as praias de Puntaxen, Boca del río e Payucán; em cada uma delas, foram estabelecidas três zonas: alta, média e baixa, paralelas à linha costeira, e, nelas, foram feitos transectos de 50x50 cm, modificados a partir da metodologia de Hidalgo-Ruz et al. (2012). O estudo mostrou as quantidades de microplásticos encontradas em cada um dos locais de amostragem, de acordo com as estações de verão e outono. Com base na análise univariada de variância e nos testes de Tukey e Duncan, concluiu-se que não há evidências significativas que indiquem diferenças entre as amostras por transectos, estações e/ou locais de amostragem.

Palavras-chave: sedimento; praia; quadrante; estações.

Introducción

Una playa está definida como una acumulación de sedimentos conformados geomorfológicamente por rocas, arena, arcilla o grava, clasificados en dos partes: parte emergida y parte sumergida, con límites inferior y superior que delimitan la zona de playa (Enríquez, 2003). Las playas ofrecen diversos usos;



son consideradas un sistema socioecológico que va desde la protección contra huracanes, para turismo, recreación, uso estético, hasta la explotación de los recursos minerales, así como para la anidación y reproducción de la fauna marina y aviaria (Cervantes, 2019). El principal problema de las playas es la contaminación, que degrada y destruye el hábitat (United States, Environmental Protection Agency EPA, 2023); la población es clave fundamental para esta problemática.

A nivel mundial, la contaminación por plásticos es un hecho que ya no puede dar marcha atrás; hace aproximadamente 50 años iniciaron los primeros estudios sobre el tema (Lavender, 2017) y, el cúmulo de estos en el medio ambiente se ha convertido en una preocupante a nivel mundial (Yoshida et al., 2016); así mismo, la sobrepoblación y la demanda de los plásticos, por su versatilidad y facilidad de compra, se ha convertido en un material cotidiano para la humanidad (Cabrera, 2018), hecho que conlleva una mayor producción por su demanda.

Se tiene datos de contaminantes plásticos desde el polo hasta el Ecuador (Thompson et al., 2004); de igual manera, se ha encontrado fragmentos en entornos terrestres, marinos y en los lugares más remotos del mundo (Barnes et al., 2009).

Es importante destacar que los residuos plásticos generados en las costas tienen un alto impacto sobre el ecosistema, dañando no solo la flora y la fauna de la región, sino la economía y la estética de estos espacios (Lara-Domínguez et al., 1995).

Los plásticos son derivados del petróleo formados por la polimerización de monómeros (Cole et al., 2011); su propiedad más intrínseca es la flexibilidad y durabilidad, que los hace más peligrosos para el medio ambiente (Derraik, 2002).

La fragmentación de los plásticos suele tener un proceso biológico al término de su vida útil para el ser humano, al exponerse a los rayos solares, vientos, lluvias y/o mareas; esto conlleva generar pequeñas partículas, denominadas 'microplásticos', cuando son menores a 5mm; y, nanoplásticos cuando sus dimensiones están por debajo de 100 nm (Fossi et al., 2012).

Se tiene diferentes propuestas para la definición de microplásticos, pero, para efectos de esta investigación, se adopta la de partículas plásticas con un tamaño menor a 5 mm (Arthur et al., 2009). En todos los lugares del mundo existen los plásticos; son de uso común y, así como son de fácil acceso, son también rápidos de desechar por lo que, en muchas ocasiones, por la mala gestión de residuos, terminan en el medioambiente (Toledo-Martínez, 2019).

Existe evidencia de que los microplásticos se encuentran en el medio marino y, debido a las mareas, estos son removidos a las orillas y se acumulan en la arena, principalmente de las playas, constituyendo una problemática para la zona, mayormente en áreas naturales protegidas (Cabrera, 2018). Los



microplásticos son considerados un contaminante ambiental generalizado que representa una grave amenaza al medio acuático (Liu et al., 2013).

Muy a pesar de la concientización de la problemática causada por el uso excesivo de plásticos, la población continúa produciéndolo, consumiéndolo y desechándolo, de manera alarmante, afectando en gran medida al medio ambiente (Rochman et al., 2013).

Por todo lo expuesto, el presente estudio tiene como objetivo, identificar y cuantificar microplásticos en sedimentos en tres playas de la costa de Campeche y, determinar si existen diferencias entre las cantidades de microplásticos, con relación a las temporadas muestreadas.

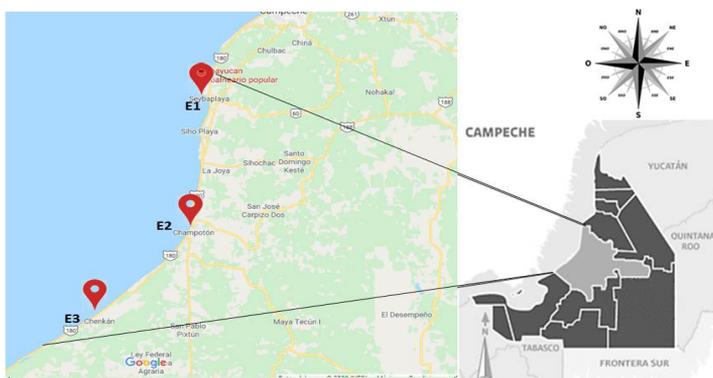
Desarrollo

El lugar donde se realizó el proyecto fue la costa del municipio de Champotón, en el Estado de Campeche, que colinda al norte con el Golfo de México y el municipio de Campeche; al este con los municipios de Campeche, Hopelchén, Calakmul y Escárcega; al sur con los municipios de Escárcega y Carmen y, al oeste con el municipio de Carmen y el Golfo de México. La ciudad de Champotón tiene diferentes sectores económicos; entre ellos, el sector pesquero, que se practica en toda la costa del municipio y que aporta en gran medida a la economía del municipio; por otra parte, el sector turístico también contribuye a la economía del mismo. El largo del litoral de Champotón es de aproximadamente 65 km.

La investigación se llevó a cabo en tres playas recreativas de la zona: Boca del río, Puntaxen y Payucán, denominándolas de aquí en adelante E1: Payucán (19.628413, -90.686203), E2: Boca del Río (19.34645, -90.73114) y E3: Puntaxen (19.17874, -90.90587), como se aprecia en la Figura 1. Se agrega las características morfológicas de las tres playas muestreadas (Tabla 1).

Figura 1

Mapa de las tres estaciones muestreadas



Fuente: elaboración propia con base en Google Maps



Tabla 1*Morfología de las playas muestreadas*

| Características morfológicas de las tres playas arenosas de la costa de Champotón | | | | | | |
|--|----------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|---|
| Playas | Latitud | Longitud | Viento predominante | Curvatura de playa | Tipo de sustrato | Uso de playa |
| Boca del Río | 19.36148 | - 90.71777 | Viene del Norte | Sin curvatura | Arena | Arribo de lanchas, mantenimiento a motores, lavados con ácido muriático y cloro, recambio de aceite, descarga de productos no deseados. |
| Puntaxen | 19.17934 | -90.90444 | Viene del Oeste | Sin curvatura | Roca y arena | Balneario turístico |
| Payucán | 19.66126 | -90.70375 | Viene del Norte | Semiconcava | Arena y grava | Balneario turístico |

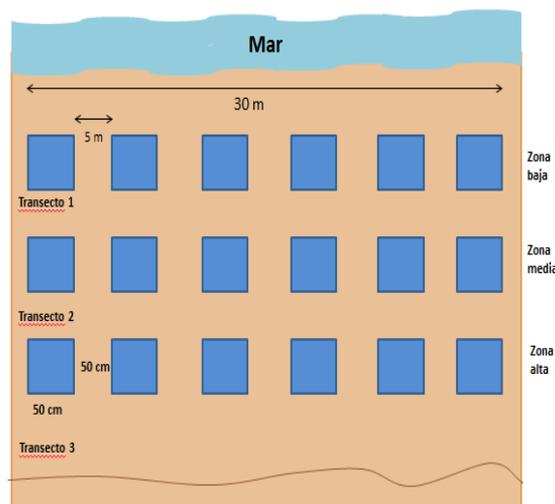


Este estudio se llevó a cabo entre los meses de septiembre y noviembre de 2020, siguiendo el protocolo de muestreo y análisis de microplásticos en aguas marinas superficiales, sedimentos de playas y tracto digestivo de peces del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR, 2017) de Santa Marta, Colombia.

Cada playa se dividió en tres zonas: alta, media y baja (la baja más cercana a la línea de marea); en cada zona se estableció transectos lineales de 30 metros; en ellas se ubicó seis cuadrantes de 50 x 50 cm cada uno, con una separación de cinco metros de distancia entre ellos, como se ve en la Figura 2.

Figura 2

Forma de los transectos trazados en las playas



Fuente: elaboración propia

Procedimiento para la toma de muestras

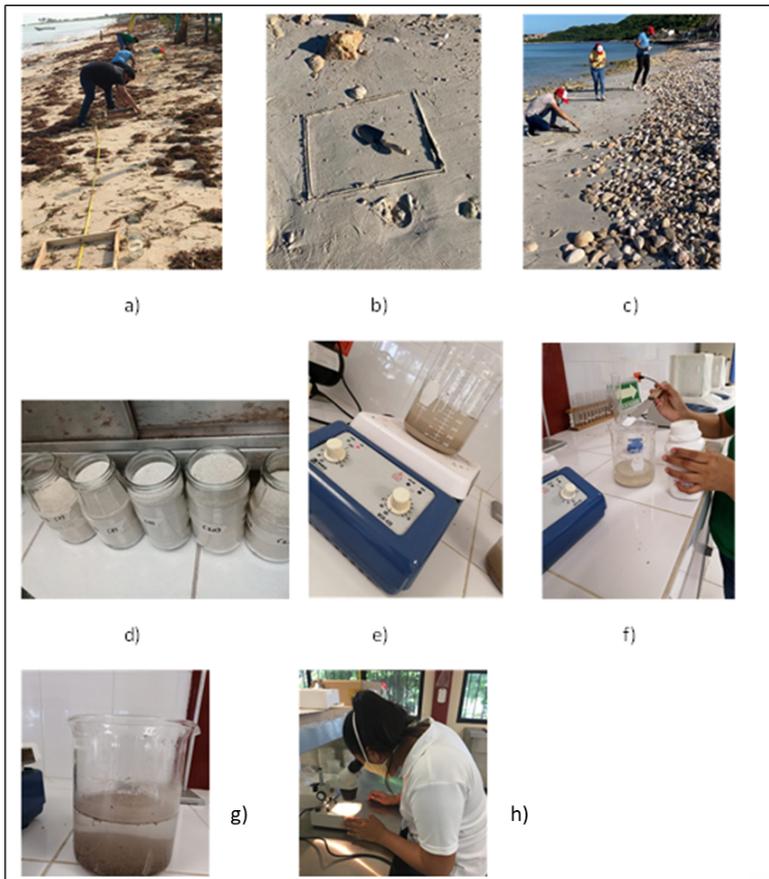
Una vez seleccionado el lugar y los cuadrantes, se tomó las muestras de cada uno y se colocó los datos en el formato propuesto, se tomó las coordenadas geográficas del primero y último cuadrante y, con la ayuda de una pala, se recogió entre 1 y 2 cm de sedimento de cada cuadrante; aproximadamente un kilo; el sedimento se encontraba húmedo, por lo que se procedió a levantar las muestras en bolsas, para su traslado, se etiquetó y transportó al laboratorio. Así, se repitió el procedimiento en cada cuadrante.

