
10 Editorial

Investigación

- 13 Use of the Speed of Sound for Heights Below the Troposphere in Colombia to Determine the Distance of Lightning Strikes
Jonathan Jair Rubiano Cruz, César Alexander Chacón Cardona, Horacio Torres Sánchez
- 26 Electrocoagulación como alternativa de tratamiento de aguas residuales mixtas originadas en la industria del procesamiento de lácteos y cárnicos
Yim James Rodríguez Díaz, Miguel David Fuentes Guevara, Óscar David Beleño Díaz, Luis Hernando Montoya Armenta
- 40 Localización de múltiples fuentes basada en información de dirección de llegada mediante el uso de la teoría de sensado comprimido
Tibisay Sánchez Quintero, Cristina Gómez Santamaría, Roberto Carlos Hincapié Reyes
-

Estudio de caso

- 53 Development of a mobile APP for interactive learning in civil engineering problems: application to open-channel hydraulics
Edgar Orlando Ladino Moreno, César Augusto García Ubaque, Jorge Arturo Pineda Jaimes
- 71 Design of an Impact Attenuator Using Alternative Material
Edgar Vicente Rojas Reinoso, Vicente Javier Romero Hidalgo, Johnny Marcelo Pancha Ramos, Jorge Mauricio Néjer Guerreo
- 86 Sitios de inundaciones causadas por los ríos La Vega y Jordán, Tunja (Boyacá).
Néstor Rafael Perico Granados, Heidy Madeleine Arévalo Algarra, Carlos Andrés, Reyes Rodríguez, Camilo Andrés Perico Martínez, María Claudia Vera, Jackson Monroy G.
-

Revisión

- 102 Stories, Living Experiences, And Generational Meanings In The Use Of Ecosystem Resources: San Juanito, Meta Colombia
Francy Liliana Montealegre Torres, Dulce María Quintero Romero, Mirosława Czerny, Roció López Velasco
- 112 Perspectiva para un Modelo de atención de salud centrado en el paciente bajo un escenario soportado en la internet de las cosas y Blockchain
Roberto Albeiro Pava Díaz, José Nelson Pérez Castillo, Luis Fernando Niño Vásquez
-

131 Instrucciones para autores

139 Instructions for authors

Vol. 25 Núm. 67 • Enero - Marzo de 2021 • Bogotá, Colombia • Publicación trimestral - ISSN: 0123-921X • e-ISSN-e 2248-7638

Tecnura

V.25
N.67



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica

Revista Tecnura • Volumen 25 – Número 67 • Enero - Marzo de 2021
ISSN (impreso): 0123-921X • e-ISSN: 2248-7638 • Bogotá D.C. Colombia



Tecnura

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

Volumen 25 - Número 67
Enero - Marzo de 2021

p-ISSN: 0123-921X
e-ISSN: 2248-7638



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Revista TECNURA
Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

EDITOR

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa
Universidad de Alicante, España

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle
University of Illinois, Estados Unidos

Ph.D. Martín Pedro Gómez
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

COMITÉ EDITORIAL

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. César Augusto Hernández Suárez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra
Universidad de La Sabana, Colombia

Ph.D. Diego Luis González
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia

Ph.D. Julyan Cartwright
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España

Ph.D. Oreste Piro
Universidad de les Illes Balears, España

EVALUADORES

PhD. Andrés Alfonso Galindo Montero
Universidad de la Guajira

PhD. Guefry Leider Agredo Méndez
Universidad del Cauca

PhD. Jeison Marin Alfonso
Unidades tecnológicas de Santander

PhD. Néstor Fernando Méndez Hincapié
Universidad Pedagógica Nacional de Colombia

PhD. Rafael Esteban Bello Pérez
Universidad Central Marta Abreu De Las Villas, Cuba

MEng. Jorge Martínez Coral
Escuela Politécnica Nacional

MSc. Julio Cesar Perez Garcia
Universidad Central Marta Abreu De Las Villas, Cuba

MEng. Nixon Alonso Duarte Acosta
Universidad Católica de Colombia

MEng. Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Universidad Santo Tomás

COMITÉ CIENTÍFICO

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Fernando Martirena
Universidad Central de Las Villas, Cuba

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez
Universidad de Los Andes, Colombia

ASISTENTES DE LA REVISTA

Lizeth Viviana Urrea

COORDINACIÓN EDITORIAL

Fernando Piraquive
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico-CIDC
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Tecnura

Volumen 25 - Número 67
Enero - Marzo de 2021

REVISTA TECNURA

La revista Tecnura es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de carácter científico-tecnológico, arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

PERIODICIDAD

Es una publicación de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

COBERTURA TEMÁTICA

Las áreas temáticas de interés de la revista Tecnura están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publicará únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión.

MISIÓN

La revista Tecnura tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de la ingeniería, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado.

PÚBLICO OBJETIVO

La revista Tecnura está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de la ingeniería.

INDEXACIÓN

Tecnura es una publicación de carácter académico indexada en los índices regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México); además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), IndexCopernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España); también hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México); Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

FORMA DE ADQUISICIÓN

La revista Tecnura se puede adquirir a través de compra, canje o suscripción.

SUSCRIPCIÓN

El precio unitario de la revista es de 10000 pesos (el precio no incluye el valor del envío). La suscripción anual tiene un costo de 45000 pesos para Colombia, 40 USD para América Latina y el Caribe, 60 USD para otras regiones (el precio incluye el valor del envío). Para suscribirse utilice el formato ubicado al final de la revista.

REPRODUCCIÓN

Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos de esta revista para uso académico o interno de las instituciones citando la fuente y el autor. Las ideas expresadas se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial de la revista.

DIRECCIÓN POSTAL

Enviar a Ing. Cesar Augusto García Ubaque,
Ph.D. Director y Editor Revista Tecnura
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.
Facultad Tecnológica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 70B No. 73A-35 sur
Teléfono: 571-3238400, extensión: 5003
Celular: 57-3153614852
Bogotá, D.C., Colombia
Correo electrónico:
tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com
Tecnura en internet:
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

Fernando Carretero Padilla

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLÉS

Laura Ximena García

DISEÑO DE CUBIERTA

Andrés Enciso

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO L^AT_EX*

MSc. Julian Arcila-Forero

*Modificada bajo las condiciones del LaTeX Project Public License
<http://www.latex-project.org/lppl.txt>



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

TECNURA Journal
Technology And Culture, Affirming Knowledge
District University Francisco José De Caldas
Faculty Of Technology

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

EDITOR

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa
Universidad de Alicante, España

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

EDITORIAL COMMITTEE

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle
University of Illinois, Estados Unidos

Ph.D. Ing. César Augusto Hernández Suárez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Martín Pedro Gómez
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas
Universidad de Los Andes, Colombia

EVALUATORS

PhD. Andrés Alfonso Galindo Montero
Universidad de la Guajira

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

PhD. Guefry Leider Agredo Méndez
Universidad del Cauca

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

PhD. Jeison Marin Alfonso
Unidades tecnológicas de Santander

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa
Universidad Ricardo Palma, Perú

PhD. Néstor Fernando Méndez Hincapié
Universidad Pedagógica Nacional de Colombia

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra
Universidad de La Sabana, Colombia

PhD. Rafael Esteban Bello Pérez
Universidad Central Marta Abreu De Las Villas, Cuba

Ph.D. Diego Luis González
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia

MEng. Jorge Martinez Coral
Escuela Politécnica Nacional

Ph.D. Julyan Cartwright
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España

MSc. Julio Cesar Perez Garcia
Universidad Central Marta Abreu De Las Villas, Cuba

Ph.D. Oreste Piro
Universidad de les Illes Balears, España

MEng. Nixon Alonso Duarte Acosta
Universidad Católica de Colombia

SCIENTIFIC COMMITTEE

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero
Universidad Autónoma Metropolitana, México

MEng. Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Universidad Santo Tomás

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina
Universidad Autónoma Metropolitana, México

TECNURA JOURNAL ASSISTANTS

Lizeth Viviana Urrea

Ph.D. Ing. Fernando Martirena
Universidad Central de Las Villas, Cuba

EDITORIAL COORDINATION

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez
Universidad de Los Andes, Colombia

Fernando Piraquive
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico-CIDC
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Tecnura

Volumen 25 - Número 67
Enero - Marzo de 2021

TECNURA JOURNAL

Tecnura Journal is an institutional scientific-technological publication from the Faculty of Technology at District University Francisco José de Caldas, arbitrated by means of a double-blinded peer review process. The periodicity for its Scientific and Editorial committees line-up is subject to the publication of articles in internationally indexed magazines by its own members.

PERIODICITY

Tecnura journal is a scientific-technological publication with quarterly periodicity, published in January, April, July and October. Its first edition appeared in the second term, 1997 and its editions have normally continued from that year and on.

THEMATIC COVERAGE

The thematic areas of interest at Tecnura journal are focused on all fields of engineering such as electrical, telecommunications, electrical, computer, industrial, mechanical, cadastral, civil, environmental, etc. However, it is not restricted to those, there is also room for education and health topics as well, as long as they are related to engineering. The journal will only publish scientific and technological research, reflection and review articles.

MISSION

Tecnura journal is aimed at publishing research project results carried out in the field of engineering, through the publishing of original and unpublished articles written by academics and professionals from national or international public or private institutions.

TARGET AUDIENCE

Tecnura journal is directed to professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and the monitoring of the scientific-technological research processes in the field of engineering.

INDEXING

Tecnura is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica of the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet of the Universidad de la Rioja (Spain); it is also part of the following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), bibliographic index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden), Ulrich of Proquest (United States).

FORM OF ACQUISITION

Tecnura journal is available through purchase, exchange or subscription.

SIGN UP

The unit price of the journal is 6 USD (the price does not include shipping). The annual sign up is 28 USD for Colombia; 40 USD in Latin America and the Caribbean; 60 USD in other regions (the price includes shipping). To sign up, use the format located at the end of the journal.

REPRODUCTION

The total or partial reproduction of the articles of this journal is authorized for academic or internal purpose of the institutions citing the source and the author. Ideas expressed are published under exclusive responsibility of the authors and they do not necessarily reflect the thought of the editorial committee of the journal.

POSTAL ADDRESS

Send to Engr. Cesar Augusto García Ubaque, Ph.D.

Director and Editor Revista Tecnura
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.

Faculty of Technology

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70B No. 73A - 35 sur

Telephone Number: 571 - 3238400, extension: 5003

Cell phone Number: 57 - 3153614852

Bogotá D.C., Colombia

E-mail:

tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com

Tecnura on internet:

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

STYLE CORRECTION IN SPANISH

Fernando Carretero Padilla

STYLE CORRECTION IN ENGLISH

Laura Ximena García

TITLE PAGE DISEGN

Andrés Enciso

LAYOUT AND L^AT_EX* DESIGN

MSc. Julian Arcila-Forero

*modified under the conditions of the LaTeX Project Public License
<http://www.latex-project.org/lppl.txt>

El comité editorial de la revista **Tecnura** está comprometido con altos estándares de ética y buenas prácticas en la difusión y transferencia del conocimiento, para garantizar el rigor y la calidad científica. Es por ello que ha adoptado como referencia el Código de Conducta que, para editores de revistas científicas, ha establecido el Comité de Ética de Publicaciones (COPE: Committee on Publication Ethics) dentro de los cuales se destaca:

Obligaciones y responsabilidades generales del equipo editorial

En su calidad de máximos responsables de la revista, el comité y el equipo editorial de **Tecnura** se comprometen a:

- Aunar esfuerzos para satisfacer las necesidades de los lectores y autores.
- Propender por el mejoramiento continuo de la revista.
- Asegurar la calidad del material que se publica.
- Velar por la libertad de expresión.
- Mantener la integridad académica de su contenido.
- Impedir que intereses comerciales comprometan los criterios intelectuales.
- Publicar correcciones, aclaraciones, retractaciones y disculpas cuando sea necesario.

Relaciones con los lectores

Los lectores estarán informados acerca de quién ha financiado la investigación y sobre su papel en la investigación.

Relaciones con los autores

Tecnura se compromete a asegurar la calidad del material que publica, informando sobre los objetivos y normas de la revista. Las decisiones de los editores para aceptar o rechazar un documento para su publicación se basan únicamente en la relevancia del trabajo, su originalidad y la pertinencia del estudio con relación a la línea editorial de la revista. La revista incluye una descripción de los procesos seguidos en la evaluación por pares de cada trabajo recibido. Cuenta con una guía de autores en la que se presenta esta información. Dicha guía se actualiza regularmente y contiene un vínculo a la presente declaración ética. Se reconoce el derecho de los autores a apelar las decisiones editoriales. Los editores no modificarán su decisión en la aceptación de envíos, a menos que se detecten irregularidades o situaciones extraordinarias. Cualquier cambio en los miembros del equipo editorial no afectará las decisiones ya tomadas, salvo casos excepcionales en los que confluían graves circunstancias.

Relaciones con los evaluadores

Tecnura pone a disposición de los evaluadores una guía acerca de lo que se espera de ellos. La identidad de los evaluadores se encuentra en todo momento protegida, garantizando su anonimato.

Proceso de evaluación por pares

Tecnura garantiza que el material remitido para su publicación será considerado como materia reservada y confidencial mientras que se evalúa (doble ciego).

Reclamaciones

Tecnura se compromete responder con rapidez a las quejas recibidas y a velar para que los demandantes insatisfechos puedan tramitar todas sus quejas. En cualquier caso, si los interesados no consiguen satisfacer sus reclamaciones, se considera que están en su derecho de elevar sus protestas a otras instancias.

Fomento de la integridad académica

Tecnura asegura que el material que publica se ajusta a las normas éticas internacionalmente aceptadas.

Protección de datos individuales

Tecnura garantiza la confidencialidad de la información individual (por ejemplo, de los profesores y/o alumnos participantes como colaboradores o sujetos de estudio en las investigaciones presentadas).

Seguimiento de malas prácticas

Tecnura asume su obligación para actuar en consecuencia en caso de sospecha de malas prácticas o conductas inadecuadas. Esta obligación se extiende tanto a los documentos publicados como a los no publicados. Los editores no sólo rechazarán los manuscritos que planteen dudas sobre una posible mala conducta, sino que se consideran éticamente obligados a denunciar los supuestos casos de mala conducta. Desde la revista se realizarán todos los esfuerzos razonables para asegurar que los trabajos sometidos a evaluación sean rigurosos y éticamente adecuados.

Integridad y rigor académico

Cada vez que se tenga constancia de que algún trabajo publicado contiene inexactitudes importantes, declaraciones engañosas o distorsionadas, debe ser corregido de forma inmediata.

En caso de detectarse algún trabajo cuyo contenido sea fraudulento, será retirado tan pronto como se conozca, informando inmediatamente tanto a los lectores como a los sistemas de indexación.

Se consideran prácticas inadmisibles, y como tal se denunciarán las siguientes: el envío simultáneo de un mismo trabajo a varias revistas, la publicación duplicada o con cambios irrelevantes o parafraseo del mismo trabajo, o la fragmentación artificial de un trabajo en varios artículos.

Relaciones con los propietarios y editores de revistas

La relación entre editores, editoriales y propietarios estará sujeta al principio de independencia editorial. **Tecnura** garantizará siempre que los artículos se publiquen con base en su calidad e idoneidad para los lectores, y no con vistas a un beneficio económico o político. En este sentido, el hecho de que la revista no se rija por intereses económicos, y defienda el ideal de libre acceso al conocimiento universal y gratuito, facilita dicha independencia.

Conflicto de intereses

Tecnura establecerá los mecanismos necesarios para evitar o resolver los posibles conflictos de intereses entre autores, evaluadores y/o el propio equipo editorial.

Quejas/denuncias

Cualquier autor, lector, evaluador o editor puede remitir sus quejas a los organismos competentes

The editorial board of *Tecnura* journal is committed to ethics high standards and good practice for knowledge dissemination and transfer, in order to ensure rigour and scientific quality. That is why it has taken as reference the Code of Conduct, which has been established by the Committee on Publication Ethics (COPE) for scientific journal editors; outlining the following:

General duties and responsibilities of the editorial board

As most responsible for the journal, *Tecnura* committee and the editorial board are committed to:

- Joining efforts to meet the readers and authors' needs.
- Tending to the continuous improvement of the Journal.
- Ensuring quality of published material.
- Ensuring freedom of expression.
- Maintaining the academic integrity of their content.
- Prevent commercial interests compromise intellectual standards.
- Post corrections, clarifications, retractions and apologies when necessary.
- Relations with readers.
- Readers will be informed about who has funded re- search and their role in the research.

Relations with authors

Tecnura is committed to ensuring the quality of published material, informing the goals and standards of the journal. The decisions of publishers to accept or reject a paper for publication are based solely on the relevance of the work, originality and pertinence of the study with journal editorial line.

The journal includes a description of the process for peer evaluation of each received work, and has an authors guide with this information. The guide is regularly updated and contains a link to this code of ethics. The journal recognizes the right of authors to appeal editorial decisions Publishers will not change their decision in accepting or rejecting articles, unless extraordinary circumstances or irregularities are detected. Any change in the editorial board members will not affect decisions already made, except for unusual cases where serious circumstances converge.

Relations with evaluators

Tecnura makes available to reviewers a guide to what is expected from them. Reviewers' identity is protected at all times, ensuring anonymity.

Peer review process

Tecnura ensures that material submitted for publication will be considered private and confidential issue while being reviewed (double blind).

Claims

Tecnura is committed to respond quickly to complaints and ensure that dissatisfied claimant can process all complaints. In any case, if applicants fail to satisfy their claims, the journal considers that they have the right to raise their protests to other instances.

Promoting Academic Integrity

Tecnura ensures that the published material conforms to internationally accepted ethical standards.

Protection of individual data

Tecnura guarantees the confidentiality of individual information (e.g. participant teachers and/or students as collaborators or subjects of study in the presented research).

Tracking malpractice

Tecnura accepts the obligation to act accordingly in case of suspected malpractice or misconduct. This obligation extends both to publish and unpublished documents. The editors not only reject manuscripts with doubts about possible misconduct, but they are considered ethically obligated to report suspected cases of misconduct. From the journal every reasonable effort is made to ensure that works submitted for evaluation are rigorous and ethically appropriate.

Integrity and academic rigour

Whenever evidence that a published work contains significant misstatements, misleading or distorted statements, it must be corrected immediately.

In case of any work with fraudulent content is detected, it will be removed as soon as it is known, and immediately informing both readers and indexing systems.

Practices that are considered unacceptable and as such will be reported: simultaneous sending of the same work to various journals, duplicate publication with irrelevant changes or paraphrase of the same work, or the artificial fragmentation of a work in several articles.

Relations with owners and journal editors

The relation between editors, publishers and owners will be subject to the principle of editorial independence. *Tecnura* will ensure that articles are published based on their quality and suitability for readers, and not for an economic or political gain. In this sense, the fact that the journal is not governed by economic interests, and defends the ideal of universal and free access to knowledge, provides that independence.

Conflict of interest

Tecnura will establish the necessary mechanisms to avoid or resolve potential conflicts of interest between authors, reviewers and/or the editorial board itself.

Complaints / allegations

Any author, reader, reviewer or editor may refer their complaints to the competent authorities.

Editorial

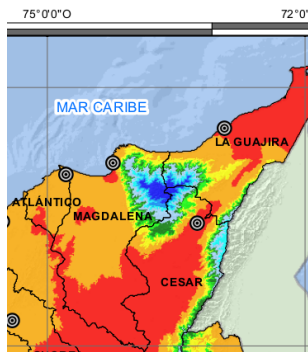
10



Use of the Speed of Sound for Heights Below the Troposphere in Colombia to Determine the Distance of Lightning Strikes

13

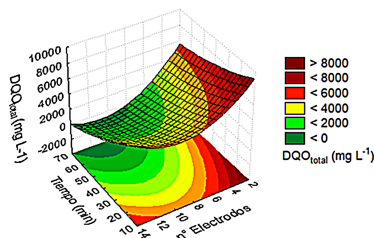
Velocidad del sonido para alturas menores a la troposfera en Colombia para determinar la distancia de impacto de un rayo
Rubiano-Cruz., J.J. Chacón-Cardona., C.A. y Torres-Sánchez., H.



Electrocoagulation as an alternative treatment for mixed wastewater originated in the dairy and meat processing industry

26

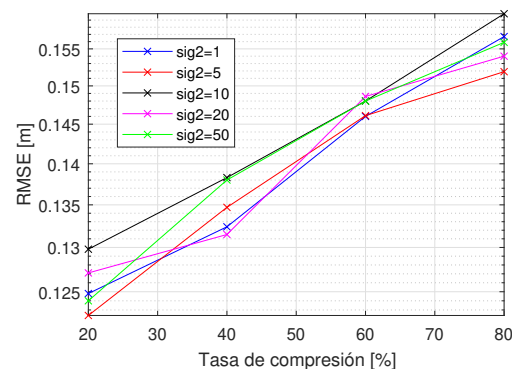
Electrocoagulación como alternativa de tratamiento de aguas residuales mixtas originadas en la industria del procesamiento de lácteos y cárnicos
Rodríguez-Díaz., Y.J. Fuentes-Guevara., M.D. Beleño-Díaz., O.D. y Montoya-Armenta., L.H.



Location estimation of multiple sources based on direction of arrival applying compressed sensing theory

40

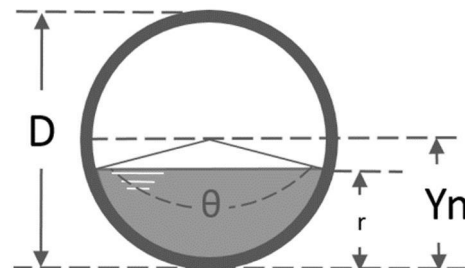
Localización de múltiples fuentes basada en información de dirección de llegada mediante el uso de la teoría de sensado comprimido
Sánchez-Quintero., T. Gómez-Santamaría., C. y Hincapié-Reyes., R.C.



Development of a mobile APP for interactive learning in civil engineering problems: application to open-channel hydraulics

53

Desarrollo de una aplicación móvil para el aprendizaje interactivo en problemas de ingeniería civil: aplicación a la hidráulica de canales abiertos
Ladino-Moreno., E.O. García-Ubaque., C.A. y Pineda-Jaimes., J.A.



Desde diferentes sectores de la sociedad se reconoce la necesidad de una interacción distinta entre las comunidades científicas, el sector productivo, el gobierno y la sociedad civil, de manera que se facilite una formulación más realista de la naturaleza de la investigación y de las distintas formas de innovación. Es necesario que los científicos y los creadores aprendan cómo trabajar juntos y responder a los retos urgentes que plantean las necesidades sociales. Además, las universidades han expresado desde hace varios años que nuestro país debe buscar mecanismos que promuevan un apoyo financiero apropiado para la investigación fundamental que esté inspirada en el uso, no necesariamente inmediato, del conocimiento.

En este sentido, uno de los principales retos que tiene nuestro Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación—MINCIENCIAS, es seguir construyendo un Sistema de CTel que asegure la generación de conocimiento fundamental y que también promueva su transferencia y apropiación por distintos sectores de la economía y de la sociedad. Es preciso fortalecer un sistema científico que investigue en los distintos campos de la frontera de las ciencias, que permita el avance del conocimiento fundamental y que esté orientado a promover la transferencia de ese conocimiento como un elemento esencial para la innovación y en últimas para el bienestar y la sostenibilidad de todos los miembros de la sociedad. Asimismo, es necesario fortalecer un sistema creativo que permita generar conocimiento sobre nuevas interpretaciones de la subjetividad del ser humano y sus relaciones con los demás.

Dados estos antecedentes, resulta fundamental que MINCIENCIAS desarrolle estrategias para conocer de manera oportuna y veraz las capacidades de investigación y desarrollo tecnológico, así como las de otras actividades que desarrollan los actores que hacen parte del Sistema de CTel. Igualmente, que le permitan diseñar y promover políticas e implementar estrategias que favorezcan que el sistema científico-tecnológico de nuestro país incremente la producción de conocimiento en sus fronteras y que, al mismo tiempo, se preocupe porque este conocimiento impacte de manera positiva las formas de actuación de la sociedad en todos sus ámbitos. Dicho proceso depende de la creación de unas condiciones tales que la generación de conocimiento sea un proceso connatural a la sociedad misma, lo cual significa que la actividad científica y creativa se debe realizar no sólo en universidades e institutos de investigación, sino también en el sector productivo, de modo que exista una estrecha relación entre la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo. Además, es fundamental que la capacidad de emprendimiento que permite convertir esos conocimientos en innovaciones exitosas sea parte de la formación de los profesionales, de los investigadores y de los empresarios.

En este escenario, se necesita un sistema independiente y basado en el conocimiento, que no atienda exclusivamente las demandas del gobierno de turno, sino que construya posibilidades para resolver los vacíos de conocimiento y las brechas en el desarrollo, las cuales favorecen la persistencia de las inequidades sociales.

Cesar Augusto García Ubaque 
DIRECTOR
cagarcaiu@udistrital.edu.co

There are several areas in which the research area needs improvement. For example, different sectors of society recognize the need for a different interaction between scientific communities, the productive sector, the government, and civil society; This interaction should seek to facilitate a more realistic formulation of the nature of research and the different forms of innovation. Furthermore, scientists and creators need to learn how to work together and respond to the urgent challenges posed by societal needs. Finally, universities have expressed for several years that our country should seek mechanisms that promote appropriate financial support for fundamental research, which is inspired by the use of knowledge, although this is not necessarily immediate.

In this sense, one of the main challenges facing our Ministry of Science, Technology and Innovation (MINCIENCIAS) is to continue building a science, technology and innovation (ST&I) system with various characteristics. On the one hand, that ensures the generation of fundamental knowledge; and on the other, that it promotes the transfer and appropriation of said knowledge by different sectors of the economy and society. Therefore, it is necessary to strengthen the scientific and creative systems in our country. A scientific system that investigates in the different fields of science, allowing the advancement of fundamental knowledge, and aimed at promoting the transfer of that knowledge as an essential element for innovation; Furthermore, this scientific system must understand that the benefit of knowledge transfer ultimately applies to the well-being and sustainability of all members

of society. And, a creative system that allows generating knowledge about new interpretations of human subjectivity and their relationships with others.

Given this background, there are several circumstances that are critical. In the first place, that MINCIENCIAS develop strategies to know in a timely and truthful manner the research and technological development capacities, as well as those related to other activities carried out by the same actors that are part of the ST&I system. Second, that it be allowed to design and promote policies and implement strategies that meet the following characteristics: favor the scientific-technological system of our country; increase the production of knowledge in its borders; and ensure that this knowledge has a positive impact on the way society acts. Third, that the entrepreneurial capacity that allows converting that knowledge into successful innovations be part of the training of professionals, researchers, and entrepreneurs. Said process depends on the creation of conditions such that the generation of knowledge is a process inherent to society itself; this means that scientific and creative activity must be carried out not only in universities and research institutes, but also in the productive sector, so that there is a close relationship between basic research, applied research, and development.

This scenario implies the need for an independent and knowledge-based system that does not exclusively meet the demands of the government in power, but rather builds possibilities to resolve knowledge and development gaps, which favor the persistence of social inequities.

Cesar Augusto García-Ubaque 
DIRECTOR
cagarciau@udistrital.edu.co

Use of the Speed of Sound for Heights Below the Troposphere in Colombia to Determine the Distance of Lightning Strikes

Velocidad del sonido para alturas menores a la troposfera en Colombia para determinar la distancia de impacto de un rayo

Jonathan Jair Rubiano Cruz ¹, César Alexander Chacón Cardona ² & Horacio Torres Sánchez ³

Fecha de Recepción: 20 de mayo de 2020

Fecha de Aceptación: 3 de noviembre de 2020

Cómo citar: Rubiano-Cruz., J.J. Chacón-Cardona., C.A. y Torres-Sánchez., H. (2021). Use of the Speed of Sound for Heights Below the Troposphere in Colombia to Determine the Distance of Lightning Strikes. *Tecnura*, 25(67), 13-25. <https://doi.org/10.14483/22487638.15897>

Abstract

Objective: This paper aims to conduct a study of the speed of sound in Colombia for heights below the troposphere, taking into account the temperature as a function of altitude for a tropical zone, in order to determine the distance of lightning strike.

Methodology: A speed of sound profile for Colombia was determined by analyzing data on altitude, temperature, and relative humidity in the country. The temperature equation as a function of altitude presented by NASA and the International Standard Atmosphere was taken into account to compare with the data obtained from meteorological stations located in different parts of the country (this stations measure information of temperature and other physical variables). Additionally, a sound profile map of Colombia was obtained using the interpolation in ArcGIS software.