Cabe mencionar que, al llegar al laboratorio, se trabajó dos semanas con todas las muestras, debido a que el secado fue al aire libre, dentro del laboratorio, en un área libre y despejada.



Figura 3

Proceso de levantamiento de la muestra hasta el análisis en el laboratorio. a) Marcando la zona de muestreo. b) Cuadrante de 50 x 50 cm donde se extrae la muestra. c) Levantamiento de la muestra. d) La muestra en frascos. e) Preparación de la muestra con el NaCl. f) Muestra con el agua destilada para llevar a pesar y agitar. g) Espera de 30 minutos de reposo para analizar el sobrenadante. h) Análisis en el esteresocopio



Procedimiento para análisis de la muestra

Una vez secas las muestras, se las pasó por un tamiz de 1mm y se las depositó en envases de vidrio debidamente marcados con los datos del lugar de colecta, fecha, número del transecto y número del cuadrante, para su posterior análisis.

En el laboratorio, se preparó inicialmente una solución hipersalina (cloruro de sodio 5 gr); en un vaso precipitado se adicionó 300 gr de sedimento por un litro de agua destilada y se llevó al agitador tipo vórtex; luego se dejó reposar por 30 minutos; posteriormente, el sobrenadante se retiró, se pasó a la caja Petri y se procedió a analizar con el esteresocopio, para registrar el color y la cantidad de microplástico encontrado para, finalmente, almacenar en tubos tipo Eppendorf.



Resultados

Muestra 1: 20 septiembre de 2020. Se llevó a cabo en la estación de verano; el día estuvo nublado, con 26 °C, viento moderado, olas fuertes en las playas de Payucan y Puntaxen, en tanto que en Boca del Río no había oleaje. En las tres estaciones hubo abundancia de sargassum (sargazo) y marea alta. Respecto a residuos sólidos, hubo mayor abundancia en la E1; en la E2 fueron moderados; en la E3 fue nula la cantidad de estos.

Debido a la marea alta, no se pudo tomar la muestra de todas las estaciones de los transectos. En la E1 y E3 solo se levantó doce muestras en septiembre, mientras que en E2 se levantó las 18 muestras.

Muestra 2: 26 de noviembre de 2020. Temporada de otoño, con una temperatura de 27 °C, soleado, con marea baja, sin presencia del sargassum, con olas moderadas en E1 y E3; en E2 sin olas, por lo que las tres estaciones recolectaron las 18 muestras sin problema alguno. En las tres estaciones se encontró residuos sólidos

Se muestra los resultados de los microplásticos encontrados en las estaciones siguientes: E1 en la Tabla 2; los datos de las muestras de la E2 en la Tabla 3 y los datos de la E3 en la Tabla 4:

Tabla 2

Resultados de la cantidad de microplásticos en E1 entre septiembre y noviembre de 2020

| E1 | Verano 2020 | Otoño 2020 | Zonas |
|--------------------|----------------|------------|-------|
| Transecto 1 | No se muestreó | 4 | Baja |
| Transecto 2 | 5 | 6 | Media |
| Transecto 3 | 4 | 8 | Alta |

Tabla 3

Resultados de la cantidad de microplásticos en E2 entre septiembre y noviembre de 2020

| E1 | Verano 2020 | Otoño 2020 | Zonas |
|--------------------|-------------|------------|-------|
| Transecto 1 | 5 | 5 | Baja |
| Transecto 2 | 5 | 7 | Media |
| Transecto 3 | 4 | 8 | Alta |



Tabla 4

Resultados de la cantidad de microplásticos en E3 entre septiembre y noviembre de 2020

| E1 | Verano 2020 | Otoño 2020 | Zonas |
|--------------------|-------------|------------|-------|
| Transecto 1 | 0 | 6 | Baja |
| Transecto 2 | 6 | 7 | Media |
| Transecto 3 | 5 | 6 | Alta |

Análisis de los resultados

Se aplicó un análisis estadístico univariado de varianza y, la prueba de Duncan y Tukey en el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 22, con 95 % de confianza, obteniendo los siguientes resultados, como se evidencia en la Tabla 5.

Tabla 5

Prueba de efectos inter-sujetos para demostrar si existe diferencia entre la variable dependiente (cantidad de microplástico) vs. las variables independientes (zona, estación y lugar)

| Pruebas de efectos inter-sujetos | | | | | |
|--|-------------------------------|----|---------------------|---------|------|
| Variable dependiente: Número de microplásticos | | | | | |
| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Cuadrático promedio | F | Sig. |
| Modelo corregido | 15.519 ^a | 17 | .913 | 2.866 | .001 |
| Interceptación | 81.815 | 1 | 81.815 | 256.860 | .000 |
| zona | 4.574 | 2 | 2.287 | 7.180 | .001 |
| estación | 6.259 | 1 | 6.259 | 19.651 | .000 |
| lugar | .352 | 2 | .176 | .552 | .578 |
| zona * estación | .352 | 2 | .176 | .552 | .578 |
| zona * lugar | 1.259 | 4 | .315 | .988 | .418 |
| estación * lugar | .352 | 2 | .176 | .552 | .578 |
| zona * estación * lugar | 2.370 | 4 | .593 | 1.860 | .124 |
| Error | 28.667 | 90 | .319 | | |



| | | |
|-----------------|---------|-----|
| Total | 126.000 | 108 |
| Total corregido | 44.185 | 107 |

R al cuadrado = .351 (R al cuadrado ajustada = .229)

Zona: baja, media y alta. Estación: Verano y otoño. Lugar: E1, E2 y E3

Fuente: IBM SPSS Statistics 22

Se puede observar que las interacciones entre las zonas baja, media y alta no tienen diferencias significativas con las estaciones verano, otoño muestreadas, ya que el valor es de $p=0.578 > 0.05$, en tanto que para la interacción entre las zonas baja, media y alta con el lugar de muestreo E1, E2 y E3 tuvo un valor de $p=0.418 > 0.05$. En cuanto a la diferencia entre las estaciones verano, otoño y el lugar de muestreo E1, E2, E3, se obtuvo un valor de $p=0.578 > 0.05$. Se rechaza que haya una diferencia entre ellas; por último, se analizó si existió alguna diferencia entre la zona de muestreo, las estaciones del año y el lugar de muestreo, obteniendo un valor de $p=0.124 > 0.05$. Se concluye que no existe evidencia suficiente para aseverar una diferencia entre la comparación de las variables.

En la Tabla 6 se puede apreciar la comparación entre el número de microplásticos encontrados vs. las zonas baja, media alta muestreadas; se nota que no existe diferencia entre la cantidad y las zonas muestreadas, porque todos arrojaron valores mayores a 0.05.

Tabla 6

Comparación entre la cantidad de microplásticos encontrados vs. la zona muestreada

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: numero de microplasticos

| | (I) alta, media y baja | (J) alta, media y baja | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
|-----------|------------------------|------------------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| HSD Tukey | baja | media | -.47* | .133 | .002 | -.79 | -.16 |
| | | alta | -.39* | .133 | .012 | -.71 | -.07 |
| | media | baja | .47* | .133 | .002 | .16 | .79 |
| | | alta | .08 | .133 | .806 | -.23 | .40 |
| | alta | baja | .39* | .133 | .012 | .07 | .71 |
| | | media | -.08 | .133 | .806 | -.40 | .23 |

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .319.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: IBM SPSS Statistics 22

En la Tabla 7 se analizó las diferencias entre los lugares muestreados (Payucan, Champotón y Puntaxen) vs. la cantidad de microplásticos encontrados; se obtuvo que no existe diferencia significativa entre estas dos variables.



Tabla 7

Comparación entre la cantidad de microplásticos encontrados vs. los lugares muestreados

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: número de microplásticos

| | (I) champotón, payucan y puntaxen | (J) champotón, payucan y puntaxen | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | Intervalo de confianza al 95% | |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| HSD Tukey | payucan | Champotón | -.14 | .133 | .551 | -.46 | .18 |
| | | Puntaxen | -.06 | .133 | .908 | -.37 | .26 |
| | Champotón | payucan | .14 | .133 | .551 | -.18 | .46 |
| | | Puntaxen | .08 | .133 | .806 | -.23 | .40 |
| Puntaxen | payucan | .06 | .133 | .908 | -.26 | .37 | |
| | Champotón | -.08 | .133 | .806 | -.40 | .23 | |

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .319.

Fuente: IBM SPSS Statistics 22

Por otro lado, se hizo la identificación de los microplásticos en cuanto a su color, dado que no se cuenta con el infrarrojo para deducir su tipo, por lo que se hizo la clasificación por colores según lo hallado, como se puede ver en las figuras 4, 5 y 6.