Results: A map of the speed of sound in Colombia

was obtained, thus finding the speed range in the country. Likewise, the temperature was determined as function of the altitude for Colombia (a country in the tropical zone), with which it is possible to have data closer to the real speed of sound in the place and determinate the distance of impact of a lightning in land.

Conclusions: The study of variables such as temperature, relative humidity, and altitude helped determine the speed of sound for Colombia. It was also possible to define a temperature equation as a function of altitude for a tropical country; with the speed of sound, the radius of impact of a lightning can be found.

Keywords: altitude, geospatial statistics, lightning, meteorological stations, point patterns, relative humidity, temperature, thunder, tropical country, troposphere.

¹Electrical Engineer, Magister in electrical engineering. District University Professor. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: jjrubianoc@unal.edu.co

²Physicist, Master of Physical Sciences, Doctor of Physical Sciences. District University Professor. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: cachaconc@udistrital.edu.co

³Electrical Engineer, Magister in power systems. Emeritus Professor National University of Colombia. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: htorress@unal.edu.co

Resumen

Objetivo: Realizar un estudio de la velocidad del sonido en Colombia para alturas menores a la troposfera, teniendo en cuenta la temperatura en función de la altitud para una zona tropical, con el fin de ayudar a determinar la distancia de impacto de un rayo.

Metodología: Se determinó un perfil de la velocidad del sonido para Colombia, analizando datos de altitud, temperatura y humedad relativa en el país. Se tuvo en cuenta la ecuación de temperatura en función de la altitud presentada por la NASA y la International Standard Atmosphere, para luego comparar con los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas localizadas en diferentes lugares del país; estas estaciones miden temperatura y otras variables físicas. Adicionalmente se obtuvo un mapa de perfil de sonido en Colombia usando interpolación en el software ArcGIS.

Resultados: Se obtuvo un mapa de la velocidad del sonido en Colombia, obteniendo así el rango de velocidad en el país; asimismo se determinó la temperatura como función de la altitud para Colombia (un país ubicado en la zona tropical), con lo cual se puede tener un dato más cercano a la velocidad real del sonido en el lugar y determinar la distancia de impacto de un rayo en tierra.

Conclusiones: El estudio de variables como temperatura, humedad relativa y altitud, ayudaron a determinar la velocidad del sonido para Colombia. También fue posible determinar una ecuación de temperatura en función de la altitud para un país tropical; por lo tanto, con la velocidad del sonido se puede encontrar el radio de impacto de un rayo.

Palabras clave: altitud, estaciones meteorológicas, estadística geoespacial, humedad relativa, país tropical, patrones puntuales, rayo, temperatura, troposfera, trueno.

Table of Contents

INTRODUCTION	14
METODOLOGY	15
Altitude Variability	15
Temperature Differences	18
Relative Humidity	18
Meteorological Stations in Colombia	18
Relationship Between Speed of Sound, Relative Humidity and Temperature	18
RESULTS	18
Comparison Between Temperature as Dependent to Altitude	18
CONCLUSIONS	24
REFERENCES	24

INTRODUCTION

Colombia is a country located in the tropical zone (Del-Rio, Younes, & Pulgarín, 2017), and its altitudes range from sea level and its highest point at 5775 meters (Stančík, 2003). Colombia has 39 meteorological stations located in different places of the country (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), which belong to the IDEAM (acronym in Spanish for Institute of hydrology, meteorology, and environmental studies), who is responsible of managing the data of climate in Colombia. Within their Website, the IDEAM has data of temperature, weather, relative humidity, altitude, latitude, contamination, environmental quality, and other related variables. Also, it is possible to find in literature different methods for determining the approximate position where a lightning strikes, which mainly refer to observing the lightning and measuring the time until the thunder rings in order to calculate the place of impact (Shevick, 2000). Once this time lapse is

registered, this number and the speed of sound can be used to determine the lightning's distance from the observer.

Now in order to use this method we need to know the speed of sound. And, since the speed of sound is variable and change depending on the altitude and relative humidity of a place (Wilhelm van-Schaik, 2010), the exact location in the country is needed to have all the variables used in the calculations on lightning impact distance. Therefore, we took the data of temperature and relative humidity from the meteorological stations located in the country to find the relationship between these variables and the speed of sound in different places of Colombia.

METODOLOGY

Altitude Variability

The altitude in Colombia varies between 0 and 5775 meters above sea level: the highest place is located in Sierra Nevada de Santa Marta in the place known as Pico Colon (ArcGIS, 2018). Figure 1 shows the map of altitude in Colombia.

Figure 1 illustrates the map of altitudes of Colombia and shows the differences in altitude throughout regions, which will modify the speed of sound; therefore, altitude is an important factor that has to be considered when calculating the speed of sound in Colombia.



Figure 1. Map of altitudes in Colombia

Source: Agustín Codazzi Geographical Institute (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005).

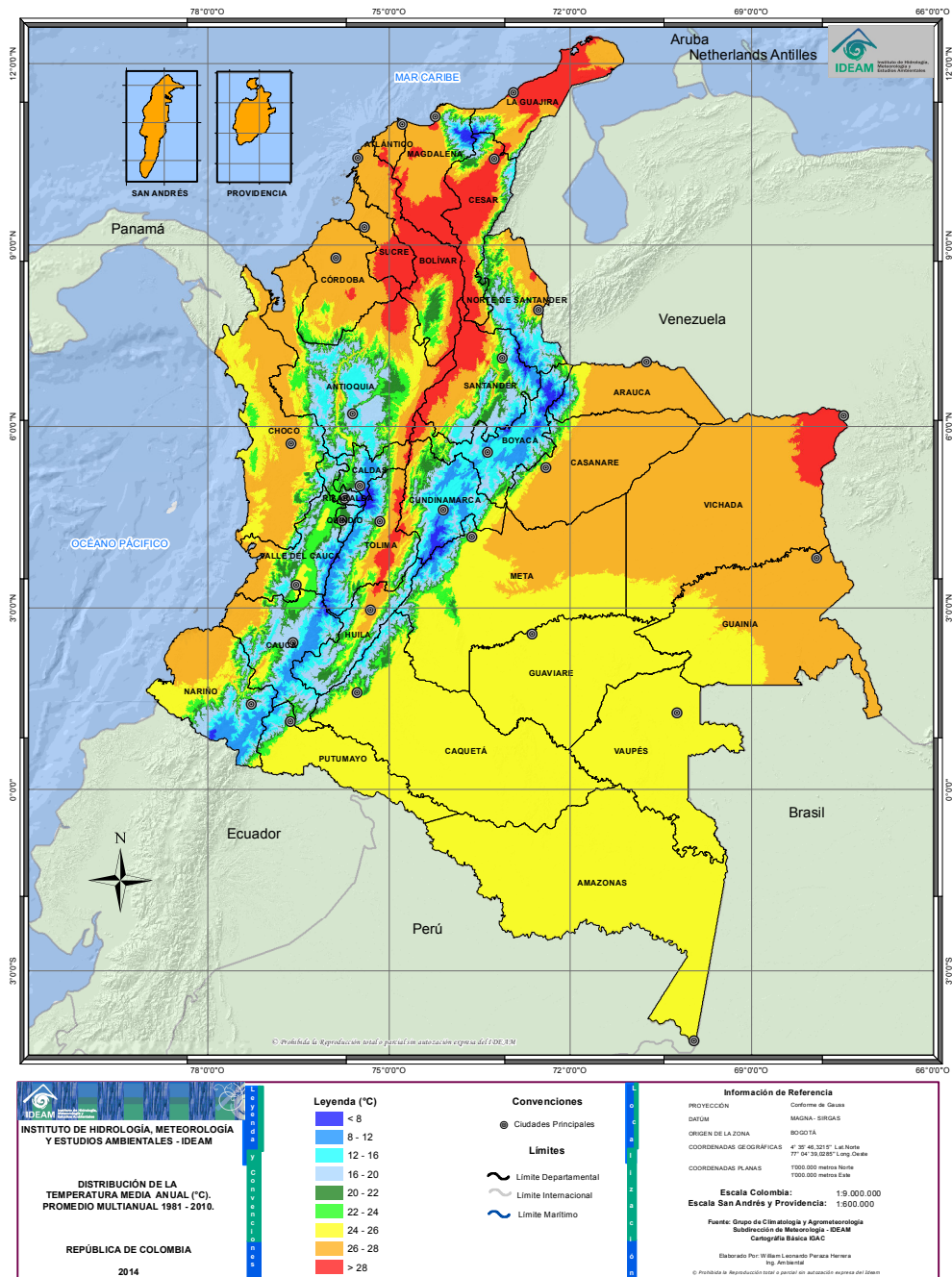


Figure 2. Map of Temperatures in Colombia

Source: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales, 2011).

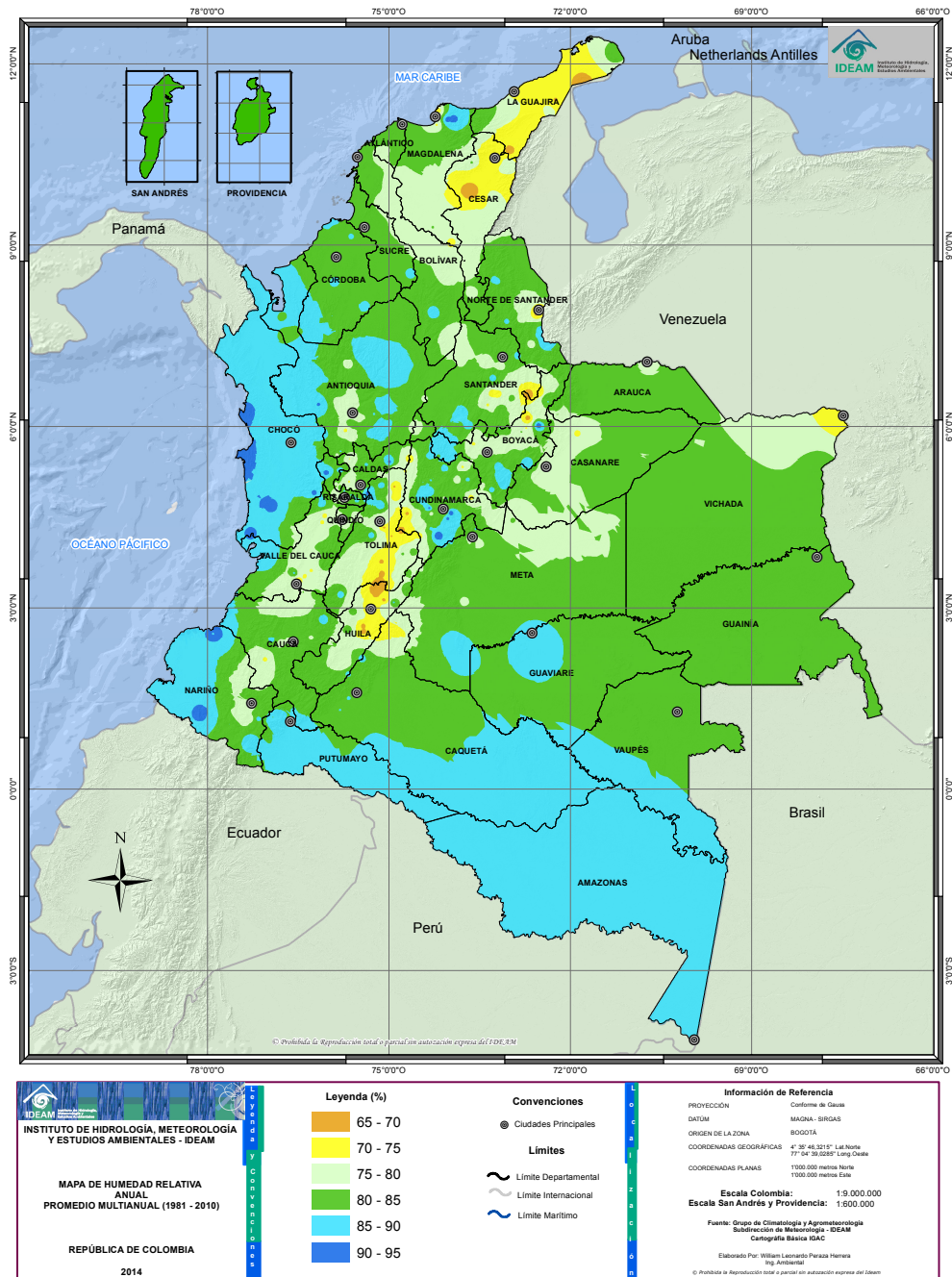


Figure 3. Map of relative humidity in Colombia

Source: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales ([Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales, 2011](#)).

Temperature Differences

In Colombia, the temperature is variable and depends on factors such as the altitude, resulting in diverse climates—values from -8 degrees Celsius up to approximately 45 degrees Celsius may be present; (Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales, 2015), (Hurtado M, 2015). Figure 2 shows the variability in temperature throughout Colombia.

This variability in temperature through the country also affects the speed of sound, so it will not be constant throughout the whole territory. Hence, we can affirm that the speed of sound always depends on the ambient temperature. (Hahn, M., Cruz, F., & Carvalho, P, 2019)

Relative Humidity

Conversely, relative humidity does not directly depend on altitude although it might be slightly related to the temperature. However, relative humidity does have a direct correlation to the surrounding vegetation or sources of water (IDEAM), so humidity will rise in a place close to a river, wetland or lagoon, or with rich vegetation, while somewhere with less water bodies will be less humid. Besides, the tropical zone is a region with low-pressure, which will also produce high relative humidity as well as storms.

According to the map shown in Figure 3, the relative humidity in Colombia varies depending on the place. The zones located South and West of the country (the regions of Amazonas, Caquetá, Putumayo, Vaupes, and Chocó) have more plants, trees, rivers, and wetlands and have values between 85 and 95 % of relative humidity. On the other hand, zones located East of the country have higher density of forests and have a relative humidity that varies from 75 and 85 % (the map shows these zones in green). Finally, the region called “La Guajira” is mostly desertic and has the lowest relative humidity values.

Meteorological Stations in Colombia

The IDEAM has 39 meteorological stations, located in different places with different altitudes (0 - 3000 meters) throughout the country. Table I shows the list of each station and its altitude (the table lists only 38 stations; the station #39 is located in San Andres Island, which was not considered during this research).

Figure 4 shows each meteorological station located in the country. As stated before, each station is located at a different altitude, latitude, and longitude and stores temperature, relative humidity, altitude, atmospheric pressure, and other data.

Relationship Between Speed of Sound, Relative Humidity and Temperature

According to the information provided by these stations, there is a direct correlation between the relative humidity and temperature of a place and the speed of sound in said place. Figure 5 shows this behavior.

These values are included in the article ‘High Accuracy Acoustic Relative Humidity Measurement in Duct Flow with Air’ (Wilhelm van-Schaik, 2010) were performed in a laboratory controlling conditions of temperature and relative humidity. These results show that the higher the temperature and relative humidity, the higher the speed of sound.

RESULTS

Comparison Between Temperature as Dependent to Altitude

The International Standard Atmosphere (ISA) models the temperature profile for changes of temperature in the atmosphere (Figure 6). The behavior of temperature at tropospheric level is linear, and the temperature at the sea level is 15 °C for the ISA model.

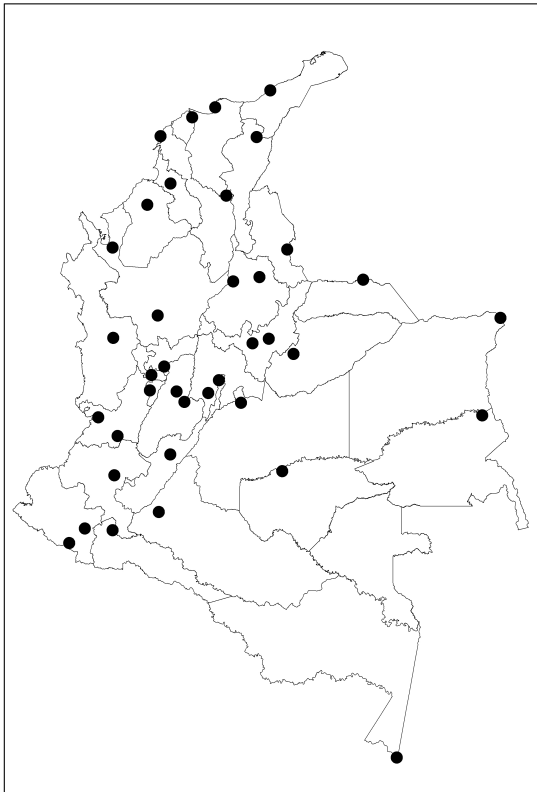


Figure 4. Meteorological stations in Colombia

Source: Authors.

This graph shows a behavior similar to that resulting from data from the NASA (model shown in Figure 7). The graph presents the temperature as function of the altitude for each layer of the atmosphere: troposphere, stratosphere, mesosphere, and thermosphere, although our study is focused only on the troposphere, i.e., between 0 and 10 km. According to data from NASA, there also exists a linear behavior that follows the equation below (National Aeronautics and Space Administration, 2018):

$$T(h) = 15,04 - 0,00640 h \quad (1)$$

Where T is the temperature in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$), and h is the altitude in meters (m).

Applying equation (1) from NASA and using the IDEAM data regarding temperature [$^{\circ}\text{C}$] and altitude [m] for each meteorological station, the trend shown in Figure 8 results.

Figure 8 shows the equation from NASA in a blue dashed line; the average temperature taken from each meteorological station in Colombia is represented with small circles, and the trend of these values is drawn as a continuous red line (the correlation coefficient r^2 of 0.954 and uncertainty of linear terms was $\Delta a = 1,92 \times 10^{-4}$ and $\Delta b = 2,32 \times 10^{-1}$). Looking at the behavior of the equation from NASA and the resulting graph in Figure 6, it is possible to say that they are similar: in both cases the temperature at 0 m is approximately 15°C . However, these results differ from the data taken from the meteorological stations in Colombia that establish $28,045^{\circ}\text{C}$ as the approximate temperature at 0 m. The equation obtained for temperature in function of the altitude with data measured in Colombia is:

$$T(h) = 28,045 - 0,0053 * h \quad (2)$$

Where T is the temperature in degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$), and h is the altitude in meters (m). To calculate the speed of sound with dry-air conditions, the following equation could be useful (Hass, 2017):

$$C = 331,4 + 0,6T \quad (3)$$

However, there are no dry-air conditions in this case, so if there is a variation in relative humidity, Eliakim presents an equation that relates the relative humidity and temperature for determining the speed of sound (Eliakim, 2014):

$$C = 331,4 + 0,6 T + 0,0124 RH \quad (4)$$

Figure 9 shows the map of speed of sound in Colombia using equation (4).

Table I. Meteorological stations in Colombia

Department	Altitude [m]	Department	Altitude [m]
Bolívar	2	Casanare	325
La Guajira	4	Meta	423
Magdalena	4	Tolima	431
Atlántico	14	Huila	439
Valle del Cauca	14	Putumayo	650
Antioquia	23	Tolima	928
Magdalena	34	Valle	1004
Córdoba	36	Santander	1189
Vichada	50	Quindío	1247
Chocó	53	Risaralda	1367
Amazonas	84	Cundinamarca	1460
Guainía	100	Antioquia	1490
Santander	126	Cauca	1757
Arauca	128	Caldas	2062
Cesar	138	Boyacá	2500
Guaviare	165	Cundinamarca	2547
Sucre	166	Boyacá	2690
Caquetá	244	Nariño	2871
Norte de Santander	250	Nariño	2961

Source: Adapted table from ([Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales, 2011](#)).

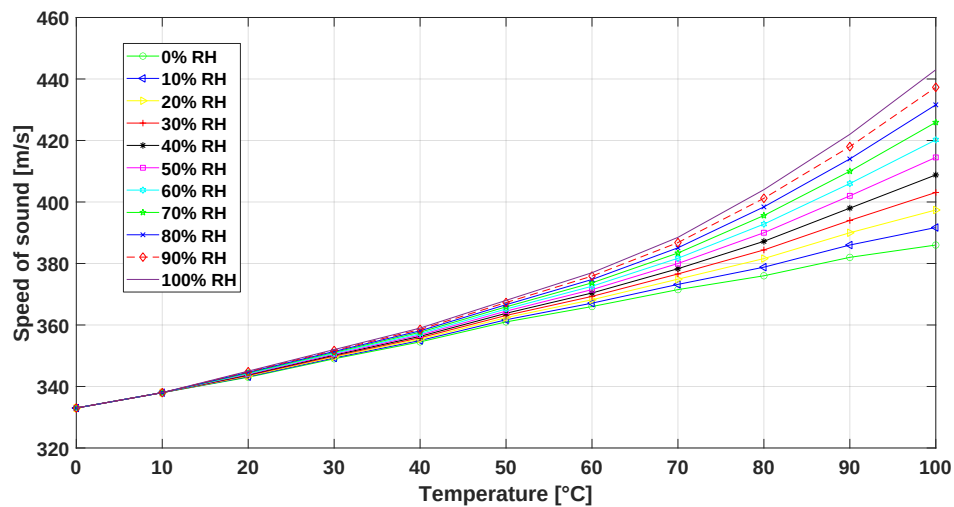


Figure 5. Speed of sound relative to temperature and relative humidity

Source: Adapted from “High Accuracy Acoustic Relative Humidity Measurement in Duct Flow with Air” ([Wilhelm van-Schaik, 2010](#)).

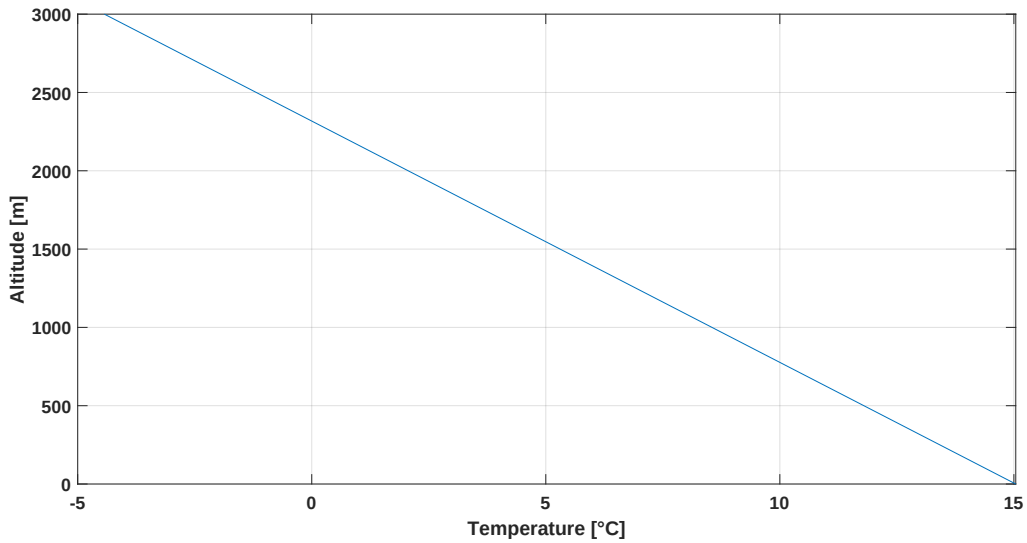


Figure 6. Altitude vs. Temperature

Source: Adapted from “The International Standard Atmosphere (ISA)” (Mustafa, 2008).

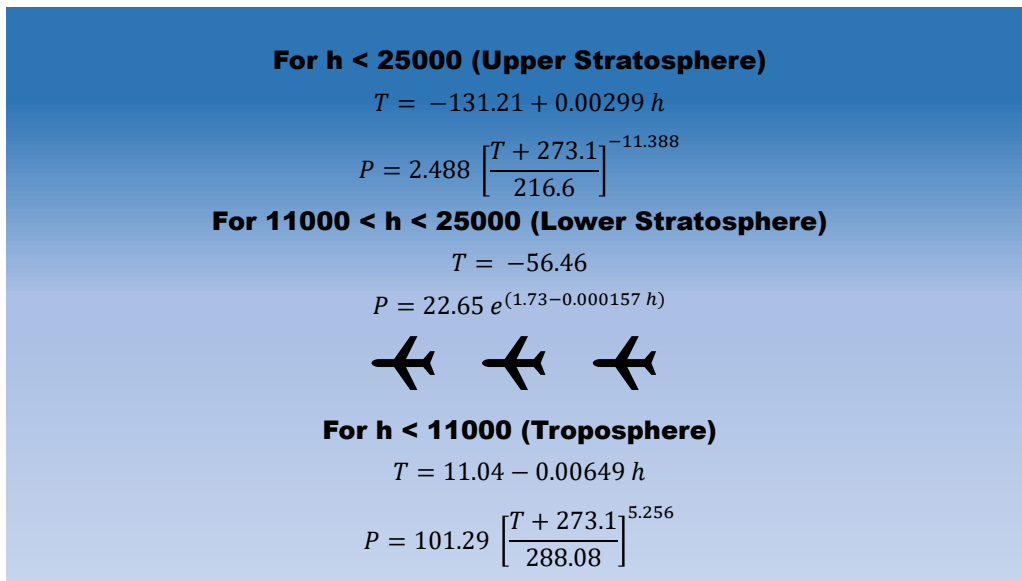


Figure 7. Altitude vs. Temperature

Source: Adapted from “The International Standard Atmosphere (ISA)” (Mustafa, 2008).

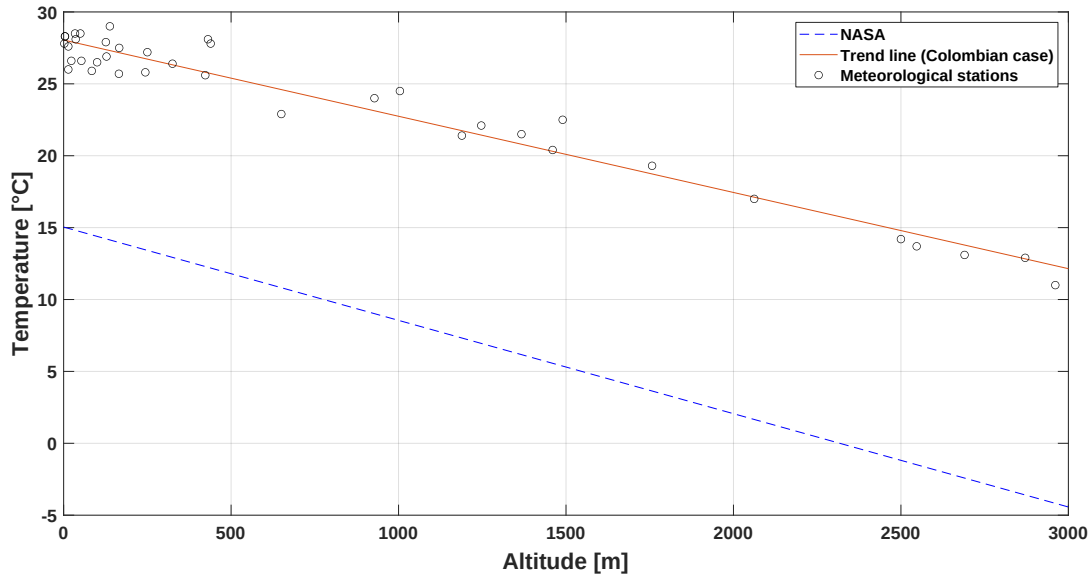


Figure 8. Temperature vs. Altitude. Comparison between NASA equation and data obtained from meteorological stations in Colombia

Source: Authors.

To obtain the map in the Figure 9, we used two parameters for determining the probabilities: the location of each meteorological station in the country with the data of speed of sound calculated in its place, and the total studied area of the country.

For estimating the speed of sound in Colombia, we used a Kernel Density Estimation (Theodoridis, 1998). This non-parametric approach estimates the shape of a desired curve using the input data, this estimation applies the equation:

$$\hat{f}_{(X,Y)}(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_H[U_i] \quad (5)$$

In equation (5), N is the number of meteorological stations, (x, y) is a vector with spatial coordinates (geographical location of each meteorological station), $U_i = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x - x_i \\ y - y_i \end{bmatrix}$, and $K_H[U_i]$ is the gaussian kernel (Buhmann, 2000); and $\hat{f}_{(X,Y)}(x, y)$ is the probability value of speed of sound at (x, y) .

We used the ArcGIS program to calculate this probability. The uncertainty of the measure of altitude is 0.5 m, temperature uncertainty is 0.05 °C, and humidity uncertainty is 0.5%. The speed of sound in Colombia obtained for the histogram ranges between 332 m/s and 348,80 m/s, with a mean value of 346,16 m/s.

If the thermodynamical conditions do not vary significantly in the place of the study, it is possible to use the average of temperature and relative humidity when calculating the radius of lightning impact by applying equation (6):

$$\text{Distance impact} = (331,4 + 0,6 T + 0,0124 RH) * \text{time} \quad (6)$$

Where *time* can be calculated like the interval between the observation of lightning and arriving sound to the place where the observer is. For example, this observer can be a high-speed camera with event recording features. If the camera can register sound, this option might be used for recording the arrival of the thunder; otherwise, it is

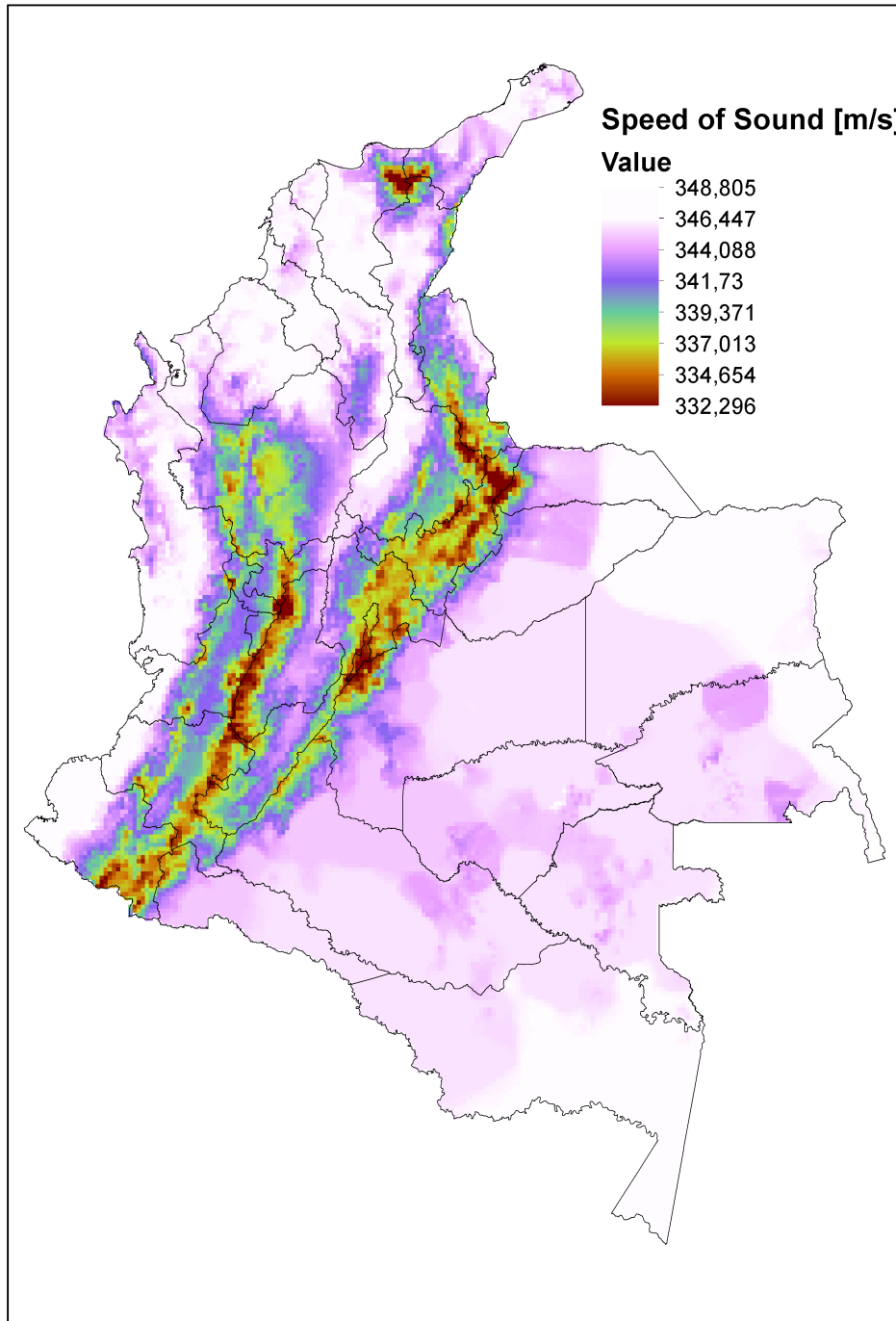


Figure 9. Speed of sound in Colombia

Source: Authors.

possible to use an independent sound sensor that records events. Once the camera is set in place for the lightning event, the speed sensor will activate to record the arrival time of both the lightning bolt and the thunder sound; then, it is possible to calculate the radius of impact with this interval and the equation of speed of sound.

We used this calculated speed of sound in other research to determine the direction and distance of lightning impact in transmission towers.

CONCLUSIONS

Contrary to the models used in higher latitudes (like that of the International Standard Atmosphere, the temperature as function of altitude is different for countries located in the Intertropical zone. In this paper we defined an equation that models the relationship between these variables in Colombia, a country located in the tropical zone, whose temperature at sea level is 28 °C approximately.

This study is a particular case because the atmosphere in a tropical country like Colombia behaves differently from the atmosphere in Southern or Northern latitudes. These localized conditions have influence in other variables like ground flash density (GFD), temperature range, ozone, and others; also, many atmospheric conditions are different in tropical zone. Additionally, the highest speed of sound in Colombia is 348,80 m/s, the lowest is 332 m/s, and the average is 346,16 m/s.

The distance from the place a lightning bolt strikes can be calculated using the speed of sound, which depends on variables like relative humidity, temperature and altitude. Thus, in order to find the distance of impact of a lightning strike, it is necessary to take into account these variables and how they affect the speed of sound in a certain place.

REFERENCES

[ArcGIS, 2018] ArcGIS. (2018). *picos mas altos de colombia*. Recuperado el 5 de 9 de 2019, de <https://www.arcgis.com/>

<apps/MapTour/index.html?appid=554ffe69b69e4fae88aa2b8351c721fb>
↑Ver página 15

[Buhmann, 2000] Buhmann, M. D. (2000). Radial basis functions. *Acta numerica*, 9, 1-38. <https://doi.org/10.1017/S0962492900000015>
↑Ver página 22

[Del-Rio, Younes, & Pulgarín, 2017] Del-Rio, D. F., Younes, C., & Pulgarín, J. D. (2017). Lightning activity over large cities located in mountainous tropical zone and its relationship with particulate matter PM10 distribution. Bogotá City Case. *Revista Facultad de Ingeniería*(82), 22-30. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n82a03>
↑Ver página 14

[Eliakim, 2014] Eliakim, I. (2014). SONAR BASED SLAMC (*Simultaneous Localization, Mapping and Classification*). Tel Aviv: Tel Aviv University. ↑Ver página 19

[Hahn, M., Cruz, F., & Carvalho, P, 2019] Hahn, M., Cruz, F., & Carvalho, P. (2019). Determining the Speed of Sound as a Function of Temperature Using Arduino. *The Physics Teacher*, 57(2), 114-115. <https://doi.org/10.1119/1.5088475>
↑Ver página 18

[Hass, 2017] Hass, J. (2017). *Chapter One: An Acoustics Primer*. (Indiana University) Recuperado el 2 de October de 2018, de http://www.indiana.edu/~emusic/etext/acoustics/chapter1_speed.shtml
↑Ver página 19

[Hurtado, 2015] Hurtado M. , G. (2015). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO PROMEDIO Y TENDENCIAS DE LARGO PLAZO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA PARA LAS REGIONES HIDROCLIMÁTICAS DE COLOMBIA*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. ↑Ver página

[IDEAM, 2007] IDEAM. (2007). *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenta alta del río Tunjelo*. Recuperado el 10 de 7 de 2019,

- de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>
↑Ver página
- [Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales, 2011] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2011). *Atlas IDEAM*. Recuperado el 4 de 8 de 2019, de http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/temperaturamedia_tabla.pdf ↑Ver página 16, 17, 20
- [Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales, 2015] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Clima y temperatura*. (IDEAM) Recuperado el 3 de 9 de 2019, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima> ↑Ver página 18
- [Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales, 2011] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2011). *Humidity relative*. Recuperado el 1 de 9 de 2019, de http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/HR_Anual.pdf ↑Ver página 16, 17, 20
- [Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales, 2011] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2011). *Temperature*. Recuperado el 1 de 9 de 2019, de http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Temp_Med_Anual.pdf ↑Ver página
- [Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2005] Instituto Geográfico Agustín Codazzi . (2005). *Mapa Físico - Político*. Recuperado el 1 de 9 de 2019, de <http://www2.igac.gov.co/ninos/UserFiles/Image/Mapas/mapafisico.pdf>
↑Ver página 15
- [Mustafa, 2008] Mustafa Cavcar. (2008). *The International Standard Atmosphere (ISA)*. Eskisehir: Anadolu University. Obtenido de <http://fisicaatmo.at.fcen.uba.ar/practicas/ISAweb.pdf> ↑Ver página 21
- [National Aeronautics and Space Administration, 2018] National Aeronautics and Space Administration. (2018). *Earth Atmosphere Model*. (NASA) Recuperado el 1 de September de 2018, de <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/atmos.html> ↑Ver página 19
- [Shevick, 2000] Shevick, E. (2000). *Sound & light, hands-on science activities ready for student use*. Dayton: Teaching & learning company. ↑Ver página 14
- [Stančík, 2003] Stančík, D. (2003). New endemic taxa of Festuca from the Colombian Sierra Nevada de Santa Marta. *Preslia, The Journal of the Czech Botanical Society*, 339–347. ↑Ver página 14
- [Theodoridis, 1998] Theodoridis, S. a. (1998). *Pattern Recognition*. En S. a. Theodoridis, *Pattern Recognition* (third ed.). London: Academic Press. ↑Ver página 22
- [WNS, 2012] whitworth near space. (8 de August de 2012). *Ozone and UV Light*. Obtenido de http://www.whitworthnearspace.org/wiki/Ozone_and_UV_Light ↑Ver página
- [Wilhelm van-Schaik, 2010] Wilhelm van-Schaik, M. G. (2010). High Accuracy Acoustic Relative Humidity Measurement in Duct Flow with Air. *Sensors*, 7434. <https://doi.org/10.3390/s100807421> ↑Ver página 15, 18, 20



Electrocoagulation as an alternative treatment for mixed wastewater originated in the dairy and meat processing industry

Electrocoagulación como alternativa de tratamiento de aguas residuales mixtas originadas en la industria del procesamiento de lácteos y cárnicos

Yim James Rodríguez Díaz ¹, Miguel David Fuentes Guevara ² Óscar David Beleño Díaz ³ & Luis Hernando Montoya Armenta ⁴

Fecha de Recepción: 29 de Mayo de 2020

Fecha de Aceptación: 3 de noviembre de 2020

Cómo citar: Rodríguez-Díaz., Y.J. Fuentes-Guevara., M.D. Beleño-Díaz., O.D. y Montoya-Armenta., L.H. (2021). Electrocoagulación como alternativa de tratamiento de aguas residuales mixtas originadas en la industria del procesamiento de lácteos y cárnicos. *Tecnura*, 25(67), 26-39. <https://doi.org/10.14483/22487638.15769>

Abstract

Context: Electrocoagulation (EC) has become a viable process that allows minimizing the contaminant loadings in the industrial wastewater, through electrodes arranged on an electrical reactor. This technique applies the coagulation-flocculation fundamentals, allowing water reuse on an industrial scale.

Objective: This study seeks to assess the efficiency of the EC technique for the treatment of mixed wastewater originated in the dairy and meat industry (DMWW).

Materials and Methods: The wastewater used in the study was obtained from meat and dairy products plant effluents of the Popular University of Cesar

(UPC). The effect of two design variables of the rectangular Bach-type electrocoagulation system was assessed on the physicochemical characteristics of the DMWW during the EC process: the number of electrodes and treatment time. The wastewater characteristics used as indicators of the treatment efficiency from electro-coagulator were COD_{total} , $COD_{soluble}$, electric conductivity, pH, and Turbidity. The design variable of the electrocoagulation system related to the number of electrodes consisted of three configurations, 3, 6, and 13 iron electrodes connected in parallel. The electrodes were energized with a source of direct current (DC) to 360 Watts and a constant voltage of 12 V. The treatment time variable was a maximum of 60 minutes with evaluation of the wastewater indicators every 15 minutes.

¹Ingeniero del Medio Ambiente, magíster en Ingeniería Ambiental. Docente de la Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. Contacto: yimrodriguez@unicesar.edu.co

²Ingeniero Ambiental y Sanitario, magíster en Manejo y Conservación del Suelo y del Agua. Candidato a doctor del Programa de Posgraduación en Manejo y Conservación del Suelo y del Agua, de la Universidad Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas/RS, Brasil. Docente de la Universidad Federal del Pampa (Unipampa), Campus Caçapava do Sul/RS, Brasil. Contacto: mdavidfuentes@unicesar.edu.co

³Ingeniero Ambiental y Sanitario. Investigador de la Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. Contacto: obeleno@unicesar.edu.co

⁴Doctor en Ingeniería Ambiental, ingeniero Químico. Docente de la Universidad Popular del Cesar. Aguachica, Colombia. Contacto: luismontoya@unicesar.edu.co

Results: During the EC experiments, the design configuration of 13 parallel electrodes and 60 minutes was the best for the DMWW treatment. This electrocoagulation design configuration system allowed the reductions of COD_{total} , $COD_{soluble}$, and turbidity with maximum reduction efficiency of 96 %, 95 %, and 94 %, respectively. On the other hand, EC increased the electrical conductivity, current, and pH values, obtaining final mean values of $2785 \mu S cm^{-1}$, 11,6 A y 12,63, respectively.

Conclusions: The rectangular Bach-type electrocoagulation system proved to be efficient during its operation with 13 electrodes and 60 minutes of retention for the DDWW treatment.

Funding: Popular University of Cesar (UPC) / Research group of Sanitary and Environmental studies – E.S.A.

Keywords: Industrial wastewater, Electro-coagulator, Electrodes number, Treatment time.

Resumen

Contexto: La electrocoagulación (EC) se ha convertido en un proceso viable que permite reutilizar las aguas residuales industriales, mediante un reactor eléctrico. Esta técnica aplica los fundamentos de la coagulación y floculación permitiendo la reutilización de estas aguas.

Objetivo: Este estudio pretende evaluar la eficiencia de la técnica de EC para el tratamiento de aguas residuales mixtas provenientes de la industria de lácteos y cárnicos (ARLC).

Metodología: El agua residual utilizada para esta investigación fue obtenida del efluente de la planta de productos lácteos y cárnicos de la Universidad Popular del Cesar (UPC). Se investigó el efecto de

dos variables de diseño de un electrocoagulador tipo Bach rectangular, sobre las características fisicoquímicas de las ARLC durante el proceso de EC: número de electrodos y tiempo de tratamiento. Las características del agua residual utilizadas como indicadores de la eficiencia de tratamiento del electrocoagulador fueron DQO_{total} , $DQO_{soluble}$, conductividad eléctrica, pH y turbiedad. La variable de diseño del electrocoagulador referente a número de electrodos consistió en tres montajes de 3, 6 y 13 electrodos de hierro conectados en paralelo, energizados con una fuente de corriente directa (DC) de 360 W, a un voltaje constante de 12 V. La variable de tiempo de tratamiento fue máxima de 60 minutos con evaluación de los indicadores de las aguas residuales cada 15 minutos.

Resultados: Durante los experimentos de EC, la configuración de 13 electrodos en paralelo fue la mejor para el tratamiento de las ARLC, lo que permitió la remoción de DQO_{total} , $DQO_{soluble}$, y turbiedad, con eficiencia máxima de reducción de 96 %, 95 % y 94 %, respectivamente. Contrariamente, la EC aumentó los valores de conductividad eléctrica, corriente y pH, de los cuales se obtuvieron valores medios finales de $2785 \mu S cm^{-1}$, 11,6 A y 12,63, respectivamente.

Conclusiones: El sistema de electrocoagulación tipo Bach rectangular demostró ser eficiente durante su operación con 13 electrodos y 60 minutos de retención durante el tratamiento de las ARLC.

Financiamiento: Universidad Popular del Cesar (UPC), Grupo de Investigación Estudios Sanitarios y Ambientales (ESA).

Palabras clave: aguas residuales industriales, electrocoagulador, número de electrodos, tiempo de tratamiento.

Tabla de Contenidos

INTRODUCCIÓN

28

METODOLOGÍA

29

Muestreo y caracterización de las aguas residuales

29

Determinación de la DQO_{total}

30

Determinación de la $DQO_{soluble}$

30

Determinación del pH, temperatura y conductividad eléctrica

30

Determinación de los aceites y grasas	30
Diseño y operación del electrocoagulador .	31
<i>Evaluación de las variables del ARLC</i>	
<i>durante el tratamiento de EC</i>	32
Diseño experimental	32
RESULTADOS Y DISCUSIONES	32
caracterización de las aguas residuales	
mixtas de lácteos y cárnicos	32
<i>Efectos individuales y de interacción de</i>	
<i>las características de las ARLC</i>	
<i>durante la electrocoagulación</i>	33
CONCLUSIONES	36
REFERENCIAS	37

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales originadas en las industrias de alimentos lácteos y cárnicos son efluentes de tipo industrial caracterizadas por altas concentraciones de contaminantes, como materia orgánica y nutrientes, provenientes de las proteínas, lactosa, aminoácidos derivados del suero, mermas de producto, escaldado, sangre, estiércol, purín y contenido ruminal (Bustillo-Lecompte y Mehrvar, 2015, Carrera y Suárez, 2019a). Además, estas aguas pueden alcanzar altas concentraciones de contaminantes, dependiendo de los procesos de operación y procesamiento de los alimentos (Pinedo, Paternina y Marrugo, 2015).

El tratamiento de las aguas residuales industriales requiere la reducción de los niveles de contaminantes, porque presentan un alto riesgo para los recursos hídricos y el suelo, lo que puede contribuir con perjuicios si no son tratados apropiadamente antes de ser vertidos al ambiente (Reilly *et al.*, 2019). No obstante, las altas concentraciones de sustancias en estas aguas requieren del uso de tecnologías avanzadas para reducir la carga contaminante, ya que su tratamiento puede tornarse altamente costoso, en especial por el uso necesario de energía eléctrica en los procesos (Bustillo-Lecompte y Mehrvar, 2015).

En general, las aguas residuales de la industria láctea y de cárnicos (ARLC) presentan características que necesitan ser controladas y monitorizadas, debido a los impactos ambientales que pueden generar. Otro problema encontrado en las industrias lácteas y cárnicas, fue constatado por (Muñoz y Sánchez, 2018), quienes afirman que la cantidad de agua necesaria para el procesamiento de un litro de leche varía entre 1 litro y 10 litros; mientras que en la industria cárnica el 60% del uso del agua es dirigido a limpieza manual del producto y equipo. Frente a eso, es imperativo mejorar los procesos de operación en este tipo de industrias, u optar por la implementación de alternativas y tecnologías factibles para el tratamiento de dichas aguas, que apunten a la sostenibilidad.

A pesar de que existan estudios diversos que evalúan la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales industriales de lácteos y cárnicos de forma independiente, mediante la técnica de electrocoagulación, en la actualidad no existen estudios que apliquen la electrocoagulación como tratamiento a ARLC mixtas, como se contempló en esta investigación, lo que posibilitaría una nueva caracterización de este tipo de efluentes, y contribuiría con futuras técnicas de tratamiento e investigaciones que trabajen en las mismas condiciones de este estudio. Cabe destacar que este sistema industrial de producción de lácteos y cárnicos mixto es llevado en sintonía en muchas industrias de Colombia y específicamente en el departamento del Cesar, lo cual hace pertinente la vigilancia y proposición de técnicas para el monitoreo de este tipo de aguas residuales compuestas, que apunten a la creación e implementación de nuevas tecnologías para su tratamiento.

De acuerdo con (Carrera y Suárez, 2019a), durante la operación de la industria de lácteos los principales aportes de material orgánico a las aguas residuales se dan durante pérdidas que ocurren dentro de los procesos de obtención de los productos, tales como el lactosuero, salmuera, proteínas, lactosa, aminoácidos derivados del suero

y mermas de productos. Ese aporte tiene el potencial de afectar los parámetros del agua en uso, como el pH, DBO₅, DQO, aceites y grasas (A y G), y los sólidos totales disueltos. Un ejemplo de estos efluentes son las plantas procesadoras de lácteos, las cuales presentan las siguientes características: pH de 4,74 conductividad de 7820 $\mu\text{S cm}^{-1}$, turbiedad de 3921 NTU, DQO de 18 400 mg L⁻¹, DBO₅ de 12 500 mg L⁻¹, grasas y aceites de 4600 mg L⁻¹, TDS 4848 mg L⁻¹ (Santamaría, Calvache, Santamaría y Zamora, 2015).

Por otro lado, (Gamarrá, 2018) afirma que los efluentes de la industria láctea contienen un alto grado de DQO media entre 1000 y 6000 mg L⁻¹ y un rango de pH de gran variación entre 2-11, el cual le atribuye a este tipo de aguas un carácter desde muy ácido hasta muy básico. En contrapartida, las aguas residuales de la industria láctea tienen también niveles elevados de nitrógeno, fósforo, conductividad eléctrica y sólidos en suspensión. En cuanto a las aguas residuales de industrias cárnicas, al utilizar como indicadores de referencia los parámetros DQO y DBO₅, se identifica que las principales fuentes que aportan carga orgánica son: las aguas de escaldado, sangre, estiércol, purín, contenido ruminal, restos de carne, pelos, etapa de salado, lavado y desinfección (Carrera y Suárez, 2019b). Esos aportes también elevan los niveles de sólidos en suspensión, aceites, grasas, fosfatos, nitrógeno, sales, detergentes, desinfectantes y la conductividad eléctrica.

Una tecnología alternativa, ambientalmente sustentable y de poco uso en la depuración de las ARLC, es la electrocoagulación (EC), la cual tiene como ventaja el uso nulo de agentes químicos para el tratamiento de efluentes líquidos, utilizando corriente continua a través de electrodos sumergidos en el agua residual. Los electrodos cumplen la función de mineralizar los contaminantes presentes, lo que permite la formación de cationes en el agua que sirven como agentes coagulantes del tipo hidróxidos poliméricos mediante la electrólisis (Comminellis y Chen, 2010); esto posibilita la eliminación de material coloidal,

sólidos suspendidos, metales y sólidos disueltos en los efluentes industriales brutos (García *et al.*, 2017). Además, en esta tecnología se generan otras reacciones, como burbujas de hidrógeno y la reducción (oxidación) de los metales en los cátodos, durante el proceso (Vepsäläinen y Sillanpää, 2020).

El tratamiento de aguas residuales industriales por medio de la EC trae beneficios como los expuestos en el estudio de (Rodríguez-Miranda, García-Ubaque y Pardo-Pinzón, 2015), relacionados con una serie de indicadores o consideraciones para la selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en países en vía de desarrollo, debido a que las tecnologías a ser usadas en estos países deben generar accesibilidad, confiabilidad, flexibilidad y viabilidad, en cumplimiento de los requerimientos normativos de vertimientos a cuerpos de agua o disposición en el suelo.

Frente a lo expuesto, el objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia de la técnica de EC para el tratamiento de aguas residuales mixtas provenientes de la industria de lácteos y cárnicos.

METODOLOGÍA

Muestreo y caracterización de las aguas residuales

Las aguas residuales analizadas en este estudio fueron muestreadas del efluente producto del procesamiento de lácteos y cárnicos de la Universidad Popular Cesar, en la ciudad de Valledupar, siguiendo los lineamientos para la toma de muestras de aguas residuales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (ideam, 2007). El muestreo fue de tipo compuesto con alícuotas de 15 L h⁻¹ hasta completar 60 L día⁻¹ de ARLC durante 4 horas del proceso de producción de alimentos, incluyendo limpieza y desinfección. Este muestro fue realizado con el fin de reducir las variaciones de la muestra puntual y de obtener una muestra más representativa de las concentraciones de los parámetros a ser analizados en el agua residual.

Una vez obtenida la muestra compuesta de ARLC, se determinaron los parámetros DQO_{total} , $DQO_{soluble}$, turbiedad, conductividad eléctrica (CE), grasas-aceites (G y A), pH, temperatura, y corriente por triplicado, siguiendo los lineamientos técnicos establecidos en los métodos estándar (Rice, Baird e Eaton, 2012). El análisis fisicoquímico de las ARLC fue realizado en las instalaciones del laboratorio de aguas y mecánica de fluidos de la Universidad Popular del Cesar, sede Cesar (Colombia).

Determinación de la DQO_{total}

La DQO total fue determinada por el método de reflujo cerrado, (Rice, Baird e Eaton, 2012). Primero, fueron tomados tubos de digestión de 16×100 mm, adicionando 2,5 ml de muestra, 1,5 ml de solución digestora y 3,5 ml de solución reactiva de ácido sulfúrico, para así completar un volumen total de 7,5 ml. También fue realizada una prueba en blanco, usando agua destilada como muestra (2,5 ml) y las mismas proporciones de los reactivos anteriormente en mención. Luego, se colocaron los tubos de ensayos en un reactor a 150°C por un periodo de 2 horas y luego fueron dejados en reposo a temperatura ambiente durante 30 minutos. Las soluciones de los tubos de ensayos fueron pasadas a un Erlenmeyer, siendo añadidas de 2-3 gotas de indicador de ferroína, para una posterior titulación con FAS 0,1 N (solución que debe ser estandarizada a cada uso), hasta obtener un cambio de color de azul verdoso a café rojizo. La cantidad de FAS utilizado durante la titulación hasta el cambio de color fue registrada para luego calcular la DQO_{total} mediante la ecuación 1, de acuerdo con el método titulométrico:

$$DQO \text{ como } O_2L^{-1} = \frac{(A - B) \times N \times 8 \times 1000}{mL \text{ de la muestra}} \quad (1)$$

Donde:

A = promedio de ml de FAS utilizado para los blancos digeridos.

B = ml de FAS utilizado para la muestra.

N = normalidad del FAS.

8 = peso equivalente del oxígeno.

Determinación de la $DQO_{soluble}$

Previo a la determinación de la $DQO_{soluble}$, las muestras de aguas residuales fueron pasadas por un filtro 934-AH circular de 47 mm de diámetro de la marca Whatman con ayuda de una bomba al vacío, con el fin de retirar todas las partículas finas de la muestra de agua, procedimiento similar al realizado por Jenny Rodríguez, Tatiana Mañunga y Cristian Cárdenas (2012). Así se continuó con el procedimiento requerido para el análisis y cálculo de la DQO en el líquido restante ($DQO_{soluble}$) (ecuación (1)).

Determinación del pH, temperatura y conductividad eléctrica

Con ayuda de un turbidímetro de laboratorio de la marca Hach, modelo 2100AN, se procedió a la determinación de la turbiedad (NTU) de las ARLC. Con el multiparámetro HI 991301 de la marca HANNA, se obtuvieron los valores de pH, temperatura y conductividad eléctrica (CE).

Determinación de los aceites y grasas

Para la determinación de los aceites y grasas (A y G) se utilizó el método gravimétrico. Se agregaron 170 ml de muestra de ARLC en un balón de separación; luego se adicionaron 2 ml de ácido clorhídrico (Merck 37% de pureza) y 20 ml de xileno (Applichem Panreac) como solvente. Posteriormente, se realizó el proceso de extracción de la solución y se repitió dos veces con 5 ml del solvente para eliminar residuos de grasas; el resultado era recolectado en un vaso de precipitado previamente secado y pesado (P1), el cual contenía papel de filtro para retener la materia orgánica y dejar pasar el Na_2SO_4 . Por último, se dejó evaporar la solución hasta alcanzar peso constante (P2). La ecuación (2) permitió determinar la concentración de A y G:

$$A \text{ y } G(mgL - 1) = (P_1 - P_2) \times 106/VM \quad (2)$$

Dónde:

P_1 : peso del vaso de precipitado (g).

P_2 : peso del vaso de precipitado + muestra (g).

Diseño y operación del electrocoagulador

El montaje del electrocoagulador y puesta en marcha del experimento se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de aguas y mecánica de fluidos de la Universidad Popular del Cesar, sede Cesar - Colombia. En el experimento se usó un electrocoagulador tipo Bach rectangular, construido en acrílico transparente con un volumen total de 12 L (figura 1). En función del tipo de diseño del reactor en estudio se tomó como variable de diseño del electrocoagulador el número de electrodos en cada tratamiento experimental con 3, 6 y 13 electrodos, siguiendo las especificaciones con modificaciones de la configuración del electrocoagulador en el estudio de (López y Harnisth, 2016), quienes utilizaron variaciones de 6 y 12 electrodos para la configuración de los tres tratamientos experimentales abordados.



Figura 1. Montaje del electrocoagulador tipo Bach con electrodos monoplares conectados en paralelo

Fuente: elaboración propia.