Figura 4

Color de microplástico encontrado en la E1

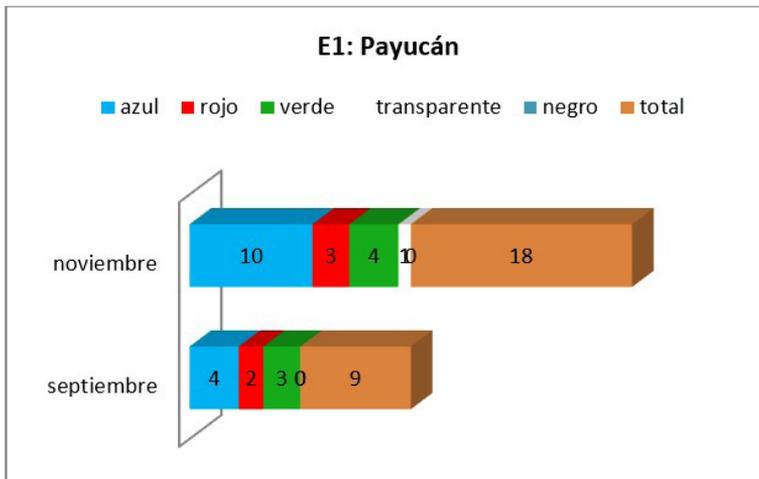


Figura 5

Color de microplástico encontrado en la E2

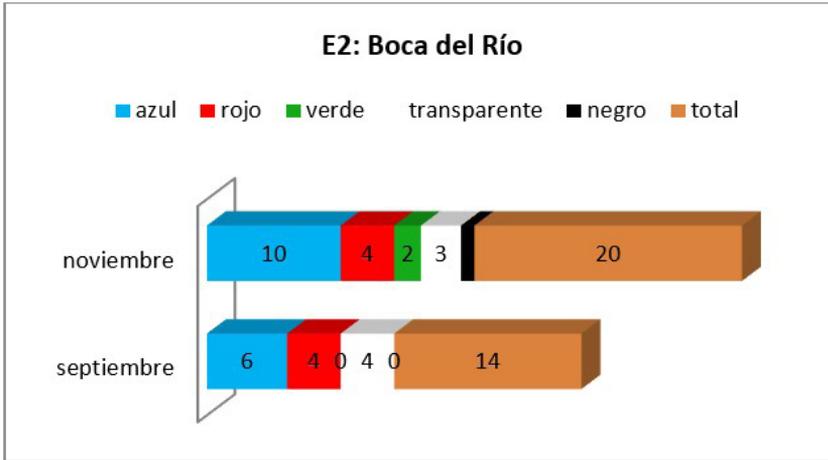
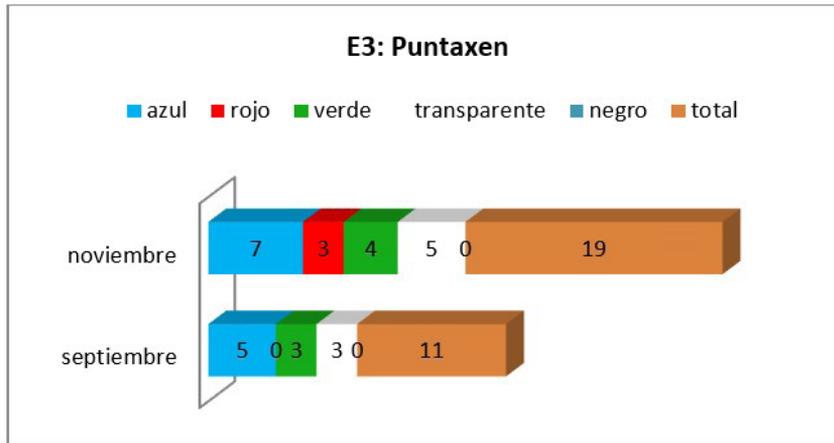


Figura 6

Color de microplástico encontrado en la E3

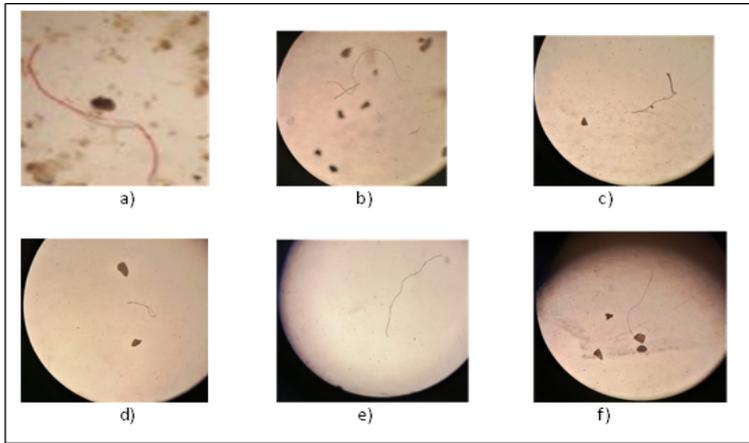


A continuación, se muestra algunos de los microplásticos hallados en el análisis, siendo la mayoría filamentos de colores, como se observa en la Figura 7.



Figura 7

Microplásticos encontrados en colores: a) rojo, b) negro, c) rojo, d) verde, e) azul, f) verde



Conclusiones

Los microplásticos encontrados en este estudio y el análisis estadístico convergen a lo que se ha evidenciado en estudios similares, como el realizado por Cruz-Salas et al. (2020) en las playas de Oaxaca, que determinó ausencia en la relación lineal y un coeficiente de determinación muy bajo, por lo que no fue significativo el número de muestras halladas. De otro lado, en cinco playas de Perú Purca y Henostroza (2017) notaron la presencia de una notable cantidad de microplásticos encontrados por muestra: desde cuatro hasta 462 ítems en una playa. Por su parte, en una playa urbana de Cartagena de Indias, Acosta (2014) concluyó que “la frecuencia de aparición de microplásticos sobre las superficies de la playa es independiente de las estaciones climáticas imperantes” (p. 97). El estudio de Rosado-Piña et al. (2018) solamente demostró la cantidad de microplástico hallado, pero no, si hubo diferencias entre las épocas de muestreo y la cantidad hallada.

Las películas de plástico son las más predominantes en otros estudios, debido a las bolsas de transporte que el viento mueve fácilmente (Barnes et al. 2009); por ello, estos tipos de microplásticos son los más usuales entre las investigaciones respectivas.

Se puede observar que existen diversos y escasos estudios relacionados con el tema, pero persisten lagunas desde la metodología para aplicar estos estudios, hasta análisis concretos que manifiesten el impacto de los microplásticos en la vida del ser humano. Lo que sí es preocupante, es que la contaminación por plásticos va en aumento y es un problema que tiene que ser atendido de inmediato, ya que puede generar efectos significativos a largo plazo en los ecosistemas marinos (Liu et al., 2013).



Este trabajo ha determinado que los microplásticos existen y que se requiere de actividades que coadyuven esta situación, acciones concretas que mejoren la situación y, sobre todo más estudios que investiguen los efectos de los microplásticos en el medio marino y humano.

Referencias

- Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (eds). (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris. *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30*.
- Acosta, I. C. (2014). *Caracterización de microplásticos primarios en el ambiente marino de una playa urbana en Cartagena de Indias* [Tesis de Maestría, Universidad de Cartagena]. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/4191>
- Barnes, K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences*, 364(1526), 1985-1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Cabrera, D. (2018). *Determinación de la presencia de microplásticos en playas de Tenerife* [Tesis de Pregrado, Universidad de La Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/8703?show=full>
- Cervantes, O. D. (2019.) Las playas mexicanas: retos y desafíos. <http://centrotepoztlan.org/wp-content/uploads/2019/04/omar-cervantes.pdf>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.MARPOLBUL.2011.09.025>
- Cruz-Salas, A. A., Álvarez-Zeferino, J. C., Martínez-Salvador, C., Enríquez-Rosado, R., Gutiérrez-Ortiz, M. R., Vázquez-Morillas, A. y Ojeda-Benitez, S. (2020). Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca. *Revista Ciencia y Mar*, 24(71), 3-21
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(9), 842-852. [http://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](http://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5)
- Enríquez, G. (2003). Criterios para evaluar la aptitud recreativa de las playas en México: una propuesta metodológica. *Gaceta ecológica*, (68), 55-68.



- Fossi, M. C., Panti, C., Guerranti, C., Coppola, D., Giannetti, M., Marsili, L., & Minutoli, R., (2012). Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale *Balaenoptera physalus*. *Marine Pollution Bulletin*, (64), 2374-2379. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.08.013>
- Lara-Domínguez, A., Villalobos-Zapata, G., Rivera-Arriaga, E., Vera-Herrera, F. y Álvarez-Guillén, H. (1995). *Origen de los desechos sólidos en las playas de Campeche, México*. EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche, México.
- Hidalgo-Ruz, V., Lars, G., Thompson, R. & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology* 46(6), 3060-3075. <http://dx.doi.org/10.1021/es2031505>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). (2017). Protocolo de muestreo y análisis de microplásticos en aguas marinas superficiales, sedimentos de playas y tracto digestivo de peces. <https://es.scribd.com/document/431726656/Protocolo-de-Muestreo-y-Analisis-de-Microplasticos-en-Aguas-Marinas-Superficiales-Sedimentos-de-Playas-y-Tracto-Digestivo-de-Peces#>
- Lavender, K. (2017). Plastics in the marine environment. *Annual Review of Marine Science*, 9(1), 205-229. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060409>
- Liu, T.-K., Wang, M.-W., & Chen, P. (2013). Influence of waste management policy on the characteristics of beach litter in Kaohsiung, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*, 72(1), 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.04.015>
- Purca, S. y Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 101-106. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/article/view/12724>
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., & Thompson, R. C. (2013). Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, (494), 169-171. <https://doi.org/10.1038/494169a>
- Rosado-Piña, V. L., Mendoza-Muñoz, N., Vázquez-Morillas, A., Álvarez-Zeferino, J. C., Beltrán-Villavicencio, M. y Ojeda-Benitez, S. (2018). *Caracterización de microplásticos y muestreo de residuos sólidos urbanos de la playa de Tuxpan, Veracruz*. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C.



Thompson, R. C., Olsen, R. P., Mitchell, A., Davis, S. J., Rowland, W. G., McGonigle, J. D., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304(5672), 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>

Toledo-Martínez, M. Á. (2019). *Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro (nano) plásticos en el medioambiente y en la biota marina* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Educación a Distancia (España)]. <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Matoledo>

United States, Environmental Protection Agency EPA. (2023). LEARN: What affects beach health. <https://www.epa.gov/beaches/learn-what-affects-beach-health>.

Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., Toyohara, K., Miyamoto, K., Kimura, Y., & Oda, K. A. (2016). Bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate). *Science* 351(6278), 1196-1199. <https://doi.org/10.1126/science.aad6359>



Capítulo 12

Reconocimiento de algas, protozoos y metazoos como bioindicadores ambientales

María Elena González¹

Alejandra Rengifo²

Darlyn Piñeros Marín³

Lina Marcela Buitrago Ramírez⁴

Cítese como: González, M. E., Rengifo, A., Piñeros-Marín, D. y Buitrago-Ramírez, L. M. (2023). Reconocimiento de algas, protozoos y metazoos como bioindicadores ambientales. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 207-220). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c361>

Resumen

Conocer la diversidad microbiana y su funcionamiento en el ambiente acuático resulta importante para entender el comportamiento y la presencia de contaminantes, aprovechando de paso el potencial de los microorganismos como bioindicadores, con el fin de implementar estrategias de biorremediación para estos ambientes. El objetivo de esta investigación fue reconocer microorganismos como algas, protozoos y metazoos en muestras ambientales, evaluando diferentes condiciones de cultivo y alimentación. Se presenta los resultados recopilados en los últimos años en el área de Biotecnología ambiental de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Se tuvo en cuenta un proyecto de aula realizado durante el semestre 2022-2 con la creación de un atlas digital. Se recolectó muestras de lodos y biopelículas provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, lixiviados, aguas de lagunas, represas, quebradas, musgos y líquenes, cultivadas por BG11 bajo diferentes condiciones, encontrando gran diversidad biológica entre protozoos ciliados, ameboides y flagelados, así como una gran variedad de metazoos como nematodos, rotíferos, tardígrados y copépodos.

¹ Docente Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medellín, Antioquia, Colombia. Correo: maria1.gonzalez@colmayor.edu.co

² Estudiante programa de Biotecnología, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medellín, Antioquia, Colombia. Correo: arengifov@est.colmayor.edu.co

³ Estudiante programa de Biotecnología, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medellín, Antioquia, Colombia. Correo: dpineros@est.colmayor.edu.co

⁴ Ingeniera, Especialista en Microbiología ambiental. Aguas Nacionales EPM S.A. E.S.P. Correo: marce.04b@gmail.com



Además, algas verdes, diatomeas y filamentosas. Se observó variación en su prevalencia con relación al tiempo y a las condiciones de cultivo. En conclusión, este estudio logró mantener cultivos de algas, protozoos y metazoos a través del tiempo, determinando su ecología microbiana y su papel ecológico como bioindicadores ambientales.

Palabras clave: meiofauna; bioindicadores ambientales; ecología microbiana; diversidad biológica.