El material de los electrodos utilizados en este estudio fue de metal tipo hierro cuadrado de 160×160 mm 2 y 2 mm de grosor, según los lineamientos de altura y grosor recomendados por (García-Ubaque, García-Ubaque y Plaza-Solórzano,

2016). Los electrodos se conectaron en paralelo conservando una distancia entre ellos de 20 mm, otros antecedentes teóricos que sugieren distancias mayores que 7 mm (García-Ubaque, García-Ubaque y Plaza-Solórzano, 2016), 40 mm (Thirugnanasambandham, Sivakumar, y Prakash, 2013), 30 mm (Saleem, Bukhari, y Akram, 2011) y 60 mm (Thirugnanasambandham, Sivakumar, y Prakash, 2014). Previo al ensayo, los electrodos de hierro fueron limpiados, posteriormente distribuidos en el tanque de reacción electroquímica y conectados a la fuente de voltaje variable de 0 a 60 V de corriente directa (DC), con una capacidad máxima de 30 A (figura 2). Se estableció un voltaje de 12 V DC por razones de protección de la fuente de energía y para evitar accidentes de manipulación, dado que, en ensayos de prueba a mayor voltaje, la corriente eléctrica podría sobrepasar los valores límites soportados por el dispositivo utilizado.

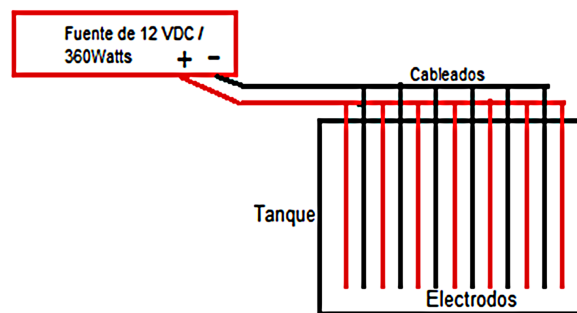


Figura 2. Configuración de conexión de los electrodos de hierro

Fuente: elaboración propia.

Para el inicio del proceso de electrocoagulación, la fuente de corriente era encendida y se procedía con el llenado gradual del tanque por litros, hasta completar un volumen de 10 L de agua residual con el fin de observar las variaciones de corriente (amperaje) durante el llenado. Diferentes configuraciones de operación del experimento fueron establecidas en este estudio con el fin de evaluar la eficiencia del electrocoagulador (tabla I).

Tabla I. Variables del sistema de EC

Número de placas	Tiempo de tratamiento (min)			
3	15	30	45	60
6	15	30	45	60
13	15	30	45	60

Fuente: elaboración propia.

Evaluación de las variables del ARLC durante el tratamiento de EC

El agua residual fue sometida al tratamiento de electrocoagulación (EC) durante 60 minutos. A cada 15 minutos se analizaron los parámetros, DQO_{total} , $DQO_{soluble}$, turbiedad, CE, G y A, pH, temperatura y corriente, con el fin de evaluar el comportamiento de estos parámetros durante el tiempo de tratamiento (tabla I). Los análisis fueron realizados en triplicado con el fin de disminuir la incertidumbre de los valores medios de los parámetros. En cuanto a los valores de corriente en los ensayos de EC, estos fueron obtenidos por medio de una fuente de voltaje DC de corriente variable de 360 W. Así, se estableció un voltaje constante de 12 V DC y la corriente (amperaje) era un parámetro variable, dependiente de las condiciones del agua y de las reacciones químicas que surgen durante el tratamiento.

Diseño experimental

Para la evaluación del experimento se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) en análisis factorial, considerando dos factores. Mediante el diseño se evaluaron las interrelaciones de las características de las ARLC durante el tratamiento de EC (variables respuestas) con las variables de operación del electrocoagulador, asumiendo como factor A el número de placas de cada experimento del electrocoagulador, y como factor B el tiempo de exposición del agua residual al tratamiento (tabla I). Posteriormente, modelos matemáticos de regresión múltiple fueron ajustados a las variables respuestas

en función del factor número de electrodos (A) y factor tiempo (B), con el objetivo de realizar gráficos de superficie que permitieran observar el comportamiento de todas las variables en estudio a lo largo del tratamiento y en función del número de electrodos. Todos los análisis estadísticos se realizaron con ayuda del software *Statistica*7.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Caracterización de las aguas residuales mixtas de lácteos y cárnicos

Los valores medios de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales mixtas originadas de la industria de lácteos y cárnicos (ARLC) y su desviación estándar son presentados en la tabla II.

Tabla II. Caracterización del afluente de las ARLC previo al tratamiento

Parámetros	Unidades	Media
DQO_{total}	(mg L ⁻¹)	8640 ± 9,50
$DQO_{soluble}$	(mg L ⁻¹)	5670 ± 8,00
Turbiedad	(NTU)	600,6 ± 6,28
CE	(μ S cm ⁻¹)	2112 ± 4,98
G y A	(mg L ⁻¹)	800 ± 6,00
pH	-	6,75 ± 0,40
Temperatura	(°C)	27 ± 0,08
Corriente	(A)	7,38 ± 0,03

CE: conductividad eléctrica; G y A: grasas y aceites.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados fueron comparados con los valores medios de aguas residuales brutas de industrias lácteas y cárnicas reportadas en el estudio de (Reilly *et al.*, 2019), quienes compilaron resultados de diferentes investigaciones sobre las características de aguas residuales asociadas a ese tipo de actividades, previas al tratamiento de electrocoagulación. Estos autores encontraron rangos de DQO_{total} de 1200 a 8960 mg L⁻¹,

conductividades eléctricas de 1810 a 9000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, pH de 2 a 10, G y A de 110 a 853 mg L^{-1} y turbiedad de 31 a 6978 NTU. Resultados semejantes se obtuvieron en el presente estudio con aguas residuales procedentes de las ARLC.

Los mayores valores de carga orgánica encontrados en las ARLC de este estudio (altas concentraciones de $\text{DQO}_{\text{total}}$ y $\text{DQO}_{\text{soluble}}$) son debido a la mayor presencia de material en suspensión, sustancias diluidas y carga orgánica, provenientes de todos los procesos de operación y limpieza de las industrias mixtas de lácteos y cárnicos, que comúnmente son evaluados por separado en otros estudios.

Efectos individuales y de interacción de las características de las ARLC durante la electrocoagulación

El método de análisis de regresión múltiple fue usado para evaluar los resultados del experimento DCA en diseño factorial (2 factores). Así, ecuaciones polinomiales de segundo orden fueron utilizadas para expresar las relaciones empíricas entre las variables respuesta (parámetros fisicoquímicos) e independientes (tiempo y número de electrodos). El modelo empírico final desarrollado para estimar el desempeño de la $\text{DQO}_{\text{total}}$ a lo largo del tratamiento es presentado en la ecuación (3):

$$\text{DQO}_{\text{total}}(\text{mg l}^{-1}) = 12867,95 - 101,79T + 0,62T^2 - 1493,01N + 80,61N^2 - 3,71TN \quad (3)$$

Donde, T es el tiempo en minutos y N corresponde al número de electrodos. Los términos positivos indican ese mismo efecto en la $\text{DQO}_{\text{total}}$, mientras que los términos negativos indican que el parámetro tiene un efecto negativo. En la figura 3 se ilustra el comportamiento de la $\text{DQO}_{\text{total}}$ a través del tratamiento de EC. Así, el sistema de EC indica que, a medida que el tiempo de tratamiento y el número de electrodos son aumentados, se obtiene una reducción de la concentración de la carga orgánica de las ARLC referente a la reducción de la $\text{DQO}_{\text{total}}$.

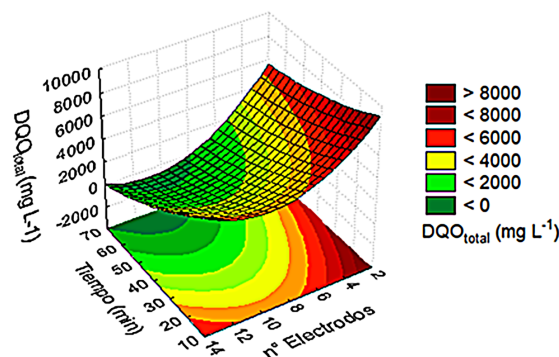


Figura 3. Superficie de respuesta del comportamiento de la $\text{DQO}_{\text{total}}$ en función del tiempo de tratamiento y número de electrodos

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de este estudio mostraron reducciones máximas de $\text{DQO}_{\text{total}}$ del 96 % para la configuración de 13 electrodos a 12 V DC, un tiempo de 60 min de operación del reactor y un volumen de 12 litros de ARLC (figura 3). (Pinedo, Paternina y Marrugo, 2015) obtuvieron resultados contrarios, con menor eficiencia de remoción máxima de $\text{DQO}_{\text{total}}$, variando entre 92 % a 94 %. Cabe resaltar que estos autores utilizaron menor número de electrodos ($n = 3$), un tiempo de operación del reactor menor con 30 min, un voltaje cuatro veces mayor (50 V) y un volumen de 5 L de agua residual de industria láctea. Así, se demostró que el sistema del electrocoagulador utilizado en esta investigación con la configuración del número de 13 electrodos y el tiempo de tratamiento de 60 min podría ser más eficiente en costos de operación para el tratamiento de las ARLC.

Las relaciones entre los valores estimados de $\text{DQO}_{\text{total}}$ a partir del modelo de la ecuación (3) y los valores observados fueron muy próximos a una correlación lineal significativa con coeficiente de determinación $R^2 = 0,97$ (figura 5), lo cual indicó que aproximadamente 97 % de la varianza experimental puede ser explicada por la ecuación de segundo orden ajustada, como se presenta en las figuras 3 y 4.

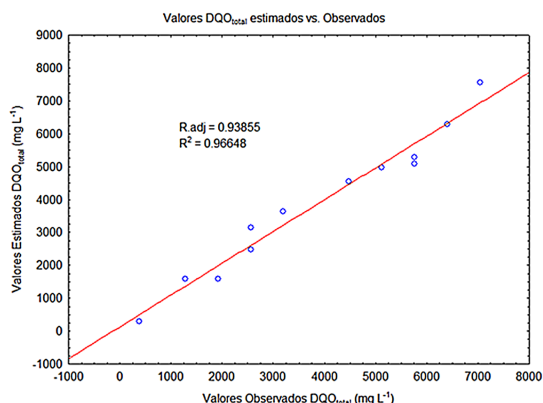


Figura 4. Valores observados vs. valores estimados de DQO_{total}

Fuente: elaboración propia.

Las relaciones de los otros parámetros analizados en las ARLC durante el tratamiento de electrocoagulación con los parámetros de operación del electrocoagulador se presentan en la tabla III.

Tabla III. Desempeño de los modelos empíricos para estimar las variables de las ARLC durante el proceso de EC

Variable	Regresiones	R ²
$DQO_{soluble}$	$9287-90,63T+0,33T^2-895,18N+38,25N^2+0,47TN$	0,92
CE	$2452,50-8,13T+0,03T^2-94,50N+4,85N^2+1,40TN$	0,98
pH	$5,95+0,02T+0,0004T^2+0,04N+0,04N^2-0,003TN$	0,99
Turbiedad	$961,93-9,13T+0,03T^2-102,82N+4,20N^2+0,14TN$	0,94

Fuente: elaboración propia.

En los modelos de regresión para estimación de la DQO_{total} y turbiedad, solamente los términos lineales y cuadráticos de N tuvieron efecto significativo en las concentraciones (p -valor < 0,05) (tabla III). Con relación a la $DQO_{soluble}$, solamente el término lineal de N presentó efecto significativo en el modelo (p -valor < 0,05). El modelo de CE mostró que tanto los términos lineales y cuadráticos de N como las interacciones entre T y N tienen efecto significativo en la estimación de la CE. Finalmente, los términos cuadráticos de N y la interacción entre T y N son los factores que tienen efecto en el pH.

Durante la operación del electrocoagulador, se observó que la $DQO_{soluble}$ tuvo el mismo comportamiento de la DQO_{total} durante el tratamiento de las ARLC, obteniéndose una reducción del 95% para un mayor número de electrodos (13) y un tiempo de 60 min. (Ates, Ozay y Dizge, 2017) reportaron en su estudio una eficiencia del 81% en la reducción de la $DQO_{soluble}$ durante el tratamiento de 0,8 L de agua residual de industria láctica, mediante el proceso de electrocoagulación, utilizando 2 electrodos de hierro y 60 min de tratamiento. La alta eficiencia obtenida con un número menor de electrodos en el estudio de (Ates, Ozay y Dizge, 2017), se debe a las dimensiones del reactor utilizado, el cual fue diseñado para tratar 0,8 L, mientras que en esta investigación fue de 12 L, lo que requiere de un mayor número de electrodos y tiempo de tratamiento para la remoción de $DQO_{soluble}$. En la tabla III, se presenta la ecuación para estimar las concentraciones de $DQO_{soluble}$ en función del número de electrodos y tiempo de tratamiento, exclusiva para las ARLC de esta investigación, ecuación que presentó un ajuste de $R^2 = 0,92$, lo que confirma una alta precisión del modelo empírico de la $DQO_{soluble}$.

Al inicio de la operación del electrocoagulador, el parámetro de voltaje utilizado en este estudio fue constante con 12 V, mientras que la corriente fue un parámetro variable, debido a que la corriente en este experimento se dio por la relación entre el voltaje y la resistencia eléctrica que imponía el agua residual a medida que aumentaba su volumen. Además, durante el funcionamiento del electrocoagulador, la corriente tuvo la tendencia de aumentar desde el inicio hasta el final de cada ensayo (figura 5).

El comportamiento del aumento de la conductividad eléctrica (CE) y la corriente se atribuyen a las sales de hierro (hidróxidos de hierro) que pueden generarse durante el tratamiento de las ARLC mediante el proceso de EC. (Chen, 2004) describe que la generación de hidróxidos de hierro (ferroso y férrico), se da cuando los electrodos de hierro se oxidan durante la fase de operación, por causa de las reacciones químicas que ocurren entre

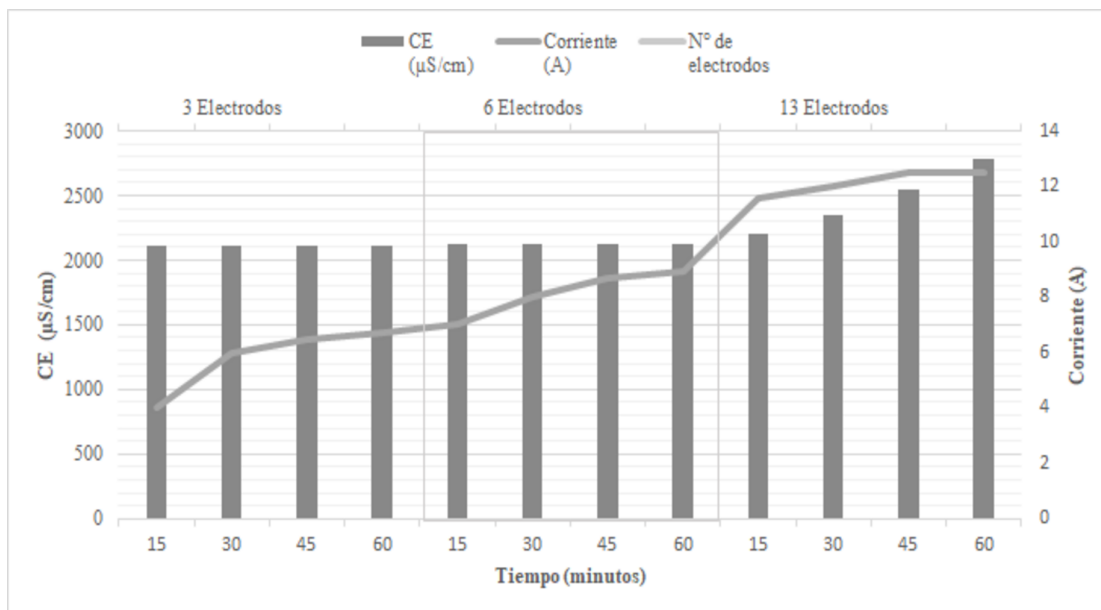


Figura 5. Distribución absoluta de la conductividad (CE) y corriente eléctrica en función del tiempo de tratamiento y número de electrodos mediante electrocoagulación

Fuente: elaboración propia.

el agua residual y los electrodos (ánodo y cátodo). Esas reacciones son descritas por (Kabarty, 2017), en las ecuaciones Redox que se recopilan en la figura 6.

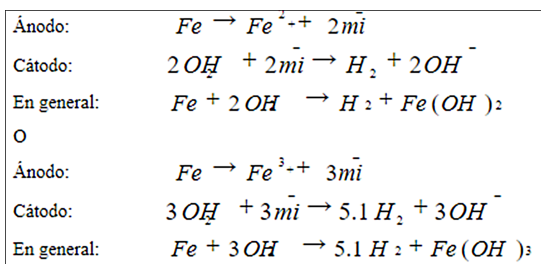


Figura 6. Ecuaciones de reacciones químicas durante el proceso de formación de sales de hierro. Fuente: (Kabarty, 2017).

Estas series de reacciones permiten inducir que, durante la EC, pueden formarse sales mediante la reacción del Fe^{+3} y Fe^{+2} con diversos componentes del agua residual; lo que configura una variedad de sales metálicas que ocasionan el aumento de la CE de las ARLC durante el tratamiento y,

consecuentemente, ocasiona incrementos graduales de la corriente eléctrica hasta alcanzar 11,6 A, como se expresa en la figura 5.

El pH durante la electrocoagulación tuvo la tendencia de aumentar con una relación directamente proporcional al número de electrodos y tiempo de tratamiento. El pH al inicio del proceso fue en promedio de 7,46 y aumentó a 12,63. Esa tendencia es esperada durante los procesos electroquímicos, una vez que los electrodos de hierro utilizados en el electrocoagulador e inmersos en el agua residual pueden contribuir a la formación de sales ($Fe(OH)_3$), que aumentan el pH del medio. (Pinedo, Paternina y Marrugo, 2015)

Para el parámetro de turbiedad, el coeficiente de determinación calculado fue de $R^2=0,94$. Este valor indicó que aproximadamente 94% de la varianza puede ser explicada por el modelo de segundo orden ajustado (tabla III). Así, la EC permitió una máxima eficiencia de remoción de turbiedad (94%) en las ARLC para una configuración de 13 electrodos y 60 minutos de tratamiento. La reducción de la turbie-

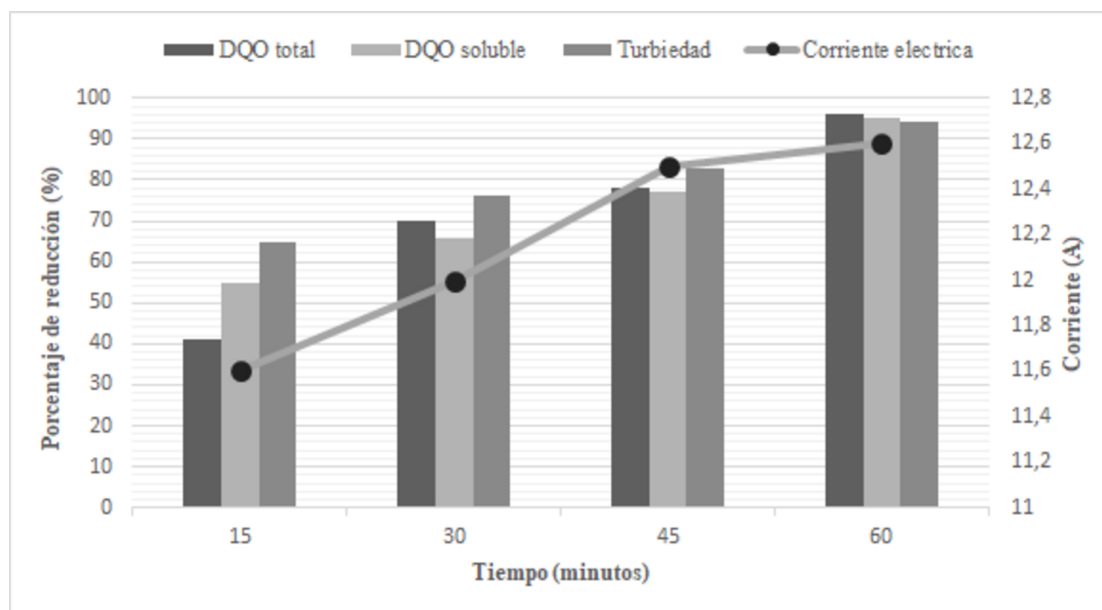


Figura 7. Porcentaje de reducción de DQO_{total} , $DQO_{soluble}$ y turbiedad en función a la variación de la corriente eléctrica mediante electrocoagulación

Fuente: elaboración propia.

dad está relacionada a la disminución de la carga orgánica de las ARLC durante el tratamiento de EC, la cual es expresada por las concentraciones de DQO_{total} y $DQO_{soluble}$. (Geraldino *et al.*, 2015), al evaluaron la eficiencia de un electrocoagulador tipo bach con 2 electrodos de hierro y 60 minutos de tratamiento para un volumen no mayor a un litro, obtuvieron una reducción de la turbiedad del 99% en agua residual de origen láctea. Estos resultados son semejantes al presente estudio a pesar de utilizar una configura distinta en volumen y cantidad de electrodos.

El comportamiento de la corriente eléctrica en relación con los parámetros fisicoquímicos durante el proceso de tratamiento en el electrocoagulador puede ser apreciado en la figura 7. Se observa que el aumento de la corriente ocasiona la reducción de DQO_{total} , $DQO_{soluble}$ y turbiedad. Resultados semejantes fueron encontrados por (Elazzouzi, Haboubi y Elyoubi (2017)) y (Yang *et al.*, 2015), los cuales afirman que el aumento de la densidad de corriente incrementa el porcentaje de la remoción de

DQO_{total} en la unidad de EC.

CONCLUSIONES

El tratamiento de las aguas residuales mixtas de industrias de lácteos y cárnicos (ARLC) mediante la técnica de electrocoagulación permitió la reducción de la DQO_{total} , $DQO_{soluble}$ y turbiedad de las ARLC, con eficiencias de remoción de 96%, 95% y 94%, respectivamente. Contrariamente, la electrocoagulación aumentó los valores de conductividad eléctrica, corriente y pH, obteniéndose valores medios finales de $2,785 \mu S cm^{-1}$, 11,6 A y 12,63, respectivamente.

El sistema de electrocoagulación con una configuración de 13 electrodos y un tiempo de tratamiento de 60 minutos se muestra como una alternativa para el tratamiento de las ARLC, siendo eficiente para la remoción de la carga orgánica y elementos contaminantes. Esta configuración obtuvo mejor eficiencia en relación con otros estudios que

utilizaron mayores voltajes y número de electrodos.

Finalmente, se recomienda que se realicen más estudios sobre la eficiencia del proceso de electrocoagulación para el tratamiento de las ARLC, en los cuales se investigue la influencia de diferentes configuraciones de voltaje, control del pH, tiempos de retención hidráulica, materiales de electrodos, y tipos o tamaños de reactores, sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de las ARLC

REFERENCIAS

- [Ates, Ozay y Dizge, 2017] Ates, H., Ozay, Y. y Dizge, N. (2017). Treatment of dairy industry cleaning-in-place wastewater by electrocoagulation supported with immersed membrane process. *Clean-Soil, Air, Water*, 45, 1-9. <https://doi.org/10.1002/clen.201600654> ↑Ver página 34
- [Bustillo-Lecompte y Mehrvar, 2015] Bustillo-Lecompte, C. F. y Mehrvar, M. (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: a review on trends and advances. *Journal of Environmental Management*, 161, 287-302. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.008> ↑Ver página 28
- [Carrera y Suárez, 2019a] Carrera, J. y Suárez, M. (2019a). Aguas residuales industriales en Iberoamérica. En C. Edgardo, *Industria láctea* (pp. 62-82). Montevideo, Uruguay: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. ↑Ver página 28
- [Carrera y Suárez, 2019b] Carrera, J. y Suárez, M. (2019b). Aguas residuales industriales en Iberoamérica. En C. Etchebehere, *Industria cárnica vacuna* (pp. 27-41). Montevideo: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. ↑Ver página 29
- [Chen, 2004] Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology Research*, 38(1), 11-41 ↑Ver página 34
- [Comninellis y Chen, 2010] Comninellis, C. y Chen, G. (2010). *Electrochemistry for the environment*. Nueva York: Springer. ↑Ver página 29
- [Elazzouzi, Haboubi y Elyoubi (2017)] Elazzouzi, M., Haboubi, K. y Elyoubi, M. (2017). Electrocoagulation flocculation as a low- cost process for pollutants removal from urban wastewater. *Chemical Engineering Research and Design*, 117, 614-626. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.11.011> ↑Ver página 36
- [Gamarra, 2018] Gamarra, J. (2018). *Evaluación del impacto ambiental del lactosuero generado en la línea de producción de quesos de la planta de lácteos Huacariz alternativas de mitigación Cajamarca – Perú – 2016*. [Tesis doctoral]. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. <https://doi.org/10.36955/riulcb.2020v7n2.008> ↑Ver página 29
- [García-Ubaque, García-Ubaque y Plaza-Solórzano, 2016] García-Ubaque, C. A., García-Vaca, M. C. y Plaza-Solórzano, J. S. (2016). *Estudio exploratorio del tratamiento de agua de lavado de tintas por método de electrocoagulación/electroflotación*. *Tecnura*, 20(47), 107-118. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a09> ↑Ver página 31
- [García et al., 2017] García, S., Maesia, M., Vieirade, J. y Martínez, C. A. (2017). Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: a general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 801, 267-299. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.047> ↑Ver página 29
- [Geraldino et al., 2015] Geraldino, H. C. L., Simionato, J. I., Freitas, T. K. F. S. F., García, J. C., Carvalho Júnior, O. y Correr, C. J. (2015). Efficiency and operating cost of electrocoagulation system applied to the treatment of dairy industry wastewater. *Acta Scientiarum*, 37(3), 401- 408. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i3.26452> ↑Ver página 36

- [Ideam, 2007] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) (2007). *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*. Bogotá: Grupo Laboratorio de Calidad Ambiental. ↑Ver página 29
- [Kabarty, 2017] Kabarty, S. A. (2017). Electrocoagulation (with iron electrodes) as a pre-treatment part of brackish groundwater desalination. *System International Journal of Academic Scientific*, 5(1), 105-117. ↑Ver página 35
- [López y Harnisth, 2016] López, P. y Harnisth, A. (2016). Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Enfoque UTE*, 7(1), 13-21. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.84> ↑Ver página 31
- [Muñoz y Sánchez, 2018] Muñoz, S. y Sánchez, R. (2018). El agua en la industria alimentaria. *Revista Científica - Sociedad Española de Hidrología Médica*, 33(2), 157-171. <https://doi.org/10.23853/bsehm.2018.0571> ↑Ver página 28
- [Pinedo, Paternina y Marrugo, 2015] Pinedo, J., Paternina, R., Marrugo, J. (2015). Treatment of meat industry wastewater using electrochemical treatment method. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 33(4), 223-320. <https://doi.org/10.4152/pea.201504223> ↑Ver página 28, 33, 35
- [Pinedo, Paternina y Marrugo, 2016] Pinedo, J., Paternina, R., Marrugo, J. (2016). Alternative electrocoagulation for livestock wastewater treatment. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 34(4), 277-285. <https://doi.org/10.4152/pea.201604277> ↑Ver página
- [Reilly et al., 2019] Reilly, M., Cooley, A. P., Tito, D., Tassou, S. A., Theodorou, M. K. (2019). Electrocoagulation treatment of dairy processing and slaughterhouse wastewater. *Energy Procedia*, 161, 343-351. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.106> ↑Ver página 28, 32
- [Rice, Baird e Eaton, 2012] Rice, E. W., Baird, R. B. e Eaton, A. D. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D. C., EE. UU.: American Public Health Association, American Water Works Association. ↑Ver página 30
- [Rodríguez-Miranda, García-Ubaque y Pardo-Pinzón, 2015] Rodríguez-Miranda, J. P., García-Ubaque, C. A. y Pardo-Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Tecnura*, 19(46), 149-164. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12> ↑Ver página 29
- [Rodríguez, Mañunga y Cárdenas, 2012] Rodríguez, J., Mañunga, T. y Cárdenas, C. (2012). Influencia de las fracciones de materia orgánica sobre el desempeño de un sistema de tratamiento de agua residual de una industria papelerera. *UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 15(2), 447-455. <https://doi.org/10.31910/rudca.v15.n2.2012.846> ↑Ver página
- [Saleem, Bukhari, y Akram, 2011] Saleem, M., Bukhari, A. y Akram, M. (2011). Electrocoagulation for the treatment of wastewater for reuse in irrigation and plantation. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1), 11-20. ↑Ver página 31
- [Santamaría, Calvache, Santamaría y Zamora, 2015] Santamaría F., E., Calvache, F. Á., Santamaría, E. y Zamora, M. (2015). Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos. *Agroindustrial Science*, 5(1), 13-26. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.01.02> ↑Ver página 29
- [Thirugnanasambandham, Sivakumar, y Prakash, 2013] Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V. y Prakash, J. (2013). Optimization of electrocoagulation process to treat biologically pretreated bagasse effluent. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 79(5), 613-626. <https://doi.org/10.2298/jsc130408074t> ↑Ver página 31
- [Thirugnanasambandham, Sivakumar, y Prakash, 2014] Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V. y Prakash, J. (2014). Optimization of

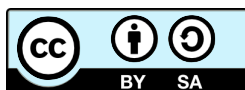
electrocoagulation process to treat grey wastewater in batch mode using response surface methodology. *Journal of Environmental Health Sciences & Engineering*, 12(1), 29. <https://doi.org/10.1186/2052-336x-12-29>

↑Ver página 31

[Vepsäläinen y Sillanpää, 2020] Vepsäläinen, M. y Sillanpää, M. (2020). Chapter 1 - Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters. En M. Sillanpää (ed.), *Advanced Water Treatment: Electrochemical Methods* (pp. 1-78). Ámsterdam, Países Bajos:

Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819227-6.00001-2> ↑Ver página 29

[Yang *et al.*, 2015] Yang, Z.-H., Xu, H.-Y., Zeng, G.-M., Luo, Y.-L., Yang, X., Huang, J., Wang, L.-K. y Canción, P.-P. (2015). The behavior of dissolution/passivation and the transformation of passive films during electrocoagulation: influences of initial pH, Cr(VI) concentration, and alternating pulsed current. *Electrochimica Acta*, 153, 149-158. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.11.183> ↑Ver página 36



Localización de múltiples fuentes basada en información de dirección de llegada mediante el uso de la teoría de sensado comprimido

Location estimation of multiple sources based on direction of arrival applying compressed sensing theory

Tibisay Sánchez-Quintero ¹, Cristina Gómez-Santamaría ² Roberto Carlos Hincapié-Reyes ³

Fecha de Recepción: 2 de junio de 2020

Fecha de Aceptación: 3 de noviembre de 2020

Cómo citar: Sánchez-Quintero., T. Gómez-Santamaría., C. y Hincapié-Reyes., R.C. (2021). Localización de múltiples fuentes basada en información de dirección de llegada mediante el uso de la teoría de sensado comprimido. *Tecnura*, 25(67), 40-52. <https://doi.org/10.14483/22487638.16302>

Abstract

Objective: Diction of arrival algorithms have been widely used in positioning systems. However, they have important restrictions to take into account in terms of spatial and temporal stationary requirements between the sources and correlation proprieties between them and the noise. Nevertheless, due to its nature the localization problem could be posed like a sparse reconstruction problem, and is possible to apply the compressive sensing and sparse reconstruction theory to estimate the position of several non-collaborative sources. Besides, considering a joint estimation system as we propose in this work, is possible to exploit both inter and intra-correlation signal aiming to improve the accuracy estimation.