Recognition of algae, protozoa, and metazoa as environmental bio-indicators

Abstract

Knowing the microbial diversity and its functioning in the aquatic environment is important to understand the behavior and presence of contaminants, taking advantage of the potential of microorganisms as bio-indicators, to implement bioremediation strategies for these environments. The objective of this research was to recognize microorganisms such as algae, protozoa, and metazoa in environmental samples, evaluating different cultures and feeding conditions. The results collected in recent years in the area of Environmental Biotechnology of the Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia are presented. A classroom project carried out during semester 2022-2 with the creation of a digital atlas was taken into account. Samples of sludge and biofilms were collected from wastewater treatment plants, leachates, lagoon waters, dams, streams, mosses, and lichens, cultivated in BG11 under different conditions, finding great biological diversity among ciliate, amoeboid and flagellate protozoa, as well as a great variety of metazoa such as nematodes, rotifers, tardigrades, and copepods; in addition, green algae, diatoms, and filamentous algae. Variation in their prevalence was observed about time and culture conditions. In conclusion, this study was able to maintain cultures of algae, protozoa, and metazoa over time, determining their microbial ecology and their ecological role as environmental bio-indicators.

Keywords: meiofauna; environmental bio-indicators; microbial ecology; biological diversity.

Reconhecimento de algas, protozoários e metazoários como bioindicadores ambientais

Resumo

Conhecer a diversidade microbiana e seu funcionamento no ambiente aquático é importante para entender o comportamento e a presença de contaminantes, aproveitando o potencial dos microrganismos como bioindicadores, para implementar estratégias de biorremediação para esses ambientes. O objetivo desta pesquisa foi reconhecer microrganismos como algas, protozoários e metazoários em amostras ambientais, avaliando diferentes culturas e



condições de alimentação. São apresentados os resultados coletados nos últimos anos na área de Biotecnologia Ambiental da Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Um projeto de sala de aula realizado durante o semestre 2022-2 com a criação de um atlas digital foi levado em conta. Foram coletadas amostras de lodo e biofilmes de estações de tratamento de águas residuais, lixiviados, águas de lagoas, represas, córregos, musgos e líquens, cultivados em BG11 sob diferentes condições, encontrando grande diversidade biológica entre protozoários ciliados, ameboides e flagelados, bem como uma grande variedade de metazoários, como nematóides, rotíferos, tardígrados e copépodes; além disso, algas verdes, diatomác. Foi observada uma variação em sua prevalência em relação ao tempo e às condições de cultura. Em conclusão, este estudo foi capaz de manter culturas de algas, protozoários e metazoários ao longo do tempo, determinando sua ecologia microbiana e seu papel ecológico como bioindicadores ambientais.

Palavras-chave: meiofauna; bioindicadores ambientais; ecologia microbiana; diversidade biológica.

Introducción

La contaminación del agua se define como cualquier alteración en su composición, ya sea química, física o biológica, que puede afectar la calidad del agua y, generar un impacto dañino en los organismos vivos consumidores. En la actualidad, existen diversas fuentes de contaminación; esta se puede clasificar en varios tipos: en primer lugar, la contaminación natural, causada por microorganismos patógenos como bacterias, virus, protozoos y metazoos; estos pueden transmitir enfermedades gastrointestinales como el cólera, el tífus y la hepatitis, entre otras. En segundo lugar, la provocada por los desechos orgánicos e inorgánicos vertidos en las aguas debido a las actividades humanas; en ellos están incluidos los efluentes industriales, domésticos y agrícolas, llevando estos últimos, fertilizantes y pesticidas (Marchetti, 2010).

También terminan en el agua, sustancias como el petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes y sustancias no solubles en ella, como los nitratos, fosfatos y metales pesados. La contaminación de los cuerpos hídricos afecta principalmente la cantidad y calidad del agua disponible para el consumo humano y animal; se estima que, diariamente, se arroja al medio ambiente dos millones de toneladas de desechos a nivel mundial, los cuales terminan en el agua.

Es importante tener en cuenta cómo estos medios acuáticos son grandes reservorios de microorganismos, los cuales son formadores de un microambiente capaz de realizar procesos de mineralización y descomposición de la materia orgánica e inorgánica, a partir de la comunidad de bacterias, algas, protozoos y metazoos que actúan en conjunto para mantener la calidad estable de las fuentes de agua ante la llegada de diversos compuestos; no obstante, si se sobrepasa la capacidad de autodepuración de dichos contaminantes, se altera esta flora microbiana, deteriorando el funcionamiento del microambiente y la



presencia de estos microorganismos (Madoni, 2011). Los mayores indicadores de la calidad del recurso hídrico son las algas, protozoos y metazoos presentes en lagunas, ríos, quebradas, aguas estancadas, entre otras; estos poseen funciones dentro de su microambiente, controlando las comunidades bacterianas y otros microorganismos, indicando la calidad del cuerpo de agua y los cambios que puedan ocurrir (Kolkwitz y Marsson, 1909).

El conocimiento de la diversidad microbiana y su funcionamiento dentro del ambiente acuático es esencial para conocer el comportamiento del medio en el que se encuentran, así como los contaminantes; de ahí la importancia de conocer la fauna microbiana presente y su potencial como bioindicadores de diversos contaminantes tóxicos y, a su vez, implementar estrategias de remediación para dichos ambientes. El objetivo de esta investigación fue dar a conocer nuestra experiencia en el área de biotecnología ambiental del Colegio Mayor de Antioquia durante el semestre 2022-2. Como resultado de un proyecto de aula a partir de muestras ambientales, se creó además un atlas digital, con el fin de conocer la diversidad de microorganismos presentes en diversos nichos ecológicos y determinar su papel ecológico en estos ambientes. Este atlas digital es una herramienta valiosa para entender la complejidad de los ecosistemas y contribuir a su conservación, por cuanto estos organismos sirven como bioindicadores de dichos ambientes.

Problema de investigación

En los últimos años ha habido un aumento en la investigación de microorganismos de interés ambiental, incluyendo protozoos y metazoos, los cuales son relacionados comúnmente como parásitos intestinales patógenos que causan enfermedades gastrointestinales de origen hídrico, transmitidos a través de aguas y alimentos contaminados. El descubrimiento de nuevos microorganismos y el conocimiento existente sobre la microbiología del agua requieren un diseño más elaborado de las normas, que eviten la aparición de bacterias, virus, hongos y parásitos patógenos en el agua de consumo (Ríos-Tobón et al., 2017). Aunque estos microorganismos son conocidos principalmente por su papel patógeno, es primordial destacar sus cualidades en los ecosistemas acuáticos, por cuanto pueden actuar como bioindicadores ambientales. La literatura existente es limitada y no se ha explorado lo suficiente la diversidad de protozoos, algas y metazoos provenientes de diversos ambientes como aguas (crudas, estancadas y residuales), lodos, biopelículas, lixiviados, musgos y líquenes, en nuestro medio; por esta razón, se requiere más estudios que ayuden a comprender mejor la diversidad de estos microorganismos y sus interacciones con el ambiente.

Metodología

Recolección de muestras: las muestras fueron tomadas en diferentes lugares del departamento de Antioquia; se recolectó muestras de lodos y biopelículas de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), lixiviados, aguas de lagunas, represas, quebradas, musgos y líquenes; estas fueron tomadas en



frascos limpios de plástico y/o vidrio, transportadas en refrigeración hasta los laboratorios de la Institución Universitaria del Colegio Mayor de Antioquia (IUCMA), donde permanecieron en nevera a 4 °C hasta su procesamiento.

Observación microscópica inicial: las muestras recolectadas fueron observadas empleando un estereomicroscopio, un microscopio óptico y un microscopio invertido con contraste de fase; se hizo observaciones en fresco y con lugol de Gram para determinar la riqueza biológica de las mismas.

Condiciones de cultivo: se ensayó varias formas de cultivo, escogiendo finalmente el medio BG11; fueron depositadas en *Erlenmeyers* de 125 mL con un volumen efectivo de 70 mL, para evitar zonas muertas de cultivo y/o sedimentabilidad; fueron dispuestas en las siguientes condiciones de cultivo:

1. Aireación constante con bomba de acuario y ciclo luz-oscuridad 12/12.
2. Agitación (75 rpm) y ciclo luz- oscuridad 12/ 12, *Erlenmeyer* distribuidos en cada *shaker*.
3. Agitación (150 rpm) e iluminación LED continua.

Las condiciones de laboratorio fueron constantes para las tres condiciones de cultivo: temperatura ambiente 24-26 °C, humedad relativa 66 %. Las muestras sembradas fueron alimentadas semanalmente con agua estancada, agua de quebrada, agua lluvia y la microalga *Chlorella vulgaris*; finalmente, cada 15 días se realizó el recambio de parte del medio de cultivo, con el fin de mantener vivos los microorganismos en estudio.

Evaluación de parámetros fisicoquímicos: en aras de correlacionar los resultados obtenidos en el cultivo de la meiofauna en estudio, se tomó parámetros fisicoquímicos (pH y conductividad) en cada una de las muestras, para determinar las condiciones durante el tiempo de experimentación.

Clasificación de organismos encontrados: de acuerdo con sus características morfológicas, con la ayuda de literatura especializada, divididos en:

- **Metazoos:** micrometazoos y macrometazoos
- **Algas:** diatomeas, filamentosas y algas verdes
- **Protozoos:** ciliados, flagelados y ameboides.

Resultados

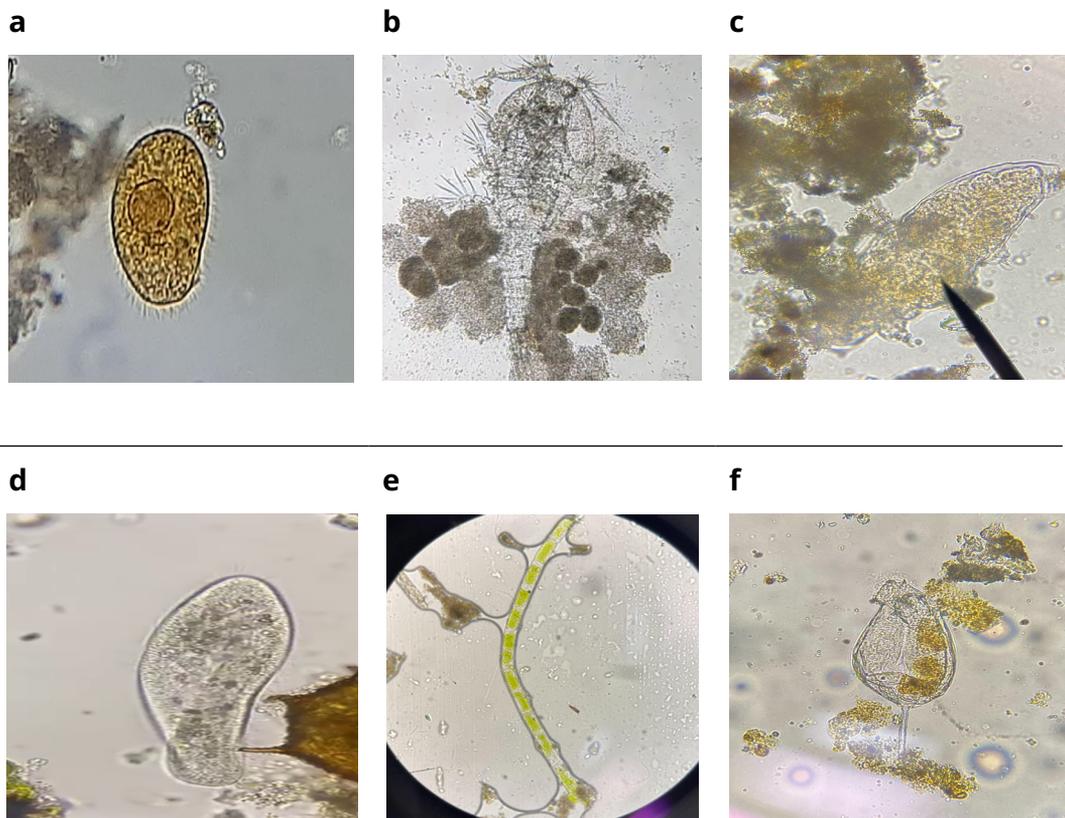
Observación microscópica inicial

Se logró evidenciar gran diversidad de microorganismos y organismos presentes en las muestras iniciales. A continuación, se presenta algunos ejemplos de las observaciones microscópicas de los microorganismos encontrados:



Figura 1

Observaciones microscópicas: a. Ciliado; b. Copépodo; c. Tardígrado; d. Ciliado; e. Alga filamentosa; f. Rotífero



Condiciones de cultivo

Figura 2

Condiciones de cultivo para los organismos en estudio, Centro de Biotecnología de la IUCMA



Aireación constante y ciclo luz-
oscuridad.



Agitación (75 rpm) y ciclo
luz- oscuridad.



Agitación (150 rpm) e
iluminación LED continua.



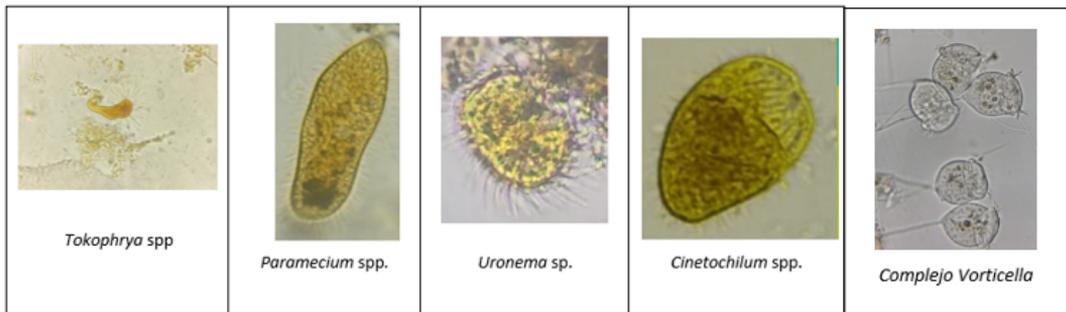
Clasificación de organismos encontrados

El equipo de trabajo responsable de este estudio se permite aclarar que no somos biólogos ni mucho menos taxónomos; por tanto, realizamos aproximaciones en la clasificación de los siguientes organismos:

Protozoos ciliados

Figura 3

Muestras de protozoos ciliados



Se pudo observar gran variedad de protozoos ciliados dentro de las muestras; a partir de esto, se procedió a buscar bibliografía para indicar su potencial como bioindicador. Así, evidenciamos la diferenciación entre ciliados en fijos o sésiles como *Tokophrya* sp; este ciliado sesil suctorio es bioindicador de alta edad de fangos en condiciones alfa y beta-mesosaprobias mientras que, *Vorticella* sp cuando aparece de forma dominante, está asociado a condiciones de buena aireación y funcionamiento estable del reactor; por el contrario, cuando aparece en baja densidad poblacional, se asocia a condiciones transitorias (poco estables o de colonización). Es indicador, además, de la ausencia de nitrificación en el reactor biológico.

Otro tipo de protozoos ciliados son los nadadores; en este caso, encontramos *Paramecium caudatum*, reportado para el control de la eutrofización de lagos, lo cual representa una alternativa biorremediadora para cuerpos de agua eutrofizados, mientras que su presencia esporádica en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) indica fangos o lodos en formación, con carga orgánica alta; además, es frecuente hallarlo en filtros percoladores. Se ha demostrado la capacidad de *Paramecium* sp para estar en consorcios y actuar sobre aguas contaminadas con petróleo, logrando degradar más de un 50 % de hidrocarburos.

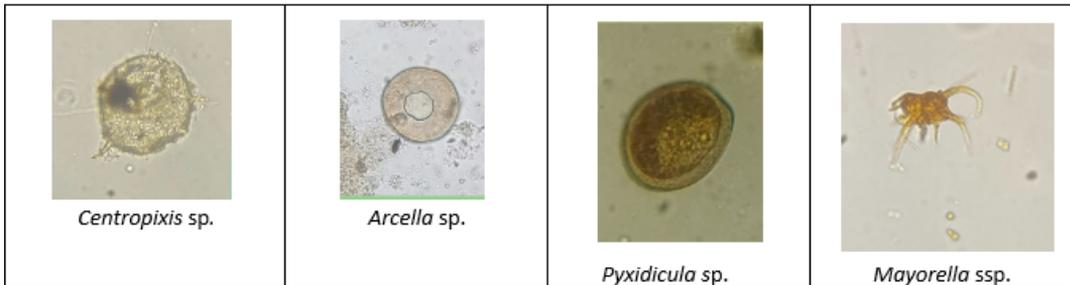
Uronema sp, otro ciliado nadador, es indicador de alta edad de lodos en condiciones alfa beta-mesosaprobias. En algunas ocasiones se presenta como organismo mayoritario en PTAR, funcionando a bajas edades de lodos o en situaciones de sobrecarga orgánica y escasa oxigenación (Isac et al., 2015).



Protozoos ameboides

Figura 4

Muestra de protozoos ameboides



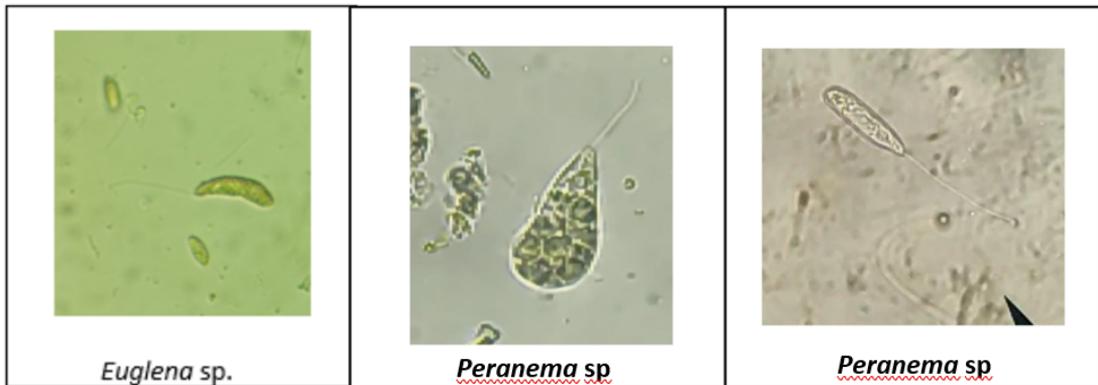
Los protozoos ameboides estaban distribuidos en todas las unidades experimentales, a excepción de las muestras cultivadas en agitación e iluminación constante, en las cuales se promovió el crecimiento de algas. Se pudo identificar algunos géneros de protozoos importantes como bioindicadores; según la información recopilada, hubo amebas tecadas como *Centropyxis sp*, que se alimenta de restos de materia orgánica y recoge fragmentos inorgánicos para usarlos como capa protectora; indica buena calidad de la depuración en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, *Arcella sp* se ha reportado como indicador de buenos rendimientos de depuración; a elevadas concentraciones, indica baja carga orgánica, altos tiempos de retención celular, buena oxigenación y condiciones de nitrificación (Zornoza et al., 2011). *Pyxidula sp*, a diferencia de las amebas descritas, no presenta tanta información ecológica; no obstante, está asociada a depuración correcta. En general, las amebas tecadas están asociadas a procesos exitosos; no ocurre igual para las amebas desnudas, como es el caso de *Mayorella sp*; su presencia indica bajos rendimientos en la depuración e inestabilidad de la carga orgánica de entrada en el reactor; cuando aparece en elevadas densidades de población, indica la entrada de vertidos difícilmente degradables.



Protozoos flagelados

Figura 5

Muestras de protozoos flagelados



Se halló protozoos flagelados en menor cantidad, en comparación con los demás microorganismos; existen diversos tipos: unos, de vida libre y otros, con capacidad de establecer relaciones simbióticas con diferentes especies vegetales y animales: *Crithidia spp.*, *Leptomonas spp.* o *Phytomonas spp.*, entre otros. Además, en este grupo muchos son parásitos del hombre (Cacciò et al., 2005).

Los protozoos flagelados desempeñan un papel ecológico importante en numerosos ecosistemas acuáticos y terrestres. Estos organismos unicelulares son un componente clave de la cadena alimentaria, por cuanto se alimentan de bacterias y algas más pequeñas y, a su vez, son presa de organismos más grandes como los crustáceos y los peces. Además, los protozoos flagelados son esenciales en la regulación de la calidad del agua, ya que actúan como depuradores naturales en los sistemas acuáticos. Al alimentarse de bacterias y otros microorganismos, contribuyen a reducir la carga de nutrientes y materia orgánica en el agua.

Por ejemplo, se ha encontrado que *Euglena sp.* puede ser un indicador útil de la presencia de alta concentración de carbono orgánico en las aguas residuales, debido a sus características bioquímicas están siendo utilizadas en procesos de descontaminación de aguas residuales (Mahapatra et al., 2013); esto indica cómo el agua residual entrante tiene sustancias orgánicas muy diluidas, al igual que *Peranema sp.*, aunque esta última es compatible con buenos rendimientos en la depuración.

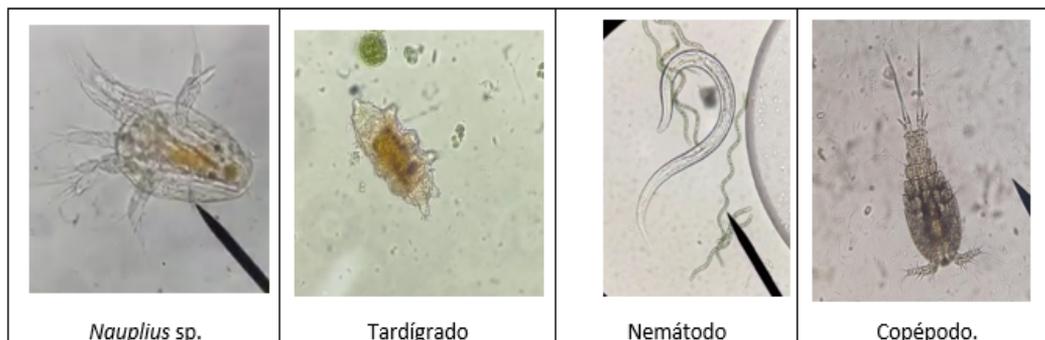
Los protozoos son buenos bioindicadores de toxicidad, por cuanto son más sensibles a los tóxicos y a los cambios de oxígeno; por lo anterior, pueden ser considerados como bioindicadores del funcionamiento de las PTAR y constituyen una herramienta útil para el control de las mismas, así como para la detección y prevención de posibles problemas operativos.