Methodology: In this work we simulate a localization system composed by several reference nodes (RN) which share information with a central

entity named fusion center (FC) where the target estimation will take place. The process is divides in two stages: offline and online. In the first one we discretize the region of interest (ROI) in K candidates position where the sources could be located. Each RN builds its own dictionary that contains the covariance matrix of the steering vector for each cell into the grid. In the online stage, the target position estimation is performed. To do so, each RN receives the signal from the sources and calculates the compressed version of the covariance matrix, which is sent to the FC. In the FC the orthogonal matching pursuit (OMP) is performed to estimate the target coordinates inside the ROI.

Results: The results show the system performance in terms of accuracy in the position estimation when parameters like number of sensors, system's noise and compression rate in the measurement matrix are varied.

¹Ingeniera de Telecomunicaciones, magíster en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Estudiante de Doctorado en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia. Contacto: tibisay.sanchez@upb.edu.co

²Ingeniera electrónica, magíster en Ingeniería área de Telecomunicaciones, doctor en Ingeniería área de Telecomunicaciones. Líder de Machine Learning en Vozy. Medellín, Colombia. Contacto: cristina.gomez@upb.edu.co

³Ingeniero electrónico, magíster en Ingeniería, doctor en Ingeniería. Decano de la Escuela de Ingenierías de Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia. Contacto: roberto.hincapie@upb.edu.co

Conclusions: The proposed method provides high accuracy in the estimation without restricting requirements on the spatial and temporal stationery and correlation properties of the sources and the noise, which are common in traditional direction of arrival algorithms.

Financing: Miniciencias Colombia and Pontificia Bolivariana University.

Keywords: direction of arrival, sparse reconstruction, compressive sensing, radio localization systems.

Resumen

Contexto: Los algoritmos de dirección de llegada han sido ampliamente utilizados en los sistemas de posicionamiento; sin embargo, tienen restricciones importantes con respecto a la estacionariedad espacial y temporal de las fuentes, y la correlación entre estas y el ruido. Ahora bien, el problema de la localización, por su naturaleza, se puede considerar como disperso, razón por la cual es posible aplicar la teoría de sensado comprimido y reconstrucción dispersa para estimar la posición de fuentes no colaborativas.

Método: En este trabajo se simula un sistema compuesto por varios nodos de referencia (RN, por su sigla en inglés) que comparten información con una entidad central denominada centro de fusión (FC, por su sigla en inglés), en la cual se llevará a cabo la estimación final de posición de varias fuentes no colaborativas. El proceso se divide en dos etapas: *offline* y *online*. En la primera, cada RN construye un diccionario que contiene la matriz de

covarianza del factor de arreglo de antenas para cada una de las posibles posiciones de transmisión. Por su parte, en la etapa *online* se realiza la estimación de la posición, en la cual cada RN recibe la señal de las fuentes activas y calcula una versión comprimida de la matriz de covarianza de la señal recibida. Luego se realiza la estimación de la posición de las fuentes dentro del área de interés mediante el algoritmo OMP para la reconstrucción dispersa.

Resultados: Los resultados muestran el desempeño del sistema en términos de precisión en la estimación de la posición, cuando se varían parámetros como la cantidad de sensores activos, el ruido del sistema y la tasa de compresión empleada en la matriz de sensado. El peor resultado se da cuando hay dos fuentes en el sistema y se obtiene un error cercano a los 4,5 metros; mientras que cuando solo existe una fuente, el error promedio del sistema es cercano a los 0,14 metros. Finalmente, el costo computacional del sistema disminuye cuando se incrementa la tasa de compresión empleada, debido a que el tamaño de las matrices empleadas disminuye.

Conclusiones: El método propuesto proporciona alta precisión en la estimación, sin tener problemas con las restricciones en los requerimientos de estacionariedad espacial y temporal presentes en los algoritmos tradicionales de dirección de llegada, además de las condiciones de correlación entre las fuentes y el ruido.

Financiamiento: MinCiencias Colombia y Universidad Pontificia Bolivariana.

Palabras clave: Dirección de llegada, reconstrucción dispersa, sensado comprimido, sistemas de radiolocalización.

Tabla de Contenidos

INTRODUCCIÓN	42	METODOLOGÍA	45
MODELO DEL SISTEMA	43	Etapa offline: construcción de diccionarios .	45
Representación dispersa y sensado comprimido	44	Etapa online: medición	46
Sensado comprimido conjunto distribuido .	45	Estimación de la posición	46
		Escenario 1: tasa de compresión vs. RMSE con 2 TN	48
		Escenario 2: tasa de compresión vs. RMSE para 1 TN	48

Escenario 3: número de RN vs. RMSE para 2 TN	48
RESULTADOS	48
Escenario 1	48
Escenario 2	48
Escenario 3	49
CONCLUSIONES	49
FINANCIAMIENTO	50
AGRADECIMIENTOS	50
REFERENCIAS	50

INTRODUCCIÓN

La localización es una tarea importante que cada día toma más fuerza en diferentes áreas del conocimiento. Algunos autores coinciden en que uno de los componentes críticos de las aplicaciones actuales de internet de las cosas (IoT, por su sigla en inglés) y las redes de sensores es la localización o el *tracking* del sensor o de los nodos móviles (Pahlavan, Krishnamurthy y Geng, 2015, Paul y Sato, 2017). Actualmente, en diversas áreas del conocimiento se emplean robots autónomos para completar tareas que antes eran desarrolladas por seres humanos (Becerra-Mora, 2020, Martínez-Sarmiento y Giral-Ramírez, 2016); para ello, esos robots requieren sistemas de localización que les permitan conocer su posición exacta o la de otros objetos dentro de una región de interés.

En los sistemas de radiolocalización, el objetivo es determinar la posición de transmisores desconocidos mediante la explotación de parámetros de propagación de las señales emitidas (Hincapie et al., 2018). Para ello se emplean diferentes algoritmos, entre los cuales se encuentran aquellos basados en ángulos, denominados algoritmos de ángulo de llegada (AOA, por su sigla en inglés) o dirección de llegada (DOA, por su sigla en inglés).

Los sistemas de DOA han generado un considerable interés en las últimas tres décadas,

debido a su importancia en múltiples campos de aplicación como radar, sonar, sismología, comunicaciones inalámbricas, entre otros (Gu, Zhu y Swamy, 2011). Este tipo de sistemas emplean arreglos de antenas para determinar la dirección de llegada de una señal, aplicando técnicas basadas en subespacios y estimación de parámetros (Gross, 2005, Zhu y Chen, 2013). Sin embargo, estos algoritmos presentan inconvenientes y bajo desempeño en los casos en los que la relación señal a ruido (SNR, por su sigla en inglés) es baja y las fuentes tienen alto grado de correlación, además de que requieren un alto número de mediciones (Xenaki, Gerstoft y Mosegaard, 2014). Cabe mencionar que los sistemas de DOA tienen altos requerimientos en cuanto al arreglo de antenas, y la separación entre los elementos no debe ser mayor a la mitad de la longitud de onda, con el fin de evitar la aparición de lóbulos fantasmas (*grating lobes*) que pueden resultar en la estimación de falsos positivos, limitando de esta manera la apertura del arreglo. Lo anterior implica que si se quiere tener un sistema con mayor apertura es necesario tener arreglos con muchos elementos de antena, lo cual es problemático porque se requiere un mayor número de circuitos de *front-end*, trayendo implicaciones de *hardware* y *software*, ya que el tamaño de las matrices usadas es muy grande y genera alta carga computacional (Wang, Leus y Pandharipande, 2009).

Recientemente, debido a la naturaleza de esparcidad existente en los sistemas de posicionamiento, se ha propuesto usar la teoría de sensado comprimido (CS, por su sigla en inglés) para formular la tarea de localización como un problema de reconstrucción dispersa (Malioutov, Çetin y Willsky, 2005).

El sensado comprimido es una técnica de muestreo, que ha surgido en los últimos años, que permite disminuir la tasa de muestreo de la señal sin perder información, siempre y cuando la señal posea una representación dispersa en alguna base o diccionario conocido (Donoho, 2006). Dicho esto, el CS es especialmente atractivo para los esquemas de localización donde debido al esquema centralizado

de procesamiento en banda base, un alto volumen de datos debe ser transmitido y procesado. Ahora bien, para poder formular el problema de localización basado en la teoría de reconstrucción dispersa, es necesario encontrar una base de representación adecuada, la cual permita estimar la posición de una o múltiples fuentes mediante proyecciones adaptativas no lineales de las mediciones sobre dicha base.

Por otra parte, teniendo en cuenta que muchos de los sistemas de posicionamiento emplean varios receptores de manera simultánea, es posible aplicar los algoritmos de sensado comprimido conjunto distribuido (JDCCS, por su sigla en inglés), los cuales buscan explotar la inter-e intracorrelación de la señal, lo que permite mejorar la precisión del sistema (Lagunas, Sharma, Chatzinotas y Ottersten, 2016).

A partir de lo anterior, muchos autores han propuesto trabajos que permiten estimar la dirección de llegada de una o múltiples señales, realizando una discretización del espacio angular para aplicar las técnicas de reconstrucción dispersa y sensado comprimido. Gran parte de los trabajos relacionados buscan reducir la complejidad tanto en *hardware* como en *software* que puede generar el uso de grandes arreglos de antenas. Es el caso de (Li y Huang, 2014), quienes proponen una matriz de compresión para aplicar al factor de arreglo de tal manera que sea posible estimar el DOA, empleando algunos elementos de antena elegidos de manera aleatoria. Trabajos similares son presentados por (Gürbüz, McClellan y Cevher, 2008, Jouny, 2011, Wang, Leus y Pandharipande, 2009, Xenaki, Gerstoft y Mosegaard, 2014). Por su parte, (Cotter, 2007) (s. f.) aprovecha las múltiples muestras de la señal como mediciones diferentes con el fin de expandir el alcance del algoritmo y mejorar la precisión en la estimación. De otro lado, (Asgar-Sayed y Ng, 2019), y (Pazos, Hurtado y Muravchik, 2014) evalúan el desempeño de sistemas DOA con arreglos de antena que no son lineales uniformes (ULA) a los cuales se les aplica matrices de sensado comprimido en el dominio angular para estimar la dirección de llegada. Finalmente, Hincapié et al. (2018) diseñan

un sistema híbrido DOA/TDOA (*time difference of arrival*) para estimar la posición de múltiples fuentes transmisoras.

Ahora bien, este trabajo evalúa el desempeño de un sistema de DOA aplicando la teoría de sensado comprimido a la matriz de covarianza de la señal usada tradicionalmente en los algoritmos clásicos de DOA, tal y como lo proponen (Zhu y Chen, 2013).

Al elegir el sensado comprimido a la matriz de covarianza, se brinda mayor estabilidad al sistema, en especial en condiciones en las que el canal es altamente ruidoso. Después de múltiples pruebas por simulación con la matriz de compresión a la señal recibida, se observa que el sistema pierde precisión, pues arroja estimaciones imprecisas en varias ocasiones, mientras que al hacerlo con la matriz de covarianza la precisión del sistema se conserva cuando se varían los niveles de ruido del canal.

Sin embargo, el mayor aporte y elemento diferenciador con los demás trabajos expuestos radica en que el sistema propuesto estima las coordenadas dentro de la región de interés (ROI, por su sigla en inglés) de múltiples fuentes transmisoras; de esta manera se obtiene una posición exacta dentro de un área y no solo un ángulo de llegada como sucede en la mayoría de los casos. Para ello se considera un sistema compuesto por múltiples nodos de referencia (RN, por su sigla en inglés), cada uno equipado con un arreglo de antenas, los cuales toman mediciones de la señal recibida y las envían al centro de fusión (FC, por su sigla en inglés) donde se aplica un algoritmo de JDCCS para estimar la posición de los transmisores dentro de la ROI. Cabe mencionar que durante el trabajo se varían parámetros como el número de sensores, el ruido del sistema y las tasas de compresión, con el fin de evaluar el impacto de esto sobre la precisión en la estimación.

MODELO DEL SISTEMA

El modelo propuesto considera un sistema compuesto por Q fuentes transmisoras denominadas

nodos objetivo (TN, por su sigla en inglés) y *R* receptores llamados *nodos de referencia* (RN, por su sigla en inglés), cada uno de los cuales tiene un arreglo de antenas compuesto por M elementos. Tanto los RN como los TN se ubican aleatoriamente dentro de una ROI, la cual se discretiza en K celdas, cada una de las cuales tiene coordenadas bidimensionales (BS^k_x, BS^k_y). Adicionalmente, se cuenta con una entidad central denominada *centro de fusión* (FC, por su sigla en inglés) en la cual se lleva a cabo la estimación final de la posición empleando información recolectada y enviada por los RN mediante una red de *backbone* que los conecta.

Cada uno de los RN tiene coordenadas (x_r, y_r) dentro de la grilla, mientras que los TN tienen coordenadas (x_q, y_q) , las cuales son desconocidas y serán estimadas a través del método propuesto.

A partir de lo anterior, se define un modelo de señal en el que se considera un canal simple sin multitrayectoria, el cual solamente considera efectos de atenuación y retardo sobre la componente de línea de vista (LOS, por su sigla en inglés) de la señal transmitida. Por tanto, cada RN recibe una señal $x_r[n]$ dada por la ecuación (1), donde s_q es la señal transmitida por la fuente q -ésima; $\alpha_{q,r}$ es el factor de atenuación, y $\tau_{q,r}$ es el retardo en número de muestras que sufre la señal por la propagación entre el TN $_q$ y el RN $_r$, y $\eta[n]$ es el vector de ruido blanco gaussiano (AWGN, por su sigla en inglés) con media cero y varianza σ^2 :

$$x_r[n] = \sum_{q=1}^Q \alpha_{q,r} s_q[n - \tau_{q,r}] + \eta[n] \quad (1)$$

Sin embargo, si consideramos que cada RN tiene un arreglo de antenas compuesto por M elementos entonces, la señal recibida está dada por la ecuación (2):

$$y_r[n] = A_r \cdot x_r[n] + \eta[n] \quad (2)$$

Donde: $x_r[n]$ es la señal recibida después de haber pasado por el canal, y $A_r = [a_r(\theta_1) a_r(\theta_2) a_r(\theta_3) \cdots a_r(\theta_Q)]$ es la matriz de los vectores de dirección propia del factor de arreglo. Cada uno de los elementos de A_r indica la dirección

de llegada de cada una de las fuentes presentes en el sistema al RN $_r$ y está dada por la ecuación (3), donde $\lambda = c/f$ la longitud de onda de la señal recibida y d_q es la distancia que hay entre el transmisor q -ésimo y cada elemento del arreglo de antenas del RN $_r$:

$$a_r(\theta_q) = e^{-j \frac{2\pi d_q}{\lambda}}, \quad \forall q = 1, \dots, Q \quad (3)$$

Representación dispersa y sensado comprimido

En la mayoría de casos prácticos de los sistemas de localización, el número de fuentes es mucho menor al de posiciones desde las cuales puede provenir una señal; es decir, al discretizar la región de interés, la cantidad de celdas que efectivamente contienen fuentes transmisoras es mucho menor al tamaño de la grilla como tal, razón por la cual es posible plantear el problema de localización como de reconstrucción dispersa (Zhao, Irshad, Shi y Xu, 2019). Además, basados en la teoría de sensado comprimido desarrollada por (Candès y Romberg, 2006, Candès, Romberg y Tao, 2006a, Candès, Romberg y Tao, 2006b, Donoho, 2006), la señal recibida $y_r[n]$ se puede aproximar correctamente como una combinación lineal de algunos pocos elementos de una base de representación conocida o diccionario (Marín-Alfonso, Betancur-Agudelo y Alguello-Fuentes, 2017). Por consiguiente, es posible proponer un estimador $\tilde{y}_r[n]$ para la señal recibida en cada RN dada por la ecuación (4), donde ψ_r es el diccionario conocido con dimensiones $N \times K$, siendo K la cantidad de celdas dentro de la grilla y N la longitud de la señal, y b_r es el vector disperso, con dimensiones $K \times 1$, que tiene tantos coeficientes diferentes de cero como número de fuentes existen en el sistema (Schitz, Mathar y Dorsch, 2015):

$$\tilde{y}_r = \psi_r b_r \quad (4)$$

La ecuación (4) se puede resolver mediante la minimización de la norma l_0 buscando los valores diferentes de cero en el vector b_r ; sin embargo, esto es un problema $NP - hard$, lo cual implica que el número de combinaciones posibles para

encontrar una solución óptima tiende a infinito, por lo cual se busca simplificar el problema, mediante una relajación de la norma l_0 . Esto se puede dar bajo condiciones adicionales que se asumen sobre la matriz ψ_r , obteniendo de esta manera una posible solución mediante la minimización de la norma l_1 (Schitz, Mathar y Dorsch, 2015). En consecuencia, se plantea el problema de minimización siguiendo la ecuación (5), que puede ser resuelta mediante esquemas de optimización convexa o algoritmos codiciosos como *orthogonal matching pursuit* (OMP):

$$\min \|b_r\|_1 \quad s.t \quad \tilde{y}_r = \psi_r b_r \quad (5)$$

Por su parte, la teoría de sensado comprimido permite incorporar una matriz ϕ_r de dimensiones $P \times N$, con $P < N$, que reduzca el tamaño del vector de mediciones \tilde{y}_r . Además, bajo la teoría de sensado comprimido es posible reconstruir b_r usando un menor número de muestras mediante proyecciones lineales no adaptativas sobre una matriz de observaciones ϕ_r que es incoherente con $\tilde{\psi}_r$ (Bougher, 2015, Foucart y Rauhut, 2013). Por consiguiente, el vector de mediciones \hat{y}_r está dado por la ecuación (6):

$$\hat{y}_r = \phi_r \tilde{y}_r = \phi_r \psi_r b_r \quad (6)$$

La matriz ϕ_r se genera como una matriz de submuestreo, en la cual se toman P filas de una matriz identidad de $N \times N$, con el fin de tomar P muestras de la medición original. Ahora bien, reformulando la ecuación (5), se obtiene que el problema de optimización está dado por la ecuación (7), y se resuelve aplicando el mismo algoritmo OMP.

$$\min \|b_r\|_1 \quad s.t \quad \tilde{y}_r = \phi_r \psi_r b_r = \Theta_r b_r \quad (7)$$

Sensado comprimido conjunto distribuido

Teniendo en cuenta que el sistema propuesto considera un esquema centralizado con múltiples nodos de referencia para estimar la posición, es posible aplicar la teoría de sensado comprimido conjunto distribuido (JDCS, por su sigla en inglés)

y explotar tanto la inter-como la intracorrelación de la señal, como lo sugieren (Duarte *et al.*, 2005a). JDCS considera la esparsidad conjunta de una señal para obtener una reconstrucción precisa de la señal (Nikitaki y Tsakalides, 2011).

En un escenario típico de DCS, cada sensor mide señales que son dispersas individualmente en alguna base de representación y a su vez están correlacionadas entre sí. Por eso, cada sensor de manera independiente codifica su señal mediante proyecciones incoherentes sobre su base de representación dispersa, y en las condiciones adecuadas un decodificador en el centro de fusión puede reconstruir de manera conjunta y precisa la señal, de lo que se obtienen las coordenadas (x_q, y_q) de los transmisores dentro de la región de interés (Duarte *et al.*, 2005b).

METODOLOGÍA

El método propuesto para estimar la posición de varios transmisores, mediante sensado comprimido y reconstrucción dispersa a la matriz de covarianza usada en los algoritmos tradicionales de dirección de llegada, se realiza en dos etapas: *offline* y *online*.

En la primera etapa, *offline*, se construye el diccionario o base de representación dispersa ψ_r para cada uno de los nodos de referencia del sistema. Mientras que en *online* se toman las mediciones que son enviadas al FC para realizar la estimación de la posición. A continuación se describen en detalle estas etapas.

Etapa offline: construcción de diccionarios

Cada RN construye su propio diccionario $\psi_r = [\varphi_1 \varphi_2 \dots \varphi_k]$, que contiene la versión vectorizada de la matriz de covarianza del factor de arreglo para cada una de las k posiciones dentro de la grilla. Cada elemento se calcula empleando la ecuación (8), donde $a(\theta)$ se calcula con la ecuación (3), y $(\cdot)^H$ denota la hermitiana de un vector:

$$\varphi_k = \text{vect}(a(\theta)a^H(\theta)) \quad (8)$$

Para construir el diccionario, una vez se tenga discretizada la región de interés, se ubican los RN dentro de esta y se fijan en las coordenadas (x_r, y_r) . Posteriormente se ubica una única fuente transmisora en la primera celda de la grilla cuyas coordenadas corresponden a (BS_x^1, BS_y^1) y se aplica la ecuación (8). En este caso, la distancia d_q de la ecuación (3) se reescribe como $d_{m,1}^r$, la cual corresponde a la distancia entre el elemento m del arreglo de antenas del r -ésimo receptor y la $k = 1$ posición dentro de la grilla. Este proceso se repite para cada una de las posiciones dentro de la grilla hasta finalizar la construcción del diccionario. Por tanto, el tamaño de la base de representación es de $M^2 \times K$, donde M es el número de elementos de antena del arreglo y K es la cantidad de celdas de la grilla.

Etapa online: medición

En esta etapa se toman las mediciones de las fuentes reales, las cuales son enviadas al centro de fusión para aplicar el algoritmo OMP y estimar las coordenadas (x_q, y_q) . Para realizar las mediciones, cada RN calcula la matriz de covarianza de la señal recibida dada por la ecuación (9) (Gross, 2005), donde N es la longitud de la señal recibida y y_r está definida por la ecuación (2).

$$R_{xx}^r = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_r[n] y_r^H[n] \quad (9)$$

Una vez se tenga la matriz de covarianza se vectoriza y se comprime aplicando la ecuación (10), que es la medición que cada RN calcula y envía al FC. La versión vectorizada de la matriz de covarianza es de dimensiones $M^2 \times 1$, mientras que la versión comprimida es de $P \times 1$, donde $P \ll M^2$.

$$R_{xx}^r = \phi_r R_{xx}^r \quad (10)$$

Estandarizando la notación de las variables, decimos que $\tilde{y}_r = R_{xx}^r$ es la medición sin comprimir, y que $\hat{y}_r = R_{xx}^r$ es la medición comprimida.

Estimación de la posición

Para realizar la estimación se debe contar con los dos insumos recolectados en las etapas previas: los diccionarios y la medición, para proceder a aplicar el algoritmo OMP que nos permite obtener las coordenadas de los transmisores.

El algoritmo OMP construye de manera iterativa una estimación de un conjunto soporte desconocido β . Si β es estimado en la iteración $(i - 1)$, se usa el residual $\hat{r}_{r,i}$ de la aproximación por mínimos cuadrados de $\Theta_r b_r$, donde $\text{sup}(b_r) \subset \beta$, para elegir una actualización para β . Esto se logra seleccionando el índice donde el vector de la proyección definida por la ecuación (11) es máximo (Schitzmz, Mathar y Dorsch, 2015).

$$\omega_{r,k} = \frac{|\langle \Theta_{r,k}, b_r \rangle|}{\|\Theta_{r,k}\|_2} \quad (11)$$

En el caso de JDCCS, se hace una combinación no coherente de los valores máximos de correlación obtenidos para cada RN con el fin de medir que tanto un transmisor está presente en una determinada celda k . Lo anterior supone una modificación en el algoritmo OMP que ha sido ampliamente estudiado por diferentes autores (Baron et al., 2009, Eldar, Kuppinger y Bölcskei, 2010).

El algoritmo usado se detalla en la figura 1, el cual puede tener como criterio de parada un número de iteraciones igual al número de fuentes del sistema, siempre y cuando este sea conocido como en el caso de los ambientes colaborativos, o si se cumple una condición de parada usualmente relacionada con la energía del residual, la cual implica que la norma del residual actual es menor que un umbral definido, que usualmente es una función de la relación señal a ruido de la señal.

Ahora bien, con fin de confirmar las consideraciones teóricas y evaluar el desempeño del sistema propuesto, se realizan simulaciones numéricas de un ambiente de radio propagación en dos dimensiones, empleando un modelo de canal simple basado en la ecuación de Friis (Rappaport, 2001). A continuación, se describen los parámetros empleados y se explica en detalle el proceso desarrollado para la obtención de resultados.

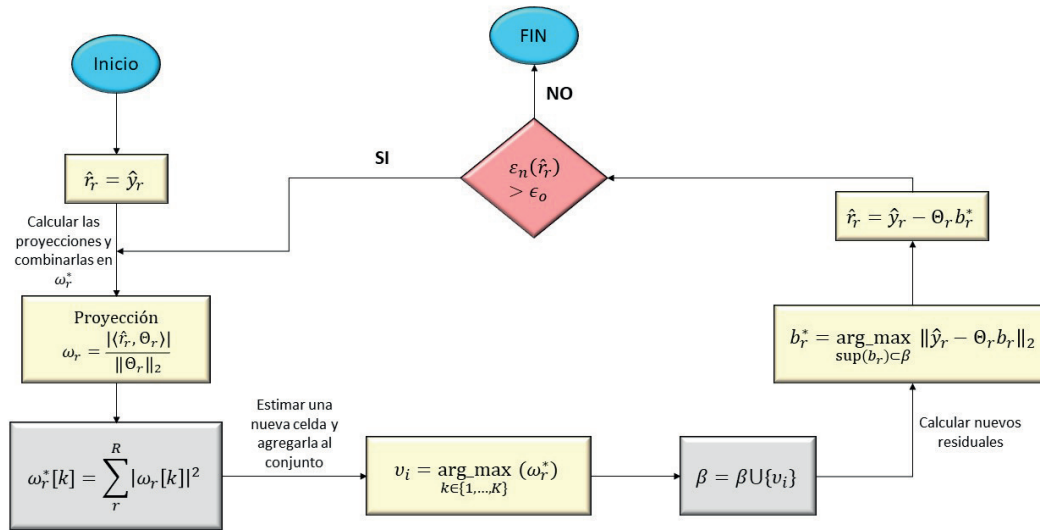


Figura 1. Algoritmo de localización

Fuente: elaboración propia.

Cada transmisor genera una señal banda base con una frecuencia de muestreo de 100 MHz, con modulación BPSK. Cada receptor recibe una señal dada por la ecuación (1), la cual corresponde a la suma de las señales transmitidas, las cuales están retrasadas en el tiempo y tienen una atenuación en potencia causada por los efectos de propagación entre cada par de transmisores y receptores. Además, esta ecuación incluye ruido blanco gaussiano $\eta[n]$ con media cero y matriz de covarianza $R_{nn} = \sigma^2 I$, el cual se asume idéntico en todos los RN.

El escenario considera una ROI como la que se muestra en la figura 2, la cual tiene 4 RN (círculos azules) ubicados en posiciones fijas para todas las simulaciones, y 2 TN (triángulos rojos) los cuales se ubican de manera aleatoria dentro de la ROI en cada iteración del algoritmo. Esta figura muestra la ROI ya discretizada para llevar a cabo la construcción del diccionario. Cada una de las cruces verdes corresponde a la posición k -ésima con coordenadas (BS_x^k, BS_y^k) .

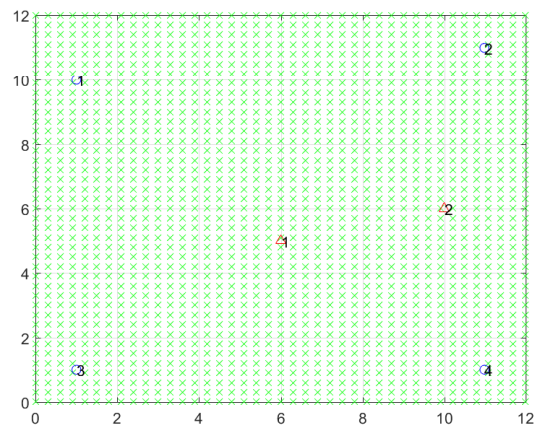


Figura 2. Escenario de evaluación del sistema con 4 RN y 2 TN

Fuente: elaboración propia.

Se plantean tres escenarios diferentes en los que se calcula el RMSE (*root mean square error*) de la estimación de la posición, a partir de 1000 simulaciones Monte-Carlo para cada caso. A continuación, se describen los escenarios propuestos.

Escenario 1: tasa de compresión vs. RMSE con 2 TN

Se establecen cuatro tasas de compresión diferentes, las cuales indican el porcentaje de muestras que se toman de la señal original para realizar la estimación de la posición, y se calcula el RMSE para diferentes valores de σ^2 . Esto implica más o menos ruido en la medición.

Los valores de la tasa de compresión empleados son: $\rho = [20, 40, 60, 80]$, y los valores de varianza evaluados son: $\sigma^2 = [1, 5, 10, 20, 50]$.

Escenario 2: tasa de compresión vs. RMSE para 1 TN

Igual al caso anterior, se calcula el RMSE para cuatro tasas de compresión diferentes y cinco valores de σ^2 ; sin embargo, aquí se estima la posición de una única fuente, con el fin de comparar los resultados con el caso en el que hay dos TN y determinar la influencia que tiene en el desempeño del sistema la presencia de múltiples fuentes transmisoras. Los valores de la tasa de compresión empleados son: $\rho = [20, 40, 60, 80]$, y los valores de varianza evaluados son: $\sigma^2 = [1, 5, 10, 20, 50]$.

Escenario 3: número de RN vs. RMSE para 2 TN

Se varía el número de RN presentes en el sistema y se calcula el RMSE para diferentes tasas de compresión empleando un canal ideal, es decir, $\sigma^2=0$.

RESULTADOS

A continuación, se detallan los resultados para cada caso de estudio y se realiza una breve discusión al respecto.

Escenario 1

La figura 3 muestra cómo el RMSE aumenta gradualmente a medida que aumenta el porcentaje de la tasa de compresión. Como era de esperarse,

entre menos muestras de la señal se tomen para hacer la estimación, mayor es el error en la estimación; sin embargo, cabe mencionar que las variaciones del error son poco significativas, aun cuando el ruido de la medición es alto. El peor escenario se obtiene cuando se tiene un $\sigma^2=50$ y un $\rho=80$, lo cual implica que solo con el 20% de las muestras y un canal muy ruidoso se tiene un error inferior a 4,5 metros de la posición real; mientras que para el mismo valor de ρ pero en un canal casi ideal, el error del sistema es ligeramente inferior a 1 m.

Es claro que, a medida que aumentan los valores de ρ y σ^2 , el desempeño del sistema disminuye. Sin embargo, en términos generales, la precisión del sistema es buena incluso cuando las condiciones del canal son desfavorables.

Cabe mencionar que tener menor cantidad de muestras en la medición disminuye el costo computacional del algoritmo, ya que el tamaño de las matrices disminuye.

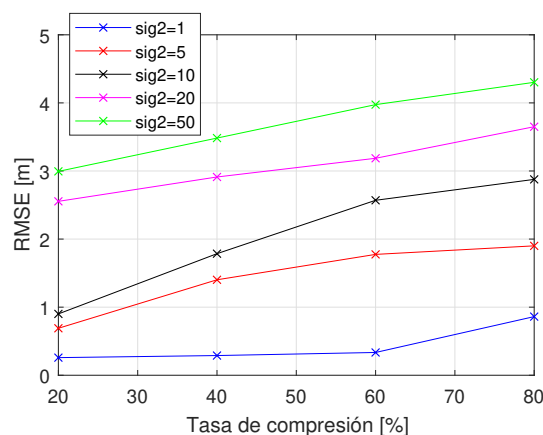


Figura 3. Tasa de compresión vs. RMSE con 2 TN para diferentes valores de σ^2

Fuente: elaboración propia.

Escenario 2

En este caso se evalúan los mismos parámetros que en el caso anterior, pero solamente se considera un transmisor activo en el sistema. La figura 4 muestra que, como era de esperarse, el error disminuye cuando solo se considera una fuente con respecto

al caso anterior. Además, es posible observar que la diferencia entre cada uno de los casos es muy pequeña, casi despreciable, teniendo un promedio de error cercano a 0,14 metros en la estimación de la posición. A diferencia del primer caso el error de la posición no se acumula en el cálculo de los residuales del algoritmo OMP, ya que solo se precisa de una iteración para calcular las coordenadas del TN, lo cual impacta directamente en la precisión del sistema.

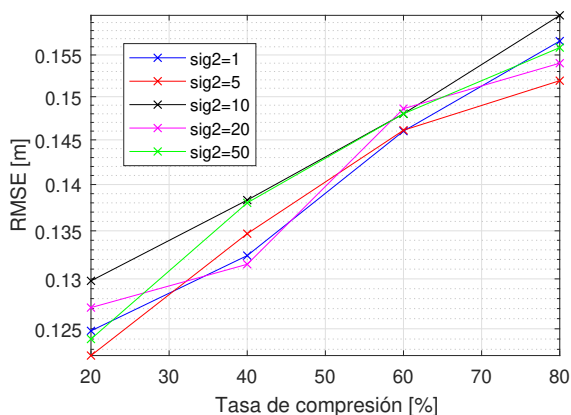


Figura 4. Tasa de compresión vs. RMSE con 1 TN para diferentes valores de σ^2

Fuente: elaboración propia.

Escenario 3

En este caso se considera un canal ideal, sin ruido, y los mismos valores de la tasa de compresión, sin embargo, se varía el número de RN que tiene el sistema con el fin de evaluar qué tanto afecta este parámetro la precisión del sistema.

La figura 5 muestra cómo, a medida que aumenta el número de RN en el sistema, el error disminuye para todos los valores propuestos de ρ . Además, a medida que aumenta la tasa de compresión el error es mayor, lo cual es lógico pues se están tomando menos muestras de la medición para hacer la estimación. Sin embargo, cabe mencionar que la diferencia de los errores calculados es muy baja, teniendo un error promedio de 0,34 metros cuando hay 2 RN y de 0,16 metros cuando hay 5 RN. Lo anterior implica

que es necesario determinar el rango de precisión que requiere el sistema considerado, dado que aumentar la cantidad de RN aumenta de manera considerable el costo del sistema y adicionalmente la complejidad computacional también se incrementa, pero la ganancia en términos del error es muy baja.

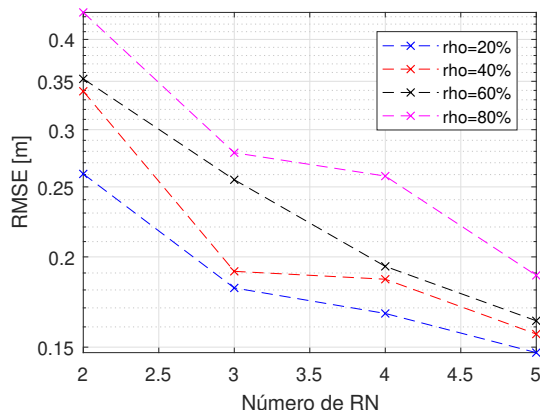


Figura 5. Número de sensores vs. RMSE
Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un novedoso sistema de localización, basado en algoritmos de dirección de llegada (DOA, por su sigla en inglés), que explota la esparsidad espacial propio del problema de localización para aplicar la teoría de sensado comprimido con el fin de estimar la posición de una o múltiples fuentes transmisoras. El método utiliza la matriz de covarianza de la señal recibida, usada típicamente en las técnicas clásicas de DOA para calcular con una alta precisión la posición de las fuentes. Sin embargo, en este trabajo, el tamaño de esta matriz se puede disminuir hasta en un 80 %, gracias a la teoría de sensado comprimido. Los resultados demuestran que la precisión del sistema es alta, incluso en los casos en los que las condiciones de ruido son altas, al igual que las tasas de compresión. Para dos fuentes, se obtiene un error máximo inferior a las 4,5 metros con respecto a la posición real, para el peor escenario, e inferior a los 0,5 metros, para el mejor caso. Por su parte, cuando solo hay un transmisor en el sistema, el

desempeño del sistema es mucho mejor, ya que no hay acumulación del error en los residuales calculados en el algoritmo OMP, de lo que se obtiene un error promedio cercano a los 14 centímetros con respecto a la posición real del TN. Adicionalmente, se evalúa el caso en el que se vería el número de RN, observando que, para un canal ideal, la precisión no mejora de forma significativa en comparación con el aumento en la carga computacional.

Este trabajo permite entonces concluir que gracias a la esparcidad presente en la naturaleza del problema de localización es posible aplicar la teoría de sensado comprimido para estimar la posición de múltiples fuentes transmisoras con alta precisión.

FINANCIAMIENTO

Los resultados presentados en este documento forman parte del trabajo de investigación doctoral titulado "Evaluación de un sistema de radiolocalización híbrido mediante el uso de la teoría de reconstrucción dispersa y sensado comprimido conjunta para la localización de múltiples fuentes transmisoras", realizado en la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín, y financiado por la Convocatoria 727 de MinCiencias.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a MinCiencias por la financiación para el desarrollo de esta investigación doctoral, a la Universidad Pontificia Bolivariana y a los asesores de tesis y colegas, el PhD Roberto Hincapié y la PhD Cristina Gómez, por su apoyo constante durante el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

[Asghar-Sayed y Ng, 2019] Asghar-Sayed, Z. y Ng, B. P. (2019). Aperiodic geometry design for DOA estimation of broadband sources using compressive sensing. *Signal Processing*, 155, 96-107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2018.09.026> ↑Ver página 43

[Baron et al., 2009] Baron, D., Duarte, M. F., Wakin, M. B., Sarvotham, S. y Baraniuk, R. G. (2009). *Distributed compressive sensing*. Recuperado de <http://arxiv.org/abs/0901.3403> ↑Ver página 46

[Becerra-Mora, 2020] Becerra-Mora, Y. A. (2020). Una revisión de plataformas robóticas para el sector de la construcción. *Tecnura*, 24, 115-132. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.15384> ↑Ver página 42

[Bougher, 2015] Bougher, B. (2015). Introduction to compressed sensing. *Leading Edge*, 34 (10), 1256-1257. DOI: <https://doi.org/10.1190/tle34101256.1> ↑Ver página 45

[Candès y Romberg, 2006] Candès, E. J. y Romberg, J. (2006). Quantitative robust uncertainty principles and optimally sparse decompositions. *Foundations of Computational Mathematics*, 6 (2), 227-254. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10208-004-0162-x> ↑Ver página 44

[Candès, Romberg y Tao, 2006a] Candès, E. J., Romberg, J. K. y Tao, T. (2006a). Stable signal recovery from incomplete and inaccurate measurements. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 59 (8), 1207-1223. DOI: <https://doi.org/10.1002/cpa.20124> ↑Ver página 44

[Candès, Romberg y Tao, 2006b] Candès, E. J., Romberg, J. y Tao, T. (2006b). Robust uncertainty principles: Exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information. *IEEE Transactions on Information Theory*, 52 (2), 489-509. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIT.2005.862083> ↑Ver página 44

[Cotter, 2007] Cotter, S. F. (2007). Multiple snapshot matching pursuit for direction of arrival (DOA) estimation. En *2007 15th European Signal Processing Conference* (pp. 247-251). Poznań, Polonia. ↑Ver página 43

[Donoho, 2006] Donoho, D. L. (2006). Compressed sensing. *IEEE Transactions on Information Theory*,




- 52 (4), 1289-1306. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIT.2006.871582> ↑Ver página 42, 44
- [Duarte *et al.*, 2005a] Duarte, M. F., Sarvotham, S., Baron, D., Wakin, M. B. y Baraniuk, R. G. (2005a). Distributed compressed sensing of jointly sparse signals. En *Conference Record - Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 1537-1541. DOI: <https://doi.org/10.1109/acssc.2005.1600024> ↑Ver página 45
- [Duarte *et al.*, 2005b] Duarte, M., Sarvotham, S., Wakin, M., Baron, D. y Baraniuk, R. (2005b). Joint sparsity models for distributed compressed sensing. En *Online Proceedings of the Workshop on Signal Processing with Adaptive Sparse Structured Representations (SPARS)*. ↑Ver página 45
- [Eldar, Kuppinger y Bölcskei, 2010] Eldar, Y. C., Kuppinger, P. y Bölcskei, H. (2010). Block-sparse signals: uncertainty relations and efficient recovery. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58 (6), 3042-3054. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSP.2010.2044837> ↑Ver página 46
- [Foucart y Rauhut, 2013] Foucart, S. y Rauhut, H. (2013). *A mathematical introduction to compressive sensing*. Nueva York: Birkhäuser Basel. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-8176-4948-7> ↑Ver página 45
- [Gross, 2005] Gross, F. (2005). *Smart Antennas for wireless communications*. McGraw-Hill. <https://doi.org/10.1036/007144789X> ↑Ver página 42, 46
- [Ross, 2005] Ross, F. (2005). *Smart Antennas for wireless communications*. Nueva York: McGraw-Hill. DOI: <https://doi.org/10.1036/007144789X> ↑Ver página
- [Gu, Zhu y Swamy, 2011] Gu, J. F., Zhu, W. P. y Swamy, M. N. S. (2011). Compressed sensing for DOA estimation with fewer receivers than sensors. En *Proceedings - IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 1752-1755. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISCAS.2011.5937922> ↑Ver página 42
- [Gürbüz, McClellan y Cevher, 2008] Gürbüz, A. C., McClellan, J. H. y Cevher, V. (2008). A compressive beamforming method. En *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2617-2620. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2008.4518185> ↑Ver página 43
- [Hincapie *et al.*, 2018] Hincapié, R., Gómez, C., Betancur, L., Lavrenko, A. y Schmitz, J. (2018). Sparse framework for hybrid TDoA/DoA multiple emitter localization. En *2017 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, ISSPIT*, 174-179. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSPIT.2017.8388637> ↑Ver página 42
- [Jouny, 2011] Jouny, I. (2011). Music DOA estimation with compressive sensing and/or compressive arrays. En *IEEE Antennas and Propagation Society, AP-S International Symposium (Digest)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/APS.2011.5996902> ↑Ver página 43
- [Lagunas, Sharma, Chatzinotas y Ottersten, 2016] Lagunas, E., Sharma, S. K., Chatzinotas, S. y Ottersten, B. (2016). Compressive sensing based target counting and localization exploiting joint sparsity. En *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 3231-3235. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2016.7472274> ↑Ver página 43
- [Li y Huang, 2014] Li, G. y Huang, G. (2014). DOA estimation based on compressive sampling array with novel beamforming. En *2014 31th URSI General Assembly and Scientific Symposium, URSI GASS*. DOI: <https://doi.org/10.1109/URSIGASS.2014.6929037> ↑Ver página 43
- [Malioutov, Çetin y Willsky, 2005] Malioutov, D., Çetin, M. y Willsky, A. S. (2005). A sparse signal reconstruction perspective for source localization with sensor arrays. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 53 (8), 3010-3022. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSP.2005.850882> ↑Ver página 42

- [Marín-Alfonso, Betancur-Agudelo y Alguello-Fuentes, 2017] Marín-Alfonso, J., Betancur-Agudelo, L. y Alguello-Fuentes, H. (2017). Further compression of focal plane array in compressive spectral imaging architectures. *Tecnura*, 21 (52), 45-52. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.2.a03> ↑Ver página 44
- [Martínez-Sarmiento y Giral-Ramírez, 2016] Martínez-Sarmiento, F. H. y Giral-Ramírez, D. A. (2016). OpenRRArch: una arquitectura abierta, robusta y confiable para el control de robots autónomos. *Tecnura*, 21 (51), 96- 104. DOI: Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257050668007.pdf> ↑Ver página 42
- [Nikitaki y Tsakalides, 2011] Nikitaki, S. y Tsakalides, P. (2011). Localization in wireless networks based on jointly compressed sensing. En *2011 19th European Signal Processing Conference* (pp. 1809-1813). Barcelona, España. ↑Ver página 45
- [Pahlavan, Krishnamurthy y Geng, 2015] Pahlavan, K., Krishnamurthy, P. y Geng, Y. (2015). Localization challenges for the emergence of the smart world. *IEEE Access*, 3, 3058-3067. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2508648> ↑Ver página 42
- [Paul y Sato, 2017] Paul, A. y Sato, T. (2017). Localization in wireless sensor networks: a survey on algorithms, measurement techniques, applications and challenges. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 6 (4), 24. DOI: <https://doi.org/10.3390/jsan6040024> ↑Ver página 42
- [Pazos, Hurtado y Muravchik, 2014] Pazos, S., Hurtado, M. y Muravchik, C. (2014). DOA estimation using random linear arrays via compressive sensing. *IEEE Latin America Transactions*, 12 (5), 859-863. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLA.2014.6872896> ↑Ver página 43
- [Rappaport, 2001] Rappaport, T. S. (2001). *Wireless communications*. Recuperado de <https://www.pearson.ch/HigherEducation/ElectricalEngineering/Communications/EAN/9780130422323/Wireless-Communications> ↑Ver página 46
- [Schitzmz, Mathar y Dorsch, 2015] Schmitz, J., Mathar, R. y Dorsch, D. (2015). Compressed time difference of arrival based emitter localization. En *2015 3rd International Workshop on Compressed Sensing Theory and Its Applications to Radar, Sonar, and Remote Sensing, CoSeRa 2015*, 263-267. DOI: <https://doi.org/10.1109/CoSeRa.2015.7330305> ↑Ver página 44, 45, 46
- [Wang, Leus y Pandharipande, 2009] Wang, Y., Leus, G. y Pandharipande, A. (2009). Direction estimation using compressive sampling array processing. En *IEEE Workshop on Statistical Signal Processing Proceedings*, 626-629. DOI: <https://doi.org/10.1109/SSP.2009.5278497> ↑Ver página 42, 43
- [Xenaki, Gerstoft y Mosegaard, 2014] Xenaki, A., Gerstoft, P. y Mosegaard, K. (2014). Compressive beamforming. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136 (1), 260-271. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.4883360> ↑Ver página 42, 43
- [Zhao, Irshad, Shi y Xu, 2019] Zhao, H., Irshad, M. J., Shi, H. y Xu, W. (2019). Passive source localization using compressive sensing. *Sensors*, 19 (20), 4522. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19204522> ↑Ver página 44
- [Zhu y Chen, 2013] Zhu, W. y Chen, B. X. (2013). Novel methods of DOA estimation based on compressed sensing. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, 26 (1), 113-123. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11045-013-0239-2> ↑Ver página 42, 43



Development of a mobile APP for interactive learning in civil engineering problems: application to open-channel hydraulics

Desarrollo de una aplicación móvil para el aprendizaje interactivo en problemas de ingeniería civil: aplicación a la hidráulica de canales abiertos

Edgar Orlando Ladino Moreno ¹, César Augusto García-Ubaque ² & Jorge Arturo Pineda-Jaimes ³

Fecha de Recepción: 25 de junio de 2020

Fecha de Aceptación: 3 de noviembre de 2020

Cómo citar: Ladino-Moreno., E.O. García-Ubaque., C.A. y Pineda-Jaimes., J.A. (2021). Development of a mobile APP for interactive learning in civil engineering problems: application to open-channel hydraulics. *Tecnura*, 25(67), 53-70. <https://doi.org/10.14483/22487638.17820>

Abstract

Context: The analysis of water flow in open channels is a relevant topic of study in different civil engineering projects. However, traditional experiments in open channel hydraulics and scale models are limited, and simple conceptual review based solely on textbooks does not allow sufficient stimulation and motivation for students. On the other hand, the rapid development of mobile devices and programming in the cloud and mobile Operation Systems such as Android offer alternatives for the development of complementary tools that support educational processes.

Methodology: This work presents the development of an application that allows the analysis and design of open prismatic channels by implementing the Newton-Raphson numerical method and incorporating a problem-based learning approach.

Results: Interactive elements were included in the application for the definition of problem variables, as well as didactic images and friendly data outputs to promote interest in the application and understanding of the problem-solving process.

Conclusions: The mobile application is an example of the possibilities that exist to strengthen both the teaching of concepts and the technological approach for the rapid solution of problems, which promote the appropriation of concepts in civil engineering education. The application is called "HydroEolm" and is available for free on the Google Play Store; It has been downloaded several thousand times in Latin America and the Caribbean, mostly by engineering students, so the positive impact of the application for academic training is inferred.

Keywords: Civil engineering, fluid dynamics, computer application, engineering education.

¹BSc. Civil Engineering, BSc. Topographic Engineering, MSc Civil Engineering, PhD Engineering (c). Assistant Professor Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. eoladinom@correo.udistrital.edu.co

²BSc. Civil Engineer, MSc Civil Engineering, PhD in Engineering, Titular Professor Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. cagarcau@udistrital.edu.co

³BSc. Civil Engineering, MSc Geotechnical Engineering, PhD Geotechnical Engineering. Assistant Professor Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia and Associate Professor (part time) at Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. japinedaj@udistrital.edu.co, jpinadaj@unal.edu.co

Resumen

Contexto: El análisis del flujo de agua en canales abiertos es un tema de estudio relevante en diferentes proyectos de Ingeniería Civil. Sin embargo, los experimentos tradicionales en hidráulica de canales abiertos y modelos a escala son limitados, y la simple revisión conceptual basada únicamente en libros de texto no permite la suficiente estimulación y motivación para los estudiantes. Por otro lado, el rápido desarrollo de dispositivos móviles y programación en la nube a través de lenguajes como Android ofrecen alternativas para el desarrollo de herramientas complementarias que apoyen los procesos educativos.

Método: Este trabajo presenta el desarrollo de una aplicación que permite el análisis y diseño de canales prismáticos abiertos mediante la implementación del método numérico Newton- Raphson, incorporando un enfoque de aprendizaje basado en problemas.

Resultados: Se incluyeron en la aplicación elementos interactivos para la definición de variables del problema, imágenes didácticas y salidas de datos amigables para promover el interés en el uso de la aplicación y la comprensión de la solución de los problemas.

Conclusiones: La aplicación móvil es un ejemplo de las posibilidades que existen para fortalecer tanto la enseñanza de conceptos como el enfoque tecnológico para la solución rápida de problemas, las cuales promueven la apropiación de conceptos en la educación de ingeniería civil. La aplicación se llama "HydroEolm" y está disponible de forma gratuita en la Play Store de Google; ha sido descargada varios miles de veces en América Latina y el Caribe, en su mayoría por estudiantes de ingeniería, así que se infiere el impacto positivo de la aplicación para el entrenamiento académico.

Palabras clave: Ingeniería civil, dinámica de fluidos, aplicación informática, formación de ingenieros.

Table of Contents

INTRODUCTION	54
App Development	56
Basic Problem	56
Development of Numerical Solution	57
App Formulation and Validation	58
Trapezoidal Channel	58
Asymmetric trapezoidal channel	60
Circular channel	63
App Impact from Google Play Store	69
CONCLUSIONS	69
REFERENCES	69

INTRODUCTION

The study of water flow in open channels is a critical issue for multiple projects related to Civil Engineering about the evacuation of water under

controlled speed and flow. Several engineering projects use surface drainage systems for the evacuation of free-flowing water at different scales, from small channels in road works and slopes (measured in centimeters) to channeling currents through channels with large hydraulic sections of several meters wide (Chaudry, 2008, Marusic & Hutchins, 2008, Monty, Hutchins, Ng, Marusic, & Chong, 2009, Roy, Buffin-Belanger, Lamarre, & Kirkbride, 2004, Cameron, Nikora, & Stewart, 2017). The optimization of the hydraulic design of these structures through numerical methods is a key component in the training of civil engineers and comes second to conducting laboratory tests on models to explain the concepts associated to the design of the hydraulic channel. (Chaudry, 2008, Monty, Hutchins, Ng, Marusic, & Chong, 2009, Cameron, Nikora, & Stewart, 2017). Despite the conventional presentation of the design of open channels in the training curricula of civil engineering, concerns persist in the background

of students because some concepts in this topic are abstract, and in some cases they can only be understood from laboratory tests (Monty, Hutchins, Ng, Marusic, & Chong, 2009, Cameron, Nikora, & Stewart, 2017). Particularly, students in developing countries do not always have easy access to physical laboratory models for the appropriation of concepts associated with flow in open channels. Therefore, concepts such as the hydraulic total energy line, the specific energy, the wetted perimeter, and the hydraulic radius are often confused or not sufficiently understood when referring to a real-world situation (Woods, 1994, Mirauda, Capece, & Erra, 2020).

Considering that the hydraulic section of an open channel depends fundamentally on the relationships between roughness, flow type, fluid velocity, and flow rates through iterative processes, the preparation of a numerical solution in conventional spreadsheets is often not sufficient for long-term concept appropriation. Thus, conventional pedagogy results in restrictions on students' imaginations and inadequate training for the development of practical skills; also, it tend to work within the boundaries of computers instead of taking advantage of more modern learning environments (Khan & Chiang, 2014, Buck, McInnis, & Randolph, 2013, Jou, Lin, & Tsai, 2016, Drumea, 2012).

For hydraulic engineering education, problem-based learning (PBL) is considered an ideal learning strategy as it encourages students to take a multidisciplinary approach to the basic sciences by applying numerical methods and strengthening their skills and confidence in handling new problems (Kai, Lam, Zou, & Quiang, 2018)). Consequently, the PBL methodology began to be considered a crucial key for modern engineering practice and became a central theme of development for engineering education since the end of the XX century (Woods, 1994, Mirauda, Capece, & Erra, 2020). In this context, the implementation of numerical methods in cloud web applications have become relevant as innovative elements

in the education of civil engineering students in developing countries (Woods, 1994, Mirauda, Capece, & Erra, 2020, Drumea, 2012).

Since 1990, the advance of wireless technologies has experienced a significant expansion in both developed and developing countries. This increase took place from the first generation of mobile telephony (analogous) to the fourth generation (digital). Currently, 5th generation mobile telephony is in its implementation stage. This advance has allowed the development of cellphones, tablets, and other smart devices of higher performance in terms of memory and processing capacity (Buck, McInnis, & Randolph, 2013, Jou, Lin, & Tsai, 2016). In the same way, this technology has contributed to the elaboration of mobile apps in commercial, environmental, industrial, medical, and educational fields (Chaudry, 2008, Mirauda, Capece, & Erra, 2020, Buck, McInnis, & Randolph, 2013, Drumea, 2012).

The increasing popularity of smart mobile devices means that many students are already familiar with their use and features (Mirauda, Capece, & Erra, 2020, Hsu, Rice, & Dawley, 2012). Hence, there is an expected positive impact that the use of mobile devices for teaching hydraulics and other areas in civil engineering have on the motivation and effectiveness of learning within developing countries.