Micro y macrometazoos

Figura 6

Muestras de micro y macrometazoos



Los micro y macrometazoos han venido tomando relevancia, dadas sus múltiples utilidades biotecnológicas. Un ejemplo de ellos son los tardígrados, utilizados como modelos de investigación para astrobiología, exploración espacial y medicina, entre otros, debido a sus mecanismos de supervivencia como criptobiosis, anoxibiosis, criobiosis, anhidrobiosis y ósmosis (Lagos et al., 2013). Los tardígrados son ubicuos, encontrándose en aguas marinas y dulces, hábitats terrestres como musgos, líquenes, hepáticas, hojarasca, suelos forestales, en todas las altitudes y latitudes, en algunos ecosistemas antárticos como nunataks, llanuras costeras y glaciares, hasta en las trincheras oceánicas más profundas. Además de ser utilizados como indicadores ambientales, los tardígrados podrían funcionar como indicadores de calidad de diferentes sustratos, por su resistencia a metales pesados como el cobre, aunque falta aún mucha investigación por realizar en este tema (Parada, 2022).

Otros micrometazoos de gran importancia como bioindicadores son los rotíferos; en general, en número controlado indican eficiencia en la depuración, elevadas edades de fango y buena calidad del agua tratada, mientras que *Testudinella* sp. no aparece habitualmente en fangos activos, sí se encuentra en biofilms o biopelículas.

Por otra parte, según Zornoza et al. (2011), los copépodos cumplen un papel ecológico dentro de su nicho, ya que son enlaces tróficos esenciales en las redes alimentarias y pueden servir como bioindicadores de la presencia de metales pesados; además, son utilizados en larvicultura marina (altas cantidades de ácidos grasos y antioxidantes). No es común en fangos activados. Puede estar asociado a una elevación en la concentración salina.

También nos pudimos dar cuenta de la alta presencia de nematodos, en general, en la mayoría de las muestras; en lodos de PTAR, estos se alimentan de protozoos y están asociados a elevada edad de fangos. Poseen un potencial prometedor reportado en algunos estudios, a la producción de biomasa de

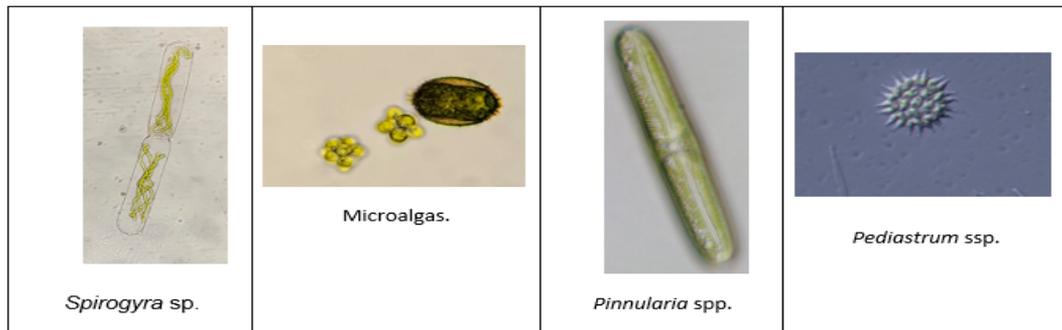


nematodos a partir de lodos generados de las plantas depuradoras urbanas, lo cual ayuda a disminuir la carga total del fango, generando una tecnología limpia y ecológica en el tratamiento de aguas residuales y en la biotecnología de nematodos, permitiendo alcanzar una economía circular más consolidada (Muñoz et al., 2022).

Microalgas

Figura 7

Muestras de microalgas



Las microalgas fueron los organismos con más abundancia en este estudio; son de vital interés ecológico y biotecnológico pues, bajo ciertas condiciones, muchas especies de ellas pueden acumular en altas concentraciones, compuestos de interés comercial, como proteínas, lípidos, almidón, glicerol, pigmentos naturales y biopolímeros; por tanto, constituyen un recurso muy versátil para numerosas aplicaciones en diversos campos: en la acuicultura, son utilizadas como fuente principal de alimento para moluscos, rotíferos, peces y fases larvianas de crustáceos, además de contribuir a mantener la calidad del agua. También son empleadas en el tratamiento de aguas residuales, la detoxificación biológica y el control de metales pesados en aguas naturales o industrialmente contaminadas. Son útiles en la agricultura como biofertilizantes y, en la industria biomédica y farmacológica para tratar heridas, así como en la producción de sustancias de interés comercial como vitaminas, pigmentos, aminoácidos, polisacáridos y enzimas. En la industria de la fermentación, son utilizadas como promotoras de crecimiento y para la producción de ceras, biosurfactantes, fosfolípidos, ácidos grasos esenciales y prostaglandinas. Además, los lípidos algales son una alternativa para la producción de biocombustibles (Gómez, 2007).

Conclusiones

De los proyectos realizados en estos años en biotecnología ambiental, a la fecha logramos mantener cultivos de algas, protozoos y metazoos durante cuatro meses (lo que dura un semestre académico) en las diferentes condiciones de cultivo, alimentando dos veces por semana. Se evidenció cómo las condiciones de cultivo promueven un grupo específico de organismos, así: bajo las



condiciones de cultivo de agitación e iluminación continua, el crecimiento de algas verdes y algas filamentosas; mientras que, en las condiciones de ciclo luz-oscuridad, aumentan las amebas tecadas, el número de rotíferos, así como la variabilidad de las especies encontradas, siendo esta la mejor condición para los protozoos y metazoos. En la condición de aireación, se produce evaporación de las muestras, dificultando el crecimiento de los organismos en estudio.

Se cambió la alimentación de aguas lluvias por aguas estancadas y de quebrada, con el fin de mantener los organismos vivos, debido a que las primeras alimentaciones fueron pobres (aguas lluvias) y esto influyó en la viabilidad de los cultivos; si bien en este estudio no se logró el cultivo de tardígrados provenientes de líquenes, fueron estas las muestras con el mayor aporte en el número y variedad de organismos, al ser comparados con las demás muestras.

El alimento fue un factor determinante en la variación de la ecología microbiana; así mismo, se observó cómo la presencia de tardígrados está determinada por la abundancia de rotíferos y nematodos en las muestras de líquenes. En las mediciones de los parámetros fisicoquímicos se pudo evidenciar cómo las muestras biológicas son muy sensibles a cambios en su alimentación, como los cambios en la conductividad y pH; por tanto, se debe correlacionar los resultados fisicoquímicos con los bioindicadores encontrados en las muestras evaluadas.

Gracias a la amplia variedad de organismos hallados, se ha logrado identificar un gran número de especies que han permitido la creación de un atlas que recopila información sobre el papel ecológico que cada organismo desempeña, así como las características morfológicas principales, para su fácil identificación. En consecuencia, se tiene como objetivo, mantener actualizado este atlas, incluyendo organismos no documentados hasta ahora.

Recomendaciones

El trabajo colaborativo, de acuerdo con los equipos y fortalezas de los grupos de investigación, es fundamental para dar a conocer nuestra riqueza en meiofauna; en nuestro caso, nos dimos cuenta que durante el desarrollo de esta investigación no contábamos con equipos especializados que permitieran una identificación morfológica de alta resolución para diferenciar organelas y estructuras claves para la clasificación taxonómica, razón por la cual y, para complementar nuestra experiencia, realizamos una pasantía con el grupo MIKU de la Universidad del Magdalena, grupo que cuenta con amplia experiencia en taxonomía de tardígrados. Así mismo, nos apoyamos en el trabajo del grupo Bioindicación Sevilla, de la Universidad Complutense de Madrid, para los lodos activados en PTAR. Deseamos continuar este estudio, con el fin de emplear los bioindicadores en otros sistemas de tratamiento de aguas residuales como reactores de biodiscos, MBR, humedales, entre otros.



Agradecimientos

A los estudiantes del semestre 2022-2 de Biotecnología ambiental, quienes hicieron parte del proyecto de la creación de un atlas, aportando conocimiento valioso que ayudó a construir el presente artículo. Igualmente, un reconocimiento y un agradecimiento especial a todas las personas que durante casi nueve años han venido aportando en el crecimiento de esta línea de investigación.

Referencias

- Cacciò, S. M., Thompson, R. C., McLauchlin, J., & Smith, H. V. (2005). Unravelling Cryptosporidium and Giardia epidemiology. *Trends in Parasitology*, 21(9), 430-437. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2005.06.013>
- Gómez, L. M. (2007). Microalgas: aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*, 19(2), 3-20.
- Isac, L., Rodríguez, E., Salas, M. D. y Fernández, N. (2015). Protozoos en el fango activo. http://www.bibliotecagbs.com/archivos/089_156_capficha_protozoos.pdf.
- Kolkwitz, R. & Marsson, M. (1909). Ökologie der tierischen Saprobien. *Internationale Revue of Hydrobiologie*, 2(1-2), 126-152. <https://doi.org/10.1002/iroh.19090020108>.
- Lagos, A. M., Daza, A., Sánchez, C., León, M. V., Caicedo, M., Londoño, R. y Quiroga, S. (2013). Ositos de agua. Phylum: Tardigrada. *Boletín de Zoología*, 2, 1-16.
- Madoni, P. (2011). Protozoa in wastewater treatment processes: A minireview. *Italian Journal of Zoology*, 78(1), 3-11. <https://doi.org/10.1080/11250000903373797>
- Mahapatra, D. M., Chanakya, H. N., & Ramachandra, T. V. (2013). *Euglena* sp. as a suitable source of lipids for potential use as biofuel and sustainable wastewater treatment. *Journal of Applied Phycology*, 25, 855-865. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-9979-5>
- Marchetti, C. M. (2010). Contaminación y contaminantes del aire exterior. En *Salud ambiental infantil. Manual para enseñanza de grado en escuelas de medicina* (pp. 43-46). Ministerio de Salud de la Nación y Organización Panamericana de la Salud.
- Muñoz, M. J., López-Viso, C., & Hodaifa, G. (2022). Nematode biomass production from sewage sludge as a novel method for circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 330. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129706>



- Parada, M. (2022). *Tardígrados (ecdysozoa: tardigrada) asociados a musgos (bryophyta) de la ciudad de México y estados de Morelos, Hidalgo y Oaxaca, México* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://www.researchgate.net/publication/361650195>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M. y Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Zornoza, A., Avendaño, L., Alonso-Molina, J. L., Serrano, S., Amoros, I., Bernácer, I. y Martínez, J. L. (2011). Análisis de las correlaciones entre diversos parámetros operacionales y físico-químicos relacionados con el proceso biológico de nitrificación en fangos activos. https://www.researchgate.net/publication/234154579_Analisis_de_las_correlaciones_entre_diversos_parametros_operacionales_y_fisico-quimicos_relacionados_con_el_proceso_biologico_de_nitrificacion_en_fangos_activos