It is worth highlighting that there are some key aspects in educational software development to be considered, such as accessibility, simplicity, the building of high-quality documents where key concepts are synthesized, and lower cost for licensing (Marusic & Hutchins, 2008); and commercial educational software is expensive and of limited access to part of the population. Hence, free or open-source software is a better option for educational purposes in open channels since they allow users to implement their own needed software and generate new possibilities for content, mobility, and understanding (Monty, Hutchins, Ng, Marusic, & Chong, 2009, Roy, Buffin-Belanger, Lamarre, & Kirkbride, 2004, Mirauda, Capece, & Erra, 2020).

This work shows the development of a mobile

application in Android for the analysis and design of open channels with the incorporation of a Newton-Raphson numerical solution for different geometries. Unlike the examples presented in a conventional channel hydraulics class, the application presents a wide range of examples that promote interest in the subject and act as a complementary resource to conventional education through texts, graphic aids, and friendly graphic environments (Mirauda, Capece, & Erra, 2020, Jou, Lin, & Tsai, 2016, Hsu, Rice, & Dawley, 2012). The mobile app has been downloaded by engineering students in Latin-American countries, which suggests the positive acceptance of this tool as a complement to university education on this topic.

App Development

PBM learning approach seeks that students understand the application of concepts in real-problem civil-engineering situations. Open channels of trapezoidal or circular sections are widely used in geotechnical work (e.g. surface drainage works slope stabilization), highway projects, and hydraulic

projects for flood mitigation and flow control. Then, Newton-Raphson formulation of the problem for hydraulic design optimization is applicable to any of the scenarios described.

Basic Problem

In a prismatic channel subjected to atmospheric pressure, uniform flow conditions can be established if the depth, wet area, and flow speed remain constant. That is, the slope of the bottom channel, the slope of the water surface, and the energy line are parallel; and the component of the gravitational force parallel to the flow in any laminar layer is balanced by the frictional force for a uniform laminar flow (Chaudry, 2008, Cameron, Nikora, & Stewart, 2017). The equation that governs the flow behavior in open channels is represented by Chézy's equation, developed by Irish engineer Robert Manning (Chaudry, 2008, Woods, 1994, Mirauda, Capece, & Erra, 2020). This empirical development is based on the channel roughness, flow speed, water depth, and bottom slope.

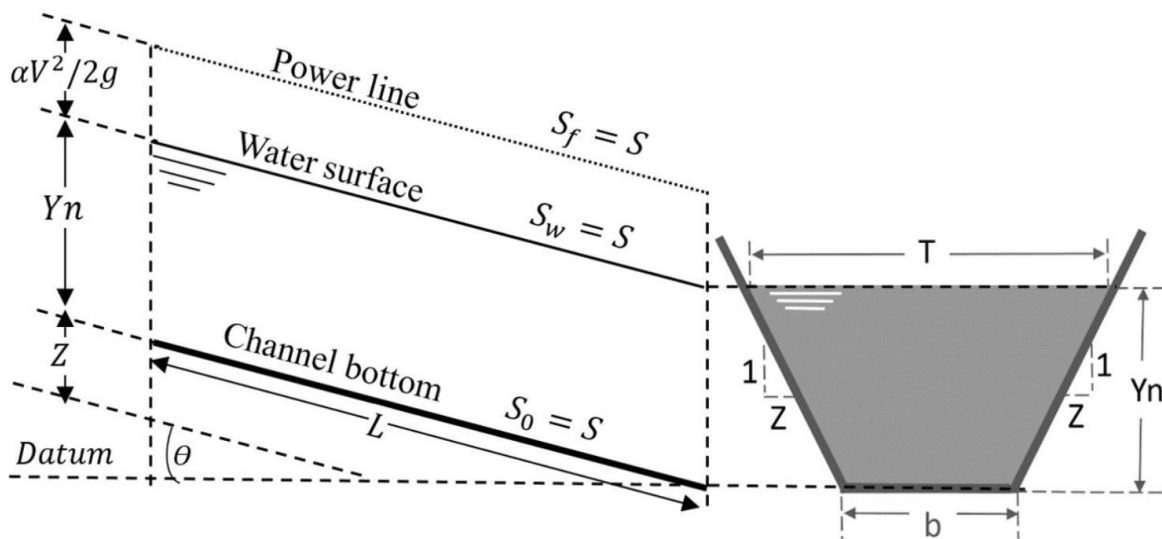


Figure 1. Uniform Flow diagram (trapezoidal channel)

Source: Authors.

Equation (1) shows Chezy's equation using SI units (Chaudry, 2008):

$$f(Y_n) = A^{5/3}P^{-2/3} - QnS^{-1/2} = 0 \quad (1)$$

Where, Q : Flow (m^3/s); n : Manning roughness coefficient; A : Hydraulic area (m^2); P : wet perimeter (m); R : Hydraulic ratio (m); and S : Slope (m/m).

In derivative form, equation (1) can be expressed as:

$$f'(Y_n) = A^{5/3} \left[\frac{-2}{3} \right] P^{-5/3} \left[\frac{dP}{dY_n} \right] + P^{-2/3} \left[\frac{5}{3} \right] A^{2/3} \left[\frac{dA}{dY_n} \right] \quad (2)$$

And the Newton-Raphson formulation would be (equation 3):

$$f'(Y_n) = A^{5/3} \left[\frac{-2}{3} \right] P^{-5/3} \left[\frac{dP}{dY_n} \right] + P^{-2/3} \left[\frac{5}{3} \right] A^{2/3} \left[\frac{dA}{dY_n} \right] \quad (3)$$

Development of Numerical Solution

Based on iterative and incremental processes, three stages of the solution were developed for the numerical formulation within the app. In the first stage, a flow diagram was developed for each of the hydraulic sections by using an iterative process. In the second stage, the source code was developed for Android platforms using JavaScript as it is open source and Androidis based on object-oriented programming language. Finally, the third stage consisted of validating the app code by comparing its results against those calculated by other programs and exercises proposed in Hydraulics books (Chaudry, 2008). The flow chart for the user interface is presented in Figure 2. The flow of activities varies depending on the selected hydraulic section.

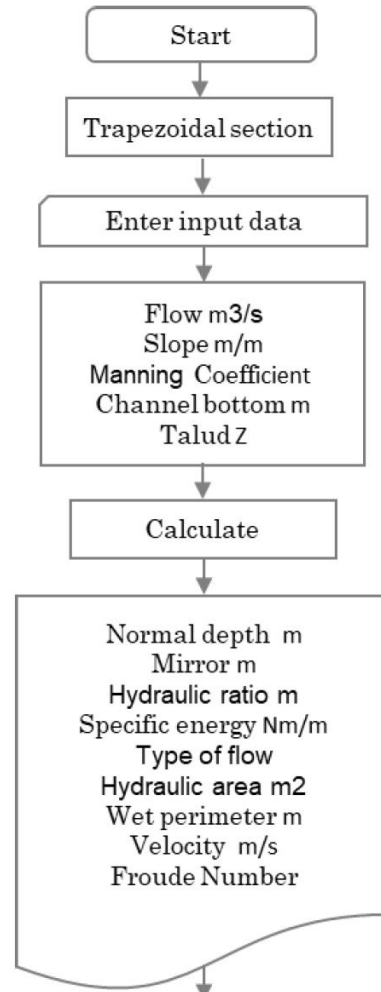


Figure 2. Flow diagram of user interface App (trapezoidal channel)

Source: Authors.

According to the Newton-Raphson method, the probability of divergence increases significantly if the initial value is zero or presents different inflection points. To overcome this anomaly, a method is suggested to obtain a regression of dependent and independent variables for the initial value (seed value). In the case of trapezoidal channels, a potential expression was obtained for the normal depth as a function of the flow rate, which guarantees that the method will reach convergence, regardless of the initial value moving away or being close to zero. The relative error between successive

approximations in this scenario is 0.000001 meters. Figure 3 shows the algorithm used to program the solution for the trapezoidal channel. A similar formulation was implemented for the circular section.

App Formulation and Validation

The development of the mobile application is presented below in detail for trapezoidal and circular channels, along with the Newton-Raphson type solution. The graphic aspects of data input, analysis, and output of the application in the Android environment are also presented.

Trapezoidal Channel

The first screen presents a menu showing different variables. The algorithm calculates the normal depth, hydraulic radius, specific energy, flow type, hydraulic area, wet perimeter, flow velocity, and

Froude number for each of the hydraulic sections. In order to validate the app calculations, determining the normal depth for a symmetric trapezoidal channel is suggested (Figure 4), which will be done through three different methodologies (Newton-Raphson app, Goal Seek tool in Excel®, and the software Hcanales®).

The channel presents the following hydraulic conditions:

Table I. Trapezoidal channel input data

Parameter	Value
Flow (m ³ /s):	4,5
Slope (m/m):	0,00025
Manning Coefficient:	0,015
Channel bottom (m):	2,5
Talud (Z):	3

Source: Authors.

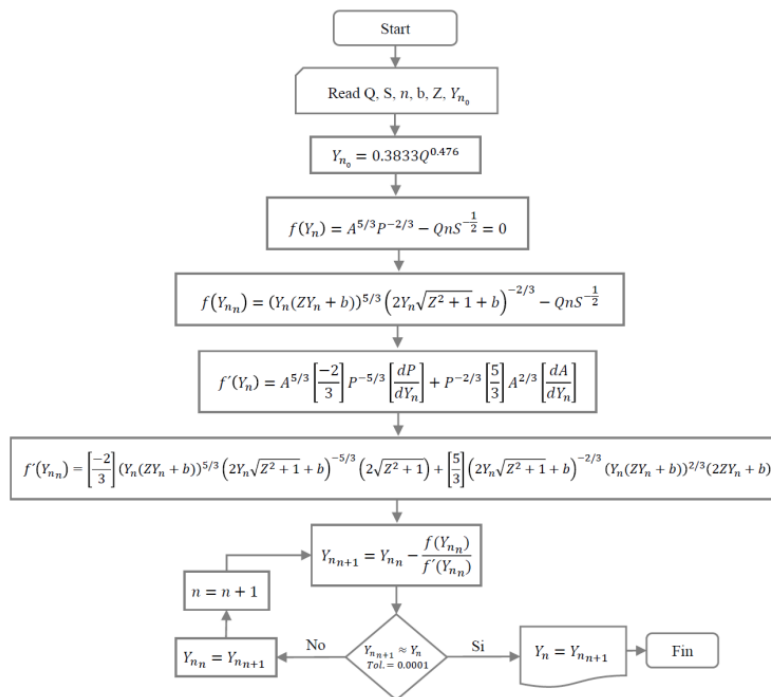


Figure 3. Normal depth calculating flow chart (trapezoidal channel)

Source: Authors.

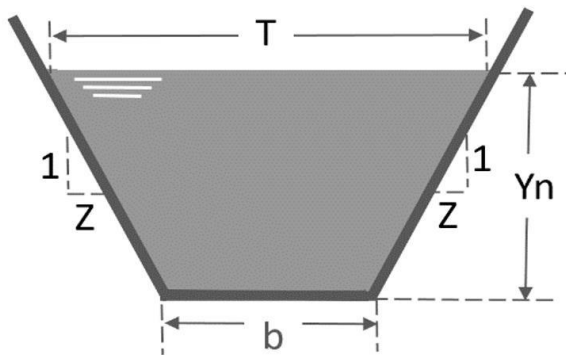


Figure 4. Trapezoidal channel

Source: Authors.

Hydraulic area:

$$A = Y_n(ZY_n + b) \quad (4)$$

Wet perimeter:

$$P = 2Y_n\sqrt{Z^2 + 1} + b \quad (5)$$

Hydraulic ratio:

$$R = \frac{Y_n(ZY_n + b)}{Y_n\sqrt{Z^2 + 1} + b} \quad (6)$$

Mirror:

$$T = 2ZY_n + b \quad (7)$$

Specific energy:

$$Ee = Y_n + \frac{V^2}{2g} \quad (8)$$

Applying Manning equation under the uniform flow assumption (equations (1), (2) and (3)), we have the variables expressed in derivative form as follows:

Hydraulic area:

$$\frac{dA}{dY_n} = 2ZY_n + b \quad (9)$$

Wet perimeter:

$$\frac{dP}{dY_n} = 2\sqrt{Z^2 + 1} \quad (10)$$

Newton-Raphson approximation:

$$f(Y_{n_n}) = \left(Y_n(ZY_n + b) \right)^{5/3} \left(2Y_n\sqrt{Z^2 + 1} + b \right)^{-2/3} - QnS^{-1/2} \quad (11)$$

Normal depth:

$$f'(Y_{n_n}) = \left[-\frac{2}{3} \right] \left(Y_n(ZY_n + b) \right)^{5/3} \left(2Y_n\sqrt{Z^2 + 1} + b \right)^{-5/3} + \left[\frac{5}{3} \right] \left(2Y_n\sqrt{Z^2 + 1} + b \right)^{-2/3} \left(Y_n(ZY_n + b) \right)^{2/3} (2ZY_n + b) \quad (12)$$

Table II. Normal depth calculation (Excel, Newton-Raphson), (trapezoidal channel)

Iter	$Y_{n_{n+1}}$	Area (m ²)	P (m)	dA/dy	dP/dy	f(Yn)	f'(Yn)	Newton- Raphson
1	0,7842743	3,805944	7,46019	7.2056	6.3246	-1.8391	6.29428	1,076457865
2	1.0764579	6,167429	9,30812	8.95875	6.3246	0.4183	9.22484	1,031109726
3	1.0311097	5,767336	9,02131	8.68666	6.3246	0.0109	8.74376	1,029858087
4	1.0298581	5,756468	9,01339	8.67915	6.3246	0.0000	8.73061	1,029857145
5	1.0298571	5,75646	9,01339	8.67914	6.3246	0.0000	8.73060	1,0299

Source: Authors.

Table III. Results comparison Y_n , (trapezoidal channel)

Parameter	Excel		HCanales (Software)	Android app (JavaScript)
	Goal Seek	Newton Raphson		
Normal depth (m):	1,0299	1,0299	1,0299	1,0299
Mirror (m):	8,6791	8,6791	8,6791	8,6791
Hydraulic ratio (m):	0,6387	0,6387	0,6387	0,6387
Specific energy (Nm/N):	1,0610	1,0610	1,0610	1,0610
Hydraulic area (m ²):	5,7565	5,7565	5,7565	5,7565
Perimeter (m):	9,0134	9,0134	9,0134	9,0134
Velocity (m/s):	0,7817	0,7817	0,7817	0,7871
Froude number:	0,3065	0,3065	0,3065	0,3065
Type of flow:	Subcritical	Subcritical	Subcritical	Subcritical

Source: Authors.

In the symmetric trapezoidal channel case, a potential model for the normal depth as a function of the flow rate for the initial value (seed value) was obtained, so it is guaranteed that the method will reach convergence, regardless of whether the initial value moves away or stays close to zero (equation (13)).

$$(Y_n) = 0,3833 Q^{0,476} \quad (13)$$

Where, Q : Flow (m³/s); Y : Normal depth (meters).

The comparison of the results obtained by three different methodologies are shown in Table III. It is possible to see that the calculations from the Android app have a high degree of precision for normal depth calculation in prismatic channels.

Asymmetric trapezoidal channel

To estimate the capacity of Android app has to calculating the normal depth from the paradigm proposed by Manning, a symmetric trapezoidal channel that presents the following hydraulic conditions is proposed:

Table IV. Results comparison Y_n , (trapezoidal channel)

Parameter	Value
Flow (m ³ /s):	12,55
Slope (m/m):	0,00015
Manning Coefficient:	0,015
Channel bottom (m):	3,25
Talud (ZA):	1,5
Talud (ZB)	3.5

Source: Authors.

Hydraulic area:

$$A = 0,5(Z_a Y_n^2 + 2bY_n + Z_b Y_n^2) \quad (14)$$

Wet perimeter:

$$P = Y_n \sqrt{Z_a^2 + 1} + b + Y_n \sqrt{Z_b^2 + 1} \quad (15)$$

Hydraulic ratio:

$$R = \frac{0,5(Z_a Y_n^2 + 2bY_n + Z_b Y_n^2)}{Y_n \sqrt{Z_a^2 + 1} + b + Y_n \sqrt{Z_b^2 + 1}} \quad (16)$$

Mirror:

$$T = Z_a Y_n + b + Z_b Y_n \quad (17)$$

Hydraulic area derivative:

$$\frac{dA}{dY_n} = Z_a Y_n + b + Z_b Y_n \quad (18)$$

Wet perimeter derivative:

$$\frac{dP}{dY_n} = \sqrt{Z_a^2 + 1} + \sqrt{Z_b^2 + 1} \quad (19)$$

Newton-Raphson Approximation:

$$f(Y_{nn}) = \left(0,5(Z_a T_n^2 + 2bY_n + Z_b Y_n^2)\right)^{5/3} \left(Y_n \sqrt{Z_a^2 + 1} + b + Y_n \sqrt{Z_b^2 + 1}\right)^{-2/3} - QnS^{-1/2} \quad (20)$$

$$f'(Y_{nn}) = \left[\frac{-2}{3}\right] \left(0,5(Z_a T_n^2 + 2bY_n + Z_b Y_n^2)\right)^{5/3} \left(Y_n \sqrt{Z_a^2 + 1} + b + Y_n \sqrt{Z_b^2 + 1}\right)^{-5/3} \left(\sqrt{Z_a^2 + 1} + \sqrt{Z_b^2 + 1}\right) + \left[\frac{5}{3}\right] \left(Y_n \sqrt{Z_a^2 + 1} + b + Y_n \sqrt{Z_b^2 + 1}\right)^{-2/3} \left(0,5(Z_a T_n^2 + 2bY_n + Z_b Y_n^2)\right)^{2/3} (Z_a Y_n + b + Z_b Y_n) \quad (21)$$

```
Sub Calculo_Yn_Trapezoidal()
```

```
' Calcula la profundidad normal para la seccion trapezoidal
```

```
Range("d18").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("l16")
```

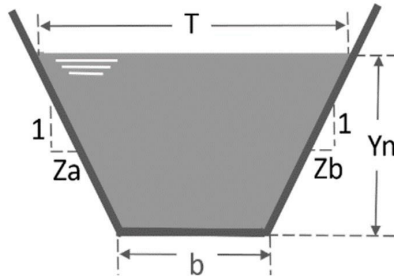
Figure 5. Visual Code (Excel). Calculation iteration for Yn (symmetric trapezoidal channel)

Source: Authors.



Figure 6. Trapezoidal channel (Android app's normal depth solution)

Source: Authors.



A potential model for the normal depth in an asymmetric trapezoidal channel as a function of the flow rate for the initial value (seed value) was obtained. This guarantees the convergence of the method, regardless of whether the initial value moves away or approaches zero.

$$f(Y_n) = 0,3167 Q^{0,4967} \quad (22)$$

Figure 7. Asymmetric trapezoidal channel
Source: Authors.

Table V. Normal depth calculation (Excel, Newton-Raphson), (asymmetric trapezoidal channel)

Iter.	Y_{n+1}	Area (m ²)	P (m)	dA/dy	dP/dy	f(Yn)	f'(Yn)	Newton Raphson
1	1,11261	6,71077	9,3057679	8,813	5,443	-9,9740	9.707712	2.140040673
2	2,14004	18,4045	14,897879	13,95	5,443	5,8192	21.607852	1.870729808
3	1,87073	14,8289	13,432065	12,6	5,443	0,4695	18.159268	1.844877609
4	1,84488	14,5047	13,291356	12,47	5,443	0,0041	17.840216	1.844646183
5	1,84465	14,5019	13,290097	12,47	5,443	0,0000	17.837369	1.8446

Source: Authors.

Table VI. Y_n results comparison (asymmetric trapezoidal channel)

Parameter	Excel		Android App (JavaScript)
	Goal Seek	Newton Raphson	
Normal depth (m):	1,8446	1,8446	1,8446
Mirror (m):	12,4732	12,4732	12,4732
Hydraulic ratio (m):	1,0912	1,0912	1,0912
Specific energy (Nm/N):	1,8828	1,8828	1,8828
Hydraulic area (m ²):	14,5019	14,5019	14,5019
Perimeter (m):	13,2901	13,2901	13,2901
Velocity (m/s):	0,8654	0,8654	0,8654
Froude Number:	0,2562	0,2562	0,2562
Type of flow:	Subcritical	Subcritical	Subcritical

Source: Authors.

```
Sub Calculo_Yn_Trapezoidal_Asimetrico()
' Calcula la profundidad normal para la seccion trapezoidal
Range("f10").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("l25")
End Sub
```

Figure 8. Visual Code (Excel). Iteration for Yn calculation. (asymmetric trapezoidal channel)

Source: Authors.



Figure 9. Asymmetric trapezoidal channel, (Android app's normal depth solution)

Source: Authors.

Circular channel

The solution for a circular channel was obtained from the ratio of the flow through the pipe and the flow to full pipe, which guarantees that the algorithm developed calculates the independent normal depth whether it is below or above the radius. To evaluate the implementation, the following hydraulic problem is proposed:

Table VII. Circular channel input parameters

Parameter	Value
Flow (m ³ /s):	0,456
Diameter (m):	0,8
Manning Coefficient:	0,012
Slope (m/m):	0,005

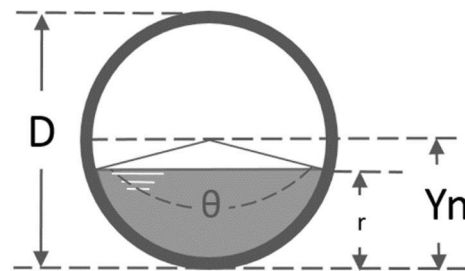


Figure 10. Circular channel

Source: Authors.

Central angle:

$$\theta = 2a \cos \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] \quad (23)$$

Hydraulic area:

$$A = \frac{D^2}{8}(\theta - \sin \sin \theta) \quad (24)$$

Mirror:

$$T = D \sin \sin(\theta/2) \quad (27)$$

Wet perimeter:

$$P = \frac{\theta D}{2} \quad (25)$$

Specific energy:

Hydraulic ratio:

$$R = \frac{D(\theta - \sin \sin \theta)}{4\theta} \quad (26)$$

$$Ee = Y_n + \frac{V^2}{2g} \quad (28)$$

Newton-Raphson approximation depending on the angle:

Function:

$$f(\theta) = \frac{1}{2\pi}(\theta - \sin \sin \theta)^{5/3}\theta^{-2/3} - \frac{Q}{Q_{lleno}} = 0 \quad (29)$$

Derivative:

$$f'(\theta) = \frac{1}{2\pi} \left[(\theta - \sin \sin \theta)^{5/3} \left[\frac{-2}{3} \right] \theta^{-5/3} + \theta^{-2/3} \left[\frac{5}{3} \right] (\theta - \sin \sin \theta)^{2/3} (1 - \cos \cos \theta) \right] \frac{d\theta}{dY_n} \quad (30)$$

Where:

$$\frac{d\theta}{dY_n} = \frac{4/D}{\sqrt{1 - \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right]^2}} \quad (31)$$

$$\theta_{n+1} = \theta_n - \frac{f(\theta_n)}{f'(\theta_n)} \quad (32)$$

$$\theta_{n+1} = \theta_n - \frac{\frac{1}{2\pi}(\theta - \sin \sin \theta)^{5/3}\theta^{-2/3} - \frac{Q}{Q_{lleno}}}{\frac{1}{2\pi} \left[(\theta - \sin \sin \theta)^{5/3} \left[\frac{-2}{3} \right] \theta^{-5/3} + \theta^{-2/3} \left[\frac{5}{3} \right] (\theta - \sin \sin \theta)^{2/3} (1 - \cos \cos \theta) \right] \frac{d\theta}{dY_n}} \quad (33)$$

Newton-Raphson approximation according to normal depth:

Function:

$$f(Y_{n_n}) = \frac{1}{2\pi} \left(2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] - \sin \sin \left[2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] \right] \right)^{5/3} \left[2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2y_n}{D} \right] \right]^{-2/3} - \frac{Q}{Q_{lleno}} \quad (34)$$

Derivative:

$$f'(Y_{n_n}) = \frac{1}{2\pi} \left[\left(2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] - \sin \sin \left[2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] \right] \right)^{5/3} \left[\frac{-2}{3} \right] \left[2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] \right]^{-5/3} + \left[2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] \right]^{-2/3} \left[\frac{5}{3} \right] \left(2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] - \sin \sin \left[2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] \right) \right)^{2/3} \left(1 - \cos \cos \left\{ 2 \operatorname{acos} \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right] \right\} \right) \right] \frac{4/D}{\sqrt{1 - \left[1 - \frac{2Y_n}{D} \right]^2}} \quad (35)$$

$$Y_{n+1} = Y_{n_n} - \frac{f(Y_{n_n})}{f'(Y_{n_n})} \quad (36)$$

Table VIII. Y_n solution (Excel – Newton-Raphson), (circular channel)

Iter.	Y_{n+1}	θ_{Rad}	$d\theta/dy$	$1 - \cos \theta$	$f(\theta)$	$f'(\theta)$	Newton-Raphson
1	0.40000	3,14159265	5.00000	2.00000	0.049836	2,12206591	0,3765155693
2	0.37652	3,02410294	5.00864	1.99311	0.000446	2,08158268	0,3763010814
3	0.37630	3,02302863	5.008799	1.99298	0.000000	2,08114542	0,3763010589
4	0.37630	3,02302851	5.008799	1.99298	0.000000	2,08114537	0,3763010589
5	0.37630	3,02302851	5.008799	1.99298	0.000000	2,0811454	0,3763

Source: Authors

```
Sub Calculo_Yn_Circular()
' Calcula la profundidad normal para la sección circular
Range("r32").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("z31")
End Sub
```

Figure 11. Visual code (Excel). Iteration for Y_n calculation

Source: Authors.

The graph in Figure 12 was constructed from the section factor for uniform flow.

$$AR^{2/3} = nQS^{-0.5} \quad (37)$$

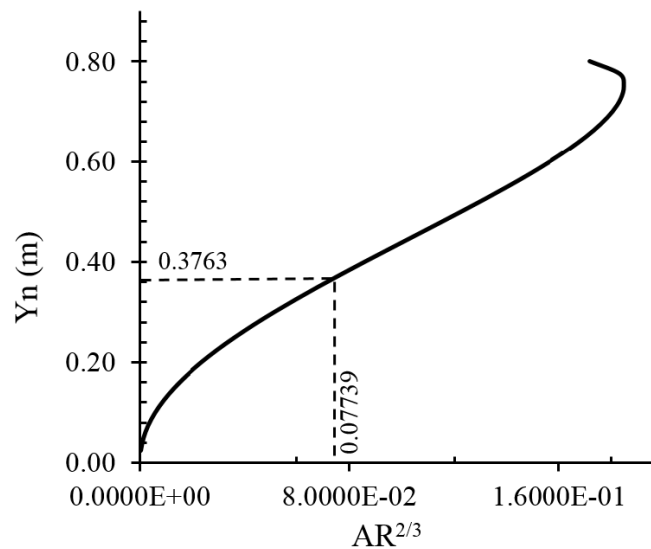


Figure 12. Circular pipe, (graphic solution)

Source: Authors.



Figure 13. Circular channel (app's normal depth calculation)

Source: Authors.

Table IX. Y_n results comparison, (circular channel)

Parameter	Excel		HCanales (Software)	Android app (JavaScript)
	Goal Seek	Newton-Raphson		
Normal depth (m):	0,3763	0,3763	0,3763	0,3763
Mirror (m):	0,7986	0,7986	0,7986	0,7986
Hydraulic ratio (m):	0,1922	0,1922	0,1922	0,1922
Specific energy (Nm/N):	0,5726	0,5726	0,5726	0,5726
Hydraulic area (m ²):	0,2324	0,2324	0,2324	0,2324
Perimeter (m):	1,2092	1,2092	1,2092	1,2092
Velocity (m/s):	1,9623	1,9623	1,9623	1,9623
Froude Number:	1,1614	1,1614	1,1614	1,1614
Type of flow:	Supercritical	Supercritical	Supercritical	Supercritical

Source: Authors.

Table X. Results comparison - Exercise 2.7, "Hidráulica de canales"

Book	Exercise	Input parameters	Output parameters	Book	Application
(Sotelo, 2002)	2.7 (Pg. 127)	Flow (m ³ /s): 2.6	Normal depth (m):	1,50	1,4996
		Diameter (m): 2	Velocity (m/s):	1,0290	1,0290
		Manning Coef: 0.013	Froude Number:	0,2720	0,2720
		Slope (m/m): 0.000351	Type of flow:	Subcritical	Subcritical

Source: Authors.