Capítulo 13

Visualización de la suma y transposición de matrices a través de 'Pixel Art'

Vladimir Cortés Lerín¹

Gilberto Antonio Méndez Ramírez²

Christian Vicente Juárez³

Cítese como: Cortés-Lerín, V., Méndez-Ramírez, G. A. y Juárez, C. V. (2023). Visualización de la suma y transposición de matrices a través de 'Pixel Art'. En F. C. Gómez-Meneses, L. M. Gómez-Melo, D. Valencia-Enríquez, S. Gómez-Herrera, J. M. López-Moreno y J. M. Villota-Paz (comps.), *Avances y desafíos en las ciencias y la ingeniería: nuevos conocimientos para un futuro sostenible* (pp. 221-232). Editorial UNIMAR. <https://doi.org/10.31948/editorialunimar.208.c362>

Resumen

Una de las herramientas más utilizadas en las matemáticas universitarias son las matrices; estas tienen diversas aplicaciones en las ramas de la ingeniería y son una base para diversos temas del álgebra lineal; sin embargo, dentro de los planes y programas de estudio, pocas veces se aborda, dándoles una visualización no numérica. En este trabajo se expone una actividad donde se codifica la suma y la transposición de matrices utilizando el software Microsoft Excel y se representa de manera visual a través de imágenes llamadas 'Pixel art'. Esta actividad permite visualizar una matriz como una imagen, lo cual brinda una herramienta poderosa para proveer a los estudiantes de una mejor comprensión de los conceptos de suma y transposición mediante la manipulación de sus elementos representados con colores; también se puede observar la utilidad de las matrices y sus alcances. Esta implementación permite manipular los conceptos de elementos y posiciones de una matriz; da paso a proponer y programar algoritmos para llevar a cabo las operaciones y, abre un canal para la expresión creativa del estudiante mediante propuestas artísticas.

Palabras clave: Pixel art; suma de matrices; transpuesta de matriz; visualización de conceptos matemáticos.

¹ Escuela de Ingenierías y Arquitectura, Universidad La Salle Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. Correo: 000000512@ulsaoaxaca.edu.mx

² Escuela de Ingenierías y Arquitectura, Universidad La Salle Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. Correo: 014427585@ulsaoaxaca.edu.mx

³ Escuela de Ingenierías y Arquitectura, Universidad La Salle Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. Correo: 014429144@ulsaoaxaca.edu.mx



Visualization of the sum and transposition of matrices through 'Pixel Art'

Abstract

One of the most used tools in university mathematics is matrices; these have several applications in the branches of engineering and are a basis for various topics of linear algebra; however, within the study plans and programs, they are rarely addressed, giving them a non-numerical visualization. This paper presents an activity where the sum and transposition of matrices are codified using Microsoft Excel software and represented visually through images called 'Pixel art'. This activity allows visualizing a matrix as an image, which provides a powerful tool to offer students a better understanding of the concepts of addition and transposition through the manipulation of its elements represented with colors; the usefulness of matrices and their scopes can also be observed. This implementation allows manipulating the concepts of elements and positions of a matrix; it gives way to propose and program algorithms to carry out the operations and opens a channel for the student's creative expression through artistic proposals.

Keywords: Pixel art; matrix summation; matrix transpose; visualization of mathematical concepts.

Visualização da soma e transposição de matrizes por meio de 'Pixel Art'

Resumo

Uma das ferramentas mais utilizadas na matemática universitária são as matrizes; elas têm várias aplicações nos ramos da engenharia e são a base para vários tópicos de álgebra linear; entretanto, nos planos e programas de estudo, elas raramente são abordadas, o que lhes confere uma visualização não numérica. Este trabalho apresenta uma atividade em que a soma e a transposição de matrizes são codificadas usando o software Microsoft Excel e representadas visualmente por meio de imagens chamadas 'Pixel art'. Essa atividade permite visualizar uma matriz como uma imagem, o que fornece uma ferramenta poderosa para que os alunos compreendam melhor os conceitos de adição e transposição por meio da manipulação de seus elementos representados por cores; a utilidade das matrizes e seus escopos também podem ser observados. Essa implementação permite manipular os conceitos de elementos e posições de uma matriz; dá margem para propor e programar algoritmos para realizar as operações e abre um canal para a expressão criativa dos alunos por meio de propostas artísticas.

Palavras-chave: Pixel art; soma de matrizes; transposição de matrizes; visualização de conceitos matemáticos.

Introducción

Fortalecer los conceptos de suma y transposición de matrices es indispensable para abordar temas de mayor complejidad en el álgebra matricial; sin



embargo, pocas veces se vincula estas operaciones básicas con aplicaciones visuales y, se omite la oportunidad de manipular estos conceptos por parte de los estudiantes. Las operaciones con matrices suelen ser vistas únicamente de manera numérica y los conceptos de elementos y posiciones no son vinculados con una aplicación real; esto puede causar que el estudiante no vincule las matrices a una aplicación práctica y, pierda o decaiga el interés por estudiarlas.

Para desarrollar una mejor comprensión de la suma y transposición de matrices, se propuso realizar su visualización mediante imágenes. La visualización de conceptos y procedimientos matemáticos es importante para la comprensión; autores como Arcavi (2003), Straesser (2001), Nardi (2014), Phillips et al. (2010), Yilmaz y Argun (2018), Stylianou y Silver (2004) han abordado cómo la visualización en la enseñanza de los conceptos matemáticos es una herramienta poderosa para comprender, plantear e interpretar conceptos y procedimientos matemáticos.

Para esta actividad, desarrollada por estudiantes de segundo semestre de la Universidad La Salle Oaxaca de la Licenciatura en Ingeniería en software y sistema computacional, se eligió el 'Pixel Art' como visualización de una matriz numérica. El Pixel art es una forma de arte digital, donde los detalles de la imagen son representados a nivel de pixel (Kopf y Lischinski, 2011). Esta forma de arte fue utilizada por los programadores de videojuegos de mediados de los años 90, para dar vida a los personajes. En el Pixel Art cada pixel tiene asignado un color; el pixel art fue utilizado debido a las limitaciones tecnológicas de la época; actualmente forma parte de la denominada 'cultura pop' y es utilizado aún en algunos videojuegos para darles un ambiente 'retro'. Es también utilizado como una forma de arte, no solo en medios digitales, sino en medios tradicionales de expresión artística, como imágenes formadas por cubos de Rubik o baldosas de colores.

Las operaciones elegidas para este trabajo fueron la suma y la transposición de matrices, debido a su simplicidad en la operación y manipulación de los elementos de una matriz que estas operaciones brindan, así como un primer acercamiento hacia otras operaciones más complejas. Una matriz es una estructura matemática bidimensional que contiene información contenida en elementos de tipo numérico, que pueden ser operados. La suma de matrices está definida elemento a elemento, por lo cual se requiere de matrices del mismo rango para poder sumarse. El rango de una matriz está dado por el número de filas y el número de columnas que posee. Cada elemento de una matriz tiene una única posición, dada por la fila y la columna en la que está. La suma de matrices, según Hohn (2013), está definida de manera general como:

$$A + B = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mn} \end{pmatrix} =$$



$$\begin{pmatrix} a_{11} + b_{11} & a_{12} + b_{12} & \dots & a_{1n} + b_{1n} \\ a_{21} + b_{21} & a_{22} + b_{22} & \dots & a_{2n} + b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} + b_{m1} & a_{m2} + b_{m2} & \dots & a_{mn} + b_{mn} \end{pmatrix}$$

La transposición de matrices es la operación por la cual las filas de una matriz A se transforman en columnas de otra matriz, llamada 'transpuesta' y denotada como A^T . Según Hohn (2013), está definida de manera general como:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

$$A^T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{m1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{m2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Metodología

Instrucciones del proyecto

Como parte de los temas que se aborda en la materia de Álgebra lineal del programa de estudios de la Universidad La Salle Oaxaca, están las operaciones con matrices. Para cubrir este tema, el docente planeó una actividad para vincular estas operaciones con una aplicación visual que se pudiera programar y que motivara la parte artística de los estudiantes. Se propuso el uso de Microsoft Excel para llevar a cabo la programación, por ser una plataforma que estos conocen y que es fácil de programar y el uso de 'Pixel Art' por la característica que tiene de manejar imágenes de rango bajo, formando matrices con pocas variaciones de colores. Se eligió la suma y transposición de matrices, por ser operaciones básicas, sencillas de llevar a cabo y brindar una manipulación clara de los elementos.

Se formó equipos de trabajo asignados al azar, con cinco integrantes; se asignó un calendario para entrega de avances y una fecha final de entrega del proyecto, el cual consistió en las siguientes etapas:

1. Realizar una investigación bibliográfica acerca del denominado 'Pixel Art' y de la suma y transposición de matrices y, plasmar la información en un documento.
2. Seleccionar la imagen de algún personaje, estableciendo una escala de colores y asignando números a cada color. Utilizando la escala de colores, construir una matriz numérica.
3. Una vez establecida la matriz numérica, utilizar la herramienta de



'formato condicional' para rellenar los cuadros que contengan números, con sus correspondientes colores en la escala creada, dando vida al 'Pixel Art'.

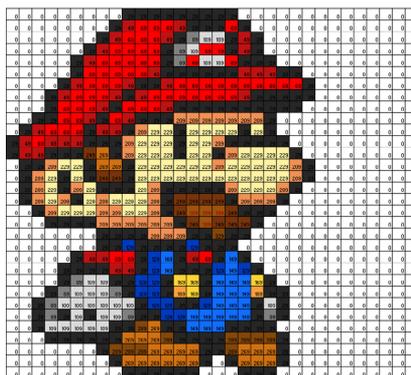
4. Escoger un paisaje y, haciendo uso de otra escala de colores para cada color del paisaje, crear otra matriz numérica, esta vez para el paisaje.
5. Al establecer la escala de colores del paisaje, utilizar la herramienta de 'formato condicional' para colorear los números del paisaje con los colores de su escala correspondiente, dando vida al 'Pixel Art' del paisaje.
6. Proponer un algoritmo para llevar a cabo la suma de matrices numéricas, cumpliendo con una condición: en la visualización, al sumar las matrices, lograr superponer la imagen del personaje a la del paisaje.
7. Una vez obtenida la suma de las matrices a esta matriz de la suma, aplicar la transpuesta, para crear una nueva matriz donde aplicar la herramienta de 'formato condicional' para colorearla.

Propuesta de un equipo

Se recibió cinco trabajos, de los cuales se seleccionó el que se observa en la Figura 1, para exponerlo en este artículo, por cuanto cumplió con todos los requerimientos y presentó el mejor diseño y operación. Los estudiantes crearon un archivo de Excel y eligieron la imagen de un personaje de videojuegos para representarlo en un 'Pixel Art'. En la Figura 1 se observa el personaje seleccionado por el equipo. La característica de esta imagen fue utilizar pocas variaciones de color y formar matrices de rango bajo.

Figura 1

Visualización en 'Pixel art' del personaje



La imagen de la Figura 1 fue creada a partir de una matriz numérica que se observa en la Figura 2, la cual fue copiada. La copia fue rellenada con la herramienta de 'formato condicional' asignando colores a cada número. La escala de colores que el equipo seleccionó se observa en la Tabla 1.



La suma de matrices se realizó entre la matriz numérica de la imagen y la matriz numérica del paisaje, sumando, como se hace usualmente, las matrices. La estrategia utilizada por los estudiantes para cumplir con la condición de que al sumar las matrices el personaje quedara superpuesto al paisaje, fue la siguiente: la escala de colores del paisaje iba desde el número 1 al número 19; los valores de colores para el personaje iban del 29 al 369; los estudiantes eligieron estos rangos para que ningún número usado para colores del paisaje existiera en la escala de colores del personaje; los colores del personaje tenían una diferencia de 20 unidades entre cada uno; fue pensada para que cualquier suma del número de la escala del paisaje más uno del personaje, no llegase al valor numérico del color siguiente del personaje. En espacios del personaje donde no había color, asignaron el número cero, para no sumar.

Los números de la matriz resultante que se muestra en la Figura 5 fueron condicionados con la herramienta de 'formato condicional', para colorearlos; si los números de la escala de color eran sumados con espacios vacíos en el personaje, los valores de la escala de colores del paisaje no se verían afectados y se coloreaban con los colores usados para el paisaje. Si los números usados para los colores del paisaje eran sumados con valores de los números usados para los colores del personaje, se incrementaba el valor; sin embargo, dado que la mayor suma que se podía alcanzar no coincidía con el siguiente color en la escala del personaje, se podía colorear con los valores numéricos del personaje, estableciendo un rango para el coloreado, como se muestra en la Tabla 3.

Figura 5

Visualización de la suma del personaje y del paisaje



Tabla 3

Rango de valores numéricos que se obtiene en la suma de valores de los colores del personaje más los del paisaje

| Color |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | | |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------|-----------------|
| Valor numérico | 29 - 48 | 49 - 68 | 69 - 88 | 89 - 108 | 109 - 128 | 129 - 148 | 149 - 168 | 169 - 188 | 189 - 208 | 209 - 228 | 229 - 248 | 249 - 268 | 269 - 288 | 289 - 308 | 309 - 328 | 329 - 348 | 349 - 368 | 369 - 388 |

El resultado fue la superposición del personaje al paisaje. Como los condicionamientos de coloreado y la suma estaban programadas, cualquier modificación en la matriz del paisaje o del personaje se vería reflejada en la suma en tiempo real, siempre y cuando se respetara la paleta de colores utilizada en cada imagen.

Para la matriz transpuesta, cuya visualización se muestra en la Figura 6, los estudiantes utilizaron el comando en Excel para transposición de matrices. La matriz a la cual se le aplicó transposición fue la matriz de la suma que, visualmente, se refiere a la superposición del personaje y el paisaje; esta transposición también sufre las modificaciones en tiempo real de manera automática.

Figura 6

Visualización de la matriz transpuesta de la suma del personaje y del paisaje



Resultados observados

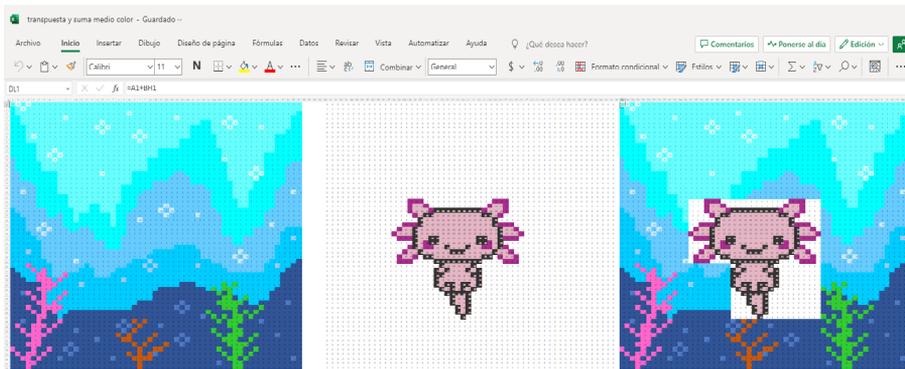
Durante el desarrollo de esta actividad, la parte del diseño de paisaje y personaje fue muy interesante para los estudiantes; algunos equipos manifestaban su deseo por crear paisaje y personajes muy detallados (Figura 7), aunque esto los llevaba a utilizar una escala de colores muy amplia. En la parte de motivación artística se vieron muy activos, seleccionando y creando los paisajes y personajes; pudieron vincular que cada cuadrado que coloreaban



representaba un elemento de la matriz numérica, reforzando los conceptos de elemento de matriz, así como la idea de que cada elemento de la matriz es único por su posición.

Figura 7

Propuesta de paisaje y personaje en pixel art y su asignación numérica



Al condicionar la suma de matrices para lograr la superposición del personaje al paisaje, los estudiantes planearon varias alternativas de solución, siendo la de los rangos establecidos presentada en este trabajo, la más popular. En esta parte utilizaron algoritmos para plantear la solución y, si bien la programación en Excel no fue muy complicada, el concepto de suma de matrices sí se tuvo presente en todo momento, ya que remarcaron en cada propuesta que la suma de las matrices se realiza elemento a elemento. En esta parte también tuvieron que manejar el concepto de que las matrices son sumadas solo si son del mismo rango, razón por la cual, a la matriz numérica del personaje tuvieron que agregar ceros, para llenar los espacios sin color y que los rangos entre matrices fueran iguales.

En la matriz transpuesta, el comando utilizado de Microsoft Excel facilitó la operación, pero los estudiantes pudieron observar qué pasa con las posiciones de los colores al realizar la transpuesta, así como las modificaciones que la imagen presentaba en la orientación. Esta visualización permitió introducir en ellos la noción de procesamiento de imágenes; pudieron ver que, con el uso de la matriz transpuesta podían lograr cambios en la orientación de la imagen, como los que se consigue en los procesadores de imágenes.

Al planear esta actividad, se buscaba obtener una visualización de los conceptos de las operaciones de suma y transposición de matrices; se optó por estas operaciones para simular un procesamiento de imágenes a nivel inicial, así como, para mostrar una aplicación de las matrices en la ingeniería. Los estudiantes pudieron observar las matrices como imágenes y, al asignar un número a cada color, tuvieron la capacidad de construir una matriz numérica que tuviera un significado visible y que representara algo que ellos podían ver distinto a solo los números.



Al proponer la suma, tuvieron que plantear valores numéricos que cumplieran con la condición de que el personaje se superpusiera al paisaje; esto los llevó a establecer escalas de colores específicas. La suma de las matrices adquirió un significado al lograr la superposición de las imágenes y a reconocer los espacios que no habían sido modificados por las sumas. Esta manipulación de la suma permitió que remarcaran que la suma de matrices se realiza posición a posición. Al transponer la matriz resultante de la suma pudieron observar cómo la transpuesta de una matriz modificaba la imagen original; esto tuvo un efecto más visible en una imagen y pudieron ver una aplicación de la transpuesta, girar 90° a la derecha una imagen y voltearla. Cabe aclarar que no dejamos de lado la posibilidad de crear personajes y paisajes en pixel art, lo cual desarrolla y motiva su parte artística y vincula estas expresiones de arte con las matemáticas, específicamente con las matrices.

Durante el desarrollo de la actividad a lo largo del semestre, se recopiló comentarios acerca de cómo crear el pixel art, lo cual llevó a los estudiantes a investigar cómo modificar el tamaño de celdas en Excel; plantearon el límite de colores a utilizar, lo que los llevó a diseñar escalas de colores. La propuesta de que la suma debía superponer el personaje al paisaje los llevó a recrear la suma de matrices posición a posición y a reconocer en la matriz resultante, números que debían ser expresados en colores nuevamente y que correspondieran al paisaje o al personaje.

La actividad abrió puertas a programar otras operaciones matemáticas como la resta de matrices, la determinante o la inversa y, plantearse la pregunta: ¿Cómo podría visualizarse estas operaciones utilizando 'Pixel art'?

Conclusiones

Como experiencia didáctica, esta propuesta fue muy útil pues en varias etapas del proyecto los estudiantes se vieron motivados a investigar y preguntarse cómo realizar la suma y la transpuesta de matrices. Fue una buena opción para vincular la parte artística en trabajos de matemáticas y que los estudiantes pudieran visualizar las matrices como una imagen; esto dio paso al acercamiento hacia el procesamiento de imágenes y brindó la oportunidad de ver una de las tantas aplicaciones que tienen las matrices. La programación en Microsoft Excel permite un ambiente favorable para visualizar las matrices numéricas y las matrices con colores en una misma hoja. Esta propuesta se puede escalar hacia otras operaciones con matrices utilizando 'Pixel Art' y observar las modificaciones que sufren las imágenes.

Los estudiantes manifestaron su interés en el proyecto y les resultó interesante ver las matrices como imágenes; también, se familiarizaron con los conceptos de elementos, suma y transpuesta, aunque se recomienda crear elementos de evaluación previos y posteriores a la actividad, para medir la asimilación de los conceptos. En retrospectiva, nos parece una herramienta didáctica útil para utilizarse en el aula en las carreras de ingenierías y, poder abordar desde otra perspectiva las operaciones con matrices.



Referencias

- Arcavi, A. (2003). The role of visual representations in the learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 52, 215-241. <https://doi.org/10.1023/A:1024312321077>
- Hohn, F. E. (2013). *Elementary matrix algebra*. Courier Corporation.
- Kopf, J. & Lischinski, D. (2011). Depixelizing pixel art. *ACM SIGGRAPH*, (99), 1-8. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1964921.1964994>
- Nardi, E. (2014). Reflections on visualization in mathematics and in mathematics education. *Mathematics & mathematics education: searching for common ground*, 193-220. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7473-5_12
- Phillips, L. M., Norris, S. P., Macnab, J. S., Phillips, L. M., Norris, S. P., & Macnab, J. S. (2010). Visualizations and Mathematics. *Visualization in Mathematics, Reading and Science Education*, 45-50. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8816-1_5
- Straesser, R. (2001). Cabri-Geometre: Does dynamic geometry software (DGS) change geometry and its teaching and learning? *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 6, 319-333. <https://doi.org/10.1023/A:1013361712895>
- Stylianou, D.A. & Silver, E. A. (2004). The role of visual representations in advanced mathematical problem solving: An examination of expert-novice similarities and differences. *Mathematical Thinking and Learning*, 6(4), 353-387. https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0604_1
- Yilmaz, R. & Argun, Z. (2018). Role of visualization in mathematical abstraction: The case of congruence concept. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology*, 6(1), 41-57. <https://doi.org/10.18404/ijemst.328337>





Universidad
Mariana

Res. MEN 1362 del 3 de febrero de 1983



Universidad Mariana
Calle 18 No. 34-104 San Juan de Pasto
<https://libros.umariana.edu.co/index.php/editorialunimar>