Table XI. Results comparison - Exercise 6.2, “Hidráulica de canales abiertos”

Book	Exercise	Input parameters	Output parameters	Book	Application
(Chow, 2004)	6.2 (Pg. 138)	Flow (m ³ /s): 11.32674	Normal depth (m):	1,0241	1,0245
		Diameter (m): 6.0960	Velocity (m/s):	1,3574	1,3575
		Manning Coef: 0.025	Froude Number:	0,4790	0,4790
		Talud (Z): 2	Specif. Energy (Nm/m):	1,1184	1,1184
		Slope (m/m): 0.0016	Type of flow:	Subcritical	Subcritical

Source: Authors.

Table XII. Results comparison - Exercise 6.3, “Hidráulica de canales abiertos”

Book	Exercise	Input parameters	Output parameters	Book	Application
(Chow, 2004)	6.3 (Pg. 139)	Flow (m ³ /s):	Normal depth (m):	0,6583	0,6566
		Diameter (m):	Velocity (m/s):	1,1190	1,1221
		(Pg. 139) Manning Coef:	Froude Number:	0,4551	0,4575
		Slope (m/m):	Type of flow:	Subcritica l	Subcritical

Source: Authors.



Figure 14. Exercise 2.7, Hidráulica de canales, Gilberto Sotelo (app’s normal depth calculation)

Source: Authors.



Figure 15. Exercise 6.2, Hidráulica de canales abiertos, Ven Te Chow (app's normal depth calculation)

Source: Authors.



Figure 16. Exercise 6.3, Hidráulica de canales abiertos, Ven Te Chow (app's normal depth calculation)

Source: Authors.

Finally, the calculations made by the app were evaluated using exercises proposed in different Hydraulics books (Chaudry, 2008) and their respective solutions to confirm the accuracy of the app. The results are presented in Tables X, XI, and XII. Likewise, the results calculated by the app are shown in Figures 14, 15, and 16.

App Impact from Google Play Store

App Hydroelm has had over 7000 downloads over a period of 10 months since it was released in the Google Play Store. A follow up shows that the downloads have occurred mainly in Central and South American countries (Peru 40 %, Colombia 20 %, Guatemala 20 %, and Honduras 20 %). Within the percentage of downloads in each country, more than 80 % correspond to college students (Peru 86 %, Colombia 92 %, Guatemala 81 %, and Honduras 88 %). The rating of the app exceeds 4.5 points; this value constitutes an indirect indication of the positive impact the tool has had in strengthening the learning of this subject in engineering students from developing countries. Although the motivation of the assessment is not clear, it is possible to infer that the app constitutes a useful tool in the educational environment, either to corroborate results of manual calculation exercises or electronic sheets by students. It is also a reflection of the impact of using digital media on smartphones for the appropriation of knowledge in a modern education practice on topics in civil engineering.

CONCLUSIONS

The algorithm implemented for the app "HydroEolm Hydraulic Channel Design" avoids the use of nomograms and optimizes the calculation process for the normal depth and other hydraulic parameters in open channels. The assessment of the results shows the accuracy of the calculations for various hydraulic sections and confirms the reliability of the tool for process designing.

The app indicates an accuracy of 10^{-6} meters for the calculations. This is a good result compared to other methods like electronic sheets. Thus, the app's effectiveness for solving hydraulics problems for prismatic channels is demonstrated. This was validated by comparing the results in the app against the results obtained from three different methodologies (Goal Seek, Newton-Raphson, and Hcanales®). For future developments it will be possible to include an integration with web and mobile interfaces for a massive diffusion.

From the number of downloads of the app within developing countries, it is possible to infer the wide acceptance specialized public has towards this tool, probably due to its contribution to explaining concepts and its usability in the educational field.

REFERENCES




- [Buck, McInnis, & Randallph, 2013] Buck, J., McInnis, E., & Randallph, C. (2013). The new frontier of education: the impact of smartphone technology in the classroom. Proceedings of the 2013 ASEE Southeastern Section Conference 10-12 March 2013. Cookeville: ASEE. ↑Ver página 55
- [Cameron, Nikora, & Stewart, 2017] Cameron, S., Nikora, V., & Stewart, M. (2017). Very-large-scale motions in rough-bed open-channel flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 814, 416-429. <https://doi.org/10.1017/jfm.2017.24> ↑Ver página 54, 55, 56
- [Chaudry, 2008] Chaudry, J. (2008). *Open Channel Flow*. New Jersey: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68648-6> ↑Ver página 54, 55, 56, 57, 69
- [Chow, 2004] Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de Canales Abiertos*. (J. Saldarriaga, Trad.) Bogotá: Mc Graw Hill. ↑Ver página 67
- [Drumea, 2012] Drumea, A. (2012). Education in development of electronic modules using free and open source software tools. *Hidráulica*, 3(4), 51-57. ↑Ver página 55

- [Hsu, Rice, & Dawley, 2012] Hsu, Y., Rice, K., & Dawley, L. (2012). Empowering educators with Google's Android App Inventor: An online workshop in mobile app design. *British Journal of Educational Technology*, 43(1). <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2011.01241.x> ↑Ver página 55, 56
- [Jou, Lin, & Tsai, 2016] Jou, M., Lin, Y., & Tsai, H. (2016). Mobile APP for motivation to learning: an engineering case. *Interactive Learning Environments*, 24(8), 2048-2057. <https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1075136> ↑Ver página 55, 56
- [Kai, Lam, Zou, & Quiang, 2018] Kai, H., Lam, N., Zou, L., & Quiang, Y. (2018). Modeling the dynamics of community resilience to coastal hazards using a bayesian network. *Annals of the American Association of Geographers*, 108(5), 1260-1279. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1421896> ↑Ver página 55
- [Khan & Chiang, 2014] Khan, M., & Chiang, J. (2014). Using mobile devices & social media in supporting engineering education. 2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)(págs. 1077-1081). Istanbul: IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2014.6826241> ↑Ver página 55
- [Marusic & Hutchins, 2008] Marusic, I., & Hutchins, N. (julio de 2008). Study of the log-layer structure in wall turbulence over a very large range of reynolds number. *Flow, Turbulence and Combustion*, 81(1-2), 115-130. <https://doi.org/10.1007/s10494-007-9116-0> ↑Ver página 54, 55
- [Mirauda, Capece, & Erra, 2020] Mirauda, D., Capece, N., & Erra, U. (2020). Sustainable water management: Virtual reality training for open-channel flow monitoring. *Sustainability*, 12(3), 757. <https://doi.org/10.3390/su12030757> ↑Ver página 55, 56
- [Monty, Hutchins, Ng, Marusic, & Chong, 2009] Monty, J., Hutchins, N., Ng, H., Marusic, I., & Chong, M. (2009). A comparison of turbulent pipe, channel and boundary layer flows. *Journal of fluid mechanics*, 632, 431- 442. <https://doi.org/10.1017/S0022112009007423> ↑Ver página 54, 55
- [Roy, Buffin-Belanger, Lamarre, & Kirkbride, 2004] Roy, A., Buffin-Belanger, T., Lamarre, H., & Kirkbride, A. (2004). Size, shape and dynamics of large-scale turbulent flow structures in a gravel-bed-river. *Journal of Fluid Mechanics*, 500(500), 1-27. <https://doi.org/10.1017/S0022112003006396> ↑Ver página 54, 55
- [Sotelo, 2002] Sotelo, G. (2002). *Hidráulica de Canales*. México: UNAM Facultad de Ingeniería. ↑Ver página 66
- [Woods, 1994] Woods, R. (1994). Issues in implementation in an otherwise conventional programme. En *The challenge of problem-based learning* (págs. 173-180). London: G. I. Boud, D. & Feletti. ↑Ver página 55, 56



Design of an Impact Attenuator Using Alternative Material

Diseño de un atenuador de impacto utilizando un material alternativo

Edgar Vicente Rojas Reinoso ¹, Vicente Javier Romero Hidalgo ², Johnny Marcelo Pancha Ramos ³ & Jorge Mauricio Néjer Guerreo ⁴

Fecha de Recepción: 18 de Mayo de 2020

Fecha de Aceptación: 3 de noviembre de 2020

Cómo citar: Rojas-Reinoso., E.V. Romero-Hidalgo., V.J. Pancha-Ramos., J.M. y Néjer-Guerreo., J.M. (2021). Design of an Impact Attenuator Using Alternative Material. *Tecnura*, 25(67), 71-85. <https://doi.org/10.14483/22487638.15588>

Resumen

Objetivo: El presente trabajo muestra el diseño y simulación de un atenuador de impacto delantero a escala para un vehículo tipo sedán, para lo cual se realizó el modelado en el software SolidWorks y la simulación a través del software Ansys Workbench con el fin de analizar el comportamiento y absorción de energía del componente durante el impacto. Por último, se realizó la impresión del atenuador de impacto a escala para validar el modelo.

Metodología: En este trabajo se presenta el diseño y simulación especializada mediante modelado de elementos finitos para un problema de deformación plana de un atenuador de impacto en estado de deformación. Se realizó la simulación de impacto frontal en el módulo Explicit Dynamics del software Ansys Workbench empleando dos tipos materiales; uno es el PP-GF45 que viene originalmente en el vehículo Chevrolet Optra 1.8 tipo sedán y el otro material es el PLA-CF30. Se tomó

como referencia los ensayos realizados por la Latin NCAP y la norma de colisiones UN R94 en que se rigen esta compañía para la aprobación de vehículos respecto a seguridad en Latinoamérica. Luego se complementó el estudio con los ensayos de impacto Charpy hechos en el laboratorio de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo según la normativa ASTM D6110-04 . para ello, fue necesario extraer cinco probetas por cada material.

Resultados: En el análisis de los resultados se evaluó la ligereza, deformación, esfuerzos y absorción de energía. Los resultados obtenidos por medio del software y el ensayo de impacto Charpy en el laboratorio de la absorción de energía tienen una relación coherente entre los dos materiales por lo que nos da certeza de que los resultados encontrados son confiables.

Conclusiones: Mediante la simulación del impacto frontal en el módulo de Explicit Dynamics del software Ansys Workbench se pudo evaluar el

¹Automotive Engineer, Master in Automotive Systems, Research Professor at the Salesian Polytechnic University. Quito, Ecuador. Correo electrónico: erojas@ups.edu.ec

²Automotive Engineer, Master's Degree in Mechanical Engineering, Researcher at the University of Castilla La Mancha. Toledo, Spain. Correo electrónico: Vicente.Romero1@alu.uclm.es

³Automotive Engineer, Magister in Automotive Systems, Occasional Teacher at Chimborazo Higher Polytechnic School. Riobamba, Ecuador. Correo electrónico: johnny.pancha@esepoch.edu.ec

⁴Electronic Engineer, Magister in Renewable Energies. General Manager Innovaring. Riobamba, Ecuador. Correo electrónico: jorge.nejer@innovaring.com

modelo virtual, simulando las condiciones en la que se da un choque frontal real. Así se determinó que la geometría y el material seleccionado cumplen los requisitos para la implementación en un vehículo.

Financiamiento: Financiamiento propio de los autores.

Palabras clave: Absorción, Atenuador, Energía, Impacto, Simulación

Abstract

Objective: The present work shows the design and simulation of a front-level impact attenuator for a sedan-type vehicle. Its modeling was performed using SolidWorks software and simulation through Ansys Workbench software to analyze the behavior and component energy absorption during impact. Finally, the impact attenuator was scaled to validate the model.

Methodology: This article presents the specialized design and simulation by modeling finite elements with a flat deformation problem of an impact attenuator in a deformation state. The frontal impact simulation was performed on the Explicit Dynamics module of the Ansys Workbench software using two material types: the PP-GF45 that originally comes in the Chevrolet Optra 1.8 sedan type vehicle, and the

PLA-CF30. For testing purposes, the tests conducted out by the Latin NCAP and the UN R94 collision standard were considered as references since the company is governed by the approval of vehicles regarding safety in Latin America. The study was complemented with Charpy impact tests carried out at the laboratory of the Faculty of Mechanics in the Polytechnic School of Chimborazo according to ASTM D6110-04. For this purpose, it was necessary to extract five samples of each material.

Results: During the analysis, characteristics such as lightness, deformation, stress, and energy absorption were evaluated. The results obtained from the software and the Charpy impact test at the laboratory show a coherent relationship between the two materials that attests to the reliability of the results of this research.

Conclusions: It is possible to evaluate the virtual model designed for the purpose of this research by simulating the frontal impact on the Explicit Dynamics module of the Ansys Workbench software. After said evaluation, it is concluded that the design (shape and selected material) meet the requirements for the implementation of a vehicle.

Financing: Authors' own financing.

Keywords: Absorption, Attenuator, Energy, Impact, Simulation.

Table of Contents

INTRODUCTION	73		
METHODOLOGY	73		
Designing the Attenuator	73		
Simulation Phase	73		
Calculating the Impact Force	74		
Calculating the Energy Absorbed at 56 km/h	75		
Calculating the Energy Absorbed at 64 km/h	75		
Simulation	76		
RESULTS	78		
Deformation Results at 56 Km/h (PP-GF45)	78	Deformation Results at 64 Km/h (PP-GF45)	78
		Von Mises Results at 56 Km/h (PP-GF45) . . .	78
		Energy Results at 56 Km/h (PP-GF45)	78
		Energy Results at 64 Km/h (PP-GF45)	81
		Deformation Results at 56 Km/h (PLA-CF30)	81
		Deformation results at 64 km/h (PLA-CF30)	81
		Von Mises Results at 56 Km/h (PLA-CF30)	81
		Von Mises Results at 64 Km/h (PLA-CF30)	81
		Energy Results at 56 Km/h (PLA-CF30) . . .	81
		Energy Results at 64 Km/h (PLA-CF30) . . .	81
		Impact Test	81
		CONCLUSIONS	83

REFERENCES

84

INTRODUCTION

The evolutionary process of cars has gone hand in hand with road safety, especially in terms of driving habits and vehicle safety systems to prevent traffic accidents and minimize occupants' injuries during a collision (Castro Fernández, 2016).

The safety elements of the car are divided into two groups. On the one hand, there is the active safety, which refers to all systems that prevent an accident when the vehicle is incirculation. On the other hand, the passive safety refers to the elements that seek to preserve the lives of the occupants once the accident has been inevitable (Chapra & Canale, 2011).

Impact attenuators are elements located at the front of the vehicle and their function is to absorb as much shock energy as possible. They appeared first in 1970 and have saved many lives since then.

In 1972, there where the first requirements for installing impact attenuators in automobiles. At first, they were made of steel sheets, while today they are made out of polymers that grant less weight to the overall vehicle to meet today's requirement.

METHODOLOGY

The methodology for this research consisted of the following steps: First, an impact attenuator was designed for a sedation-like vehicle using carbon fiber, and a CAD/CAE software was used to analyze the energy absorption capacity during a crash.

Second, crash tests were analyzed as reference for the simulations.

Third, an impact attenuator was designed using the SolidWorks 2017 software.

Fourth, the carbon fiber crash tests were simulated through the ANSYS 18.2 software. With these simulations, the energy absorption capacity was calculated for each of two materials (PP- GF45, the original; and PLA-CF30, the alternative).

Finally, the validation of the model included performing standardized impact tests and comparing them to the results obtained during the simulation.

Designing the Attenuator

Figure 1 shows the process followed to design the attenuator and the complementary components using the SolidWorks 2017 software.

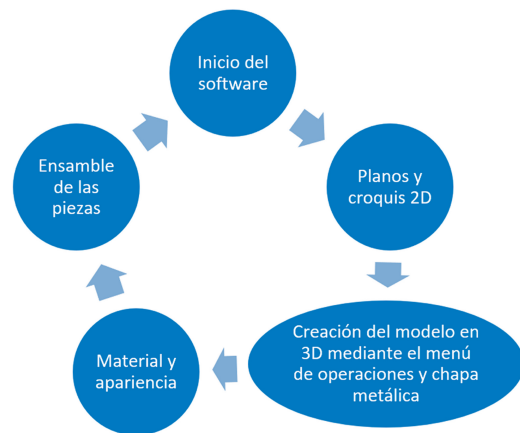


Figure 1. Modeling process

Once the modeling process was finished, the final designed of the attenuator was completed. Figure 2 shows this final design.

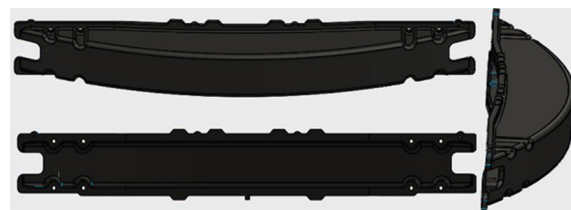


Figure 2. Final design of the impact attenuator

Simulation Phase

Figure 3 shows the process followed to carry out the simulation of the impact attenuator in the Explicit Dynamics module.

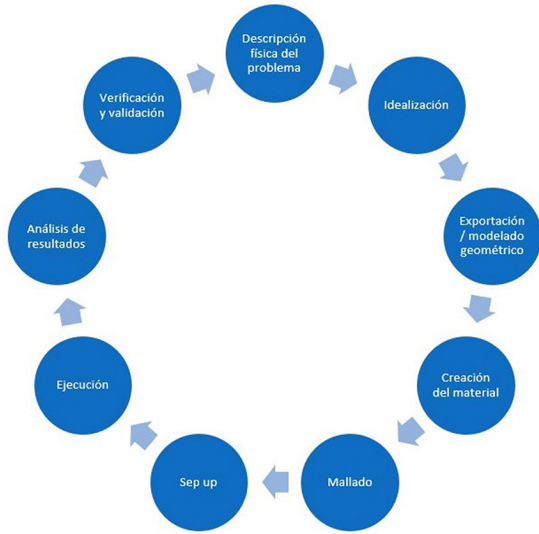


Figure 3. Simulation process

And Table I lists the parameters used for the simulation using PP-GF45.

Table I. Initial conditions for simulation 1

PP-GF45	
Vehicle mass + occupant (kg)	1500
Impact speed 1 (km/h)	56
Impact Force 1 (KN)	59,54
Impact speed 2 (km/h)	64
Impact Force 2 (KN)	77,74
Vehicle Stop Distance (m)	0.305
Severity (m/s ²)	9,81

Source: own work.

Table II shows the parameters used for the simulation using PLA-CF30, according to the specifications found in (Davies, 2012).

Table II. Initial conditions for simulation 2

PLA-CF30	
Vehicle mass + occupant (kg)	1500
Impact Speed 1(km/h)	56
Impact Force 1 (KN)	59,54
Impact Speed 2(km/h)	64
Impact Force 2 (KN)	77,76
Vehicle Stop Distance (m)	0.305
Severity (m/s ²)	9,81

Source: own work.

For the simulation, the UN R94 standard and frontal crash tests carried out by Latin NCAP (Latin NCAP, 2016) were considered as reference.

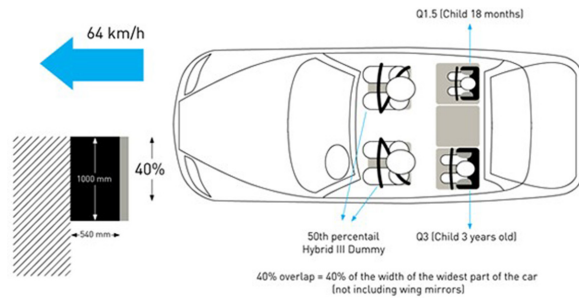


Figure 4. Front impact according to Latin NCAP

Source: Latin NCAP.

The deformable barrier with which the attenuator is impacted is considered a rigid wall since its behavior is irrelevant to our study. [5]

Calculating the Impact Force

To know the impact force with which the vehicle would hit at a speed of 56 km/h, we use equation (1):

$$F_m \cdot d = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Where F_m is the average force of impact; d is the average vehicle stop distance; m is the mass of the

vehicle and its occupant; and v is the speed of the vehicle.

$$F_{m_1} = 595361,31 \text{ N} = 595,4 \text{ kN}$$

The impact force is calculated at a speed of 64 Km/h using equation (1):

$$F_{m_2} = 777369,92 \text{ N} = 777,4 \text{ kN}$$

In order to develop the following calculations, the impact was considered between two vehicles with similar conditions as the Latin NCAP does to perform crash tests to approximate reality. Therefore, the energy absorbed from impact was calculated with the following equations (2), (3) and (4).

$$E_{ci} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2)$$

$$P = m \cdot v \quad (3)$$

$$e = \frac{u_2 - u_1}{v_2 - v_1} \quad (4)$$

Where E_{ci} is the impact kinetic energy (J); P is the amount of movement (Kg·m/s); v_1 is the speed of vehicle 1 before impact (m/s); v_2 is the speed of vehicle 2 before impact (m/s); u_1 is the speed of vehicle 1 after impact (m/s); u_2 is the speed of vehicle 2 after impact (m/s).

To calculate the energy absorbed during impact, an equivalence of equation (3) was made before and after impact since momentum is preserved. For simulation purposes, it was considered a plastic impact so that the return coefficient will be 0 (see Equation (5)). $P_0 = p_f$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 \quad (5)$$

Where: m_1 is the total mass for vehicle 1 (Kg), and m_2 is the total mass for vehicle 2 (Kg). In addition, vehicle 2 at rest and twice as much was considered to simulate a rigid wall.

$$m_1 : m_2 : m_2 m_1$$

In equation (4), we replace the return coefficient value:

$$0 = \frac{u_2 - u_1}{v_2 - v_1}$$

$$u_2 = u_1 = u$$

Finally, we replace u in equation (5):

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot u \quad (6)$$

Calculating the Energy Absorbed at 56 km/h

Replacing values in equation (6):

$$u = 2,59 \text{ m/s}$$

We calculate the kinetic energy before the shock by replacing the values in equation (2)

$$E_{ci_0} = 181585,2 \text{ J}$$

Then, we calculate the kinetic energy after the shock by replacing the values in equation (2)

$$E_{ci_f} = 15093,225 \text{ J}$$

And the energy absorbed is calculated using equation (7)

$$E_{ci_{abs}} = E_{ci_0} - E_{ci_f} \quad (7)$$

$$E_{ci_{abs}} = 166491,98 \text{ J}$$

Calculating the Energy Absorbed at 64 km/h

Replacing values in equation (6):

$$u = 5,92 \text{ m/s}$$

We calculate the kinetic energy before the shock by replacing the values in equation (2)

$$E_{ci_0} = 237096,3 \text{ J}$$

Then we calculate the kinetic energy after the shock by replacing the values in equation (2)

$$E_{ci_f} = 78854,4 \text{ J}$$

And the energy absorbed is calculated using equation (7)

$$E_{ci_{abs}} = 158241,9 \text{ J}$$

The results obtained are summarized in Table III.

Table III. Results

	56 Km/h	64 Km/h
Impact force	595.4 KN	777.4 KN
Kinetic energy before the crash	181585.2 J	237096.3 J
Kinetic energy after the crash	15093,225 J	78854.4 J
Absorbed energy	166491.98 J	158241.9 J

Source: own work.

Simulation

To simulate the impact attenuator in the Explicit Dynamics environment, the model is imported to the IGES extension (surfaces) because it makes it easier to include the thickness value and is more compatible with the software when defining the meshing.

Once the model is exported, we used the SpaceClaim editor to open it, entered the attenuator thickness, and created the deformable barrier

according to the Latin NCAP for front crashes. The created barrier will be simplified as a rigid wall (see Figure 5).

We entered the Engineering Data environment to add the PP-GF45 because it does not exist in the Ansys Workbench Explicit Materials Library. The characteristics of the material required to perform the explicit analysis are shown in Table IV.

Table IV. Material properties PP-GF45

Properties	PP-GF45
Density (kg/m³)	1280
Creep Resistance (MPa)	190
Tangent Module (MPa)	1290

Source: own.

Then we proceeded with the meshing and performed the convergence. To do this, several meshing tests were done to find the most suitable for our analysis. Considering that processing time and mesh quality approach a value of 1 when using the Jacobian Ratio option to validate the model and obtain reliable results.

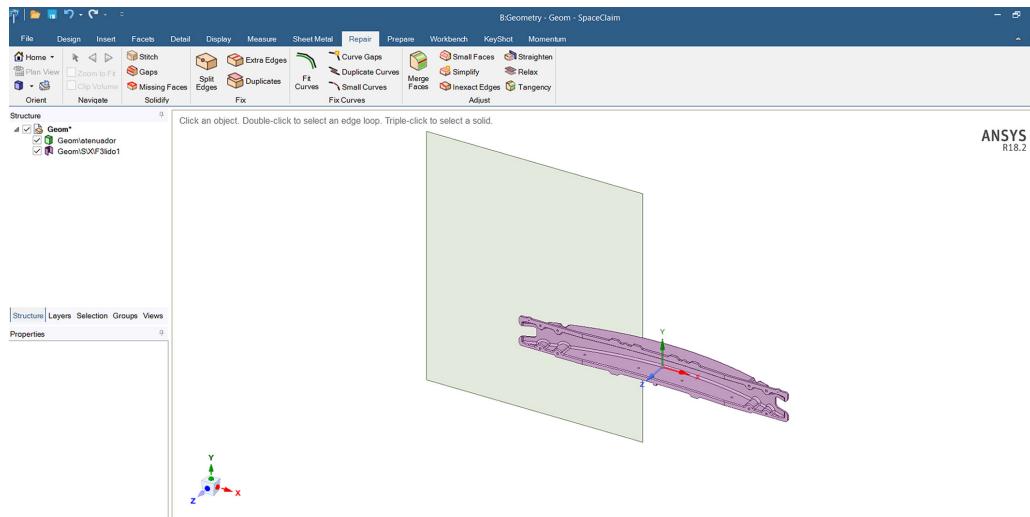


Figure 5. Creating the Barrier in SpaceClaim

Source: Own.

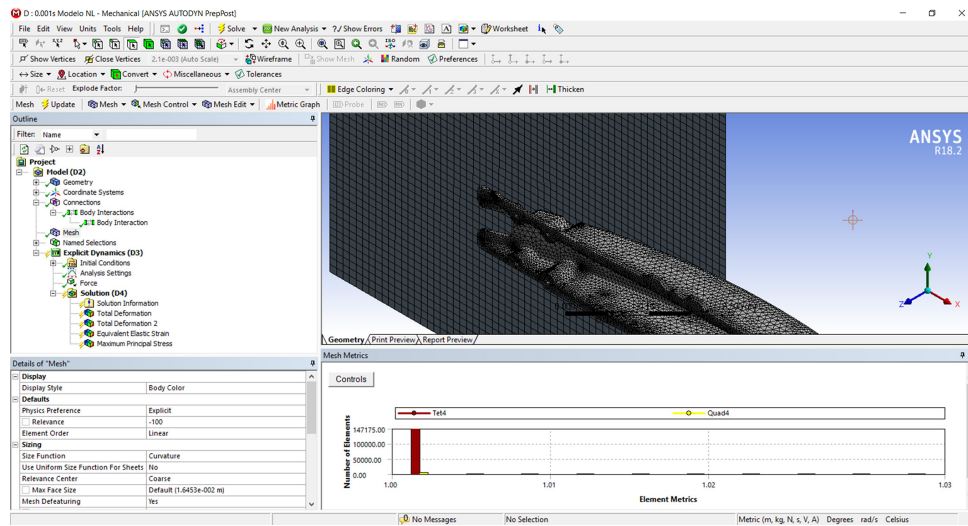


Figure 6. Mesh convergence

Source: Own.

Once the proper meshing is selected, we defined the attenuator anchors in the holes where the clamping bolts go because the highest concentration of stress will be found on those points.

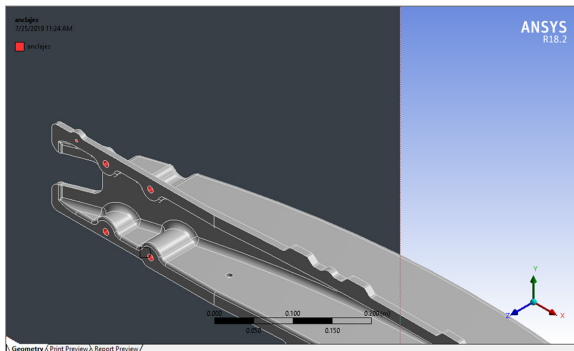


Figure 7. Anchor points

Source: Own.

Then, the impact speed was set with values of 56 Km/h and 64 Km/h, respectively, as the initial conditions of the two simulation cases. In Analysis Settings, we selected "High Speed" because the Explicit Dynamics module considers speeds higher than 10 Km/h as "high."

This settings were also included in Ansys for the corresponding simulation time, based on various

tests performed at 0.002 seconds with a several test cycles. We also worked with the AUTODYN Standard Hourglass model, which is the most appropriate for the model to be tested because this option allows us to simulate a scenario in which the impact energy deformation of the attenuator without causing rebound.

To define the areas of distribution of the impact force, the surfaces in contact with the body supports will be taken into account since they would be the first to undergo the impact.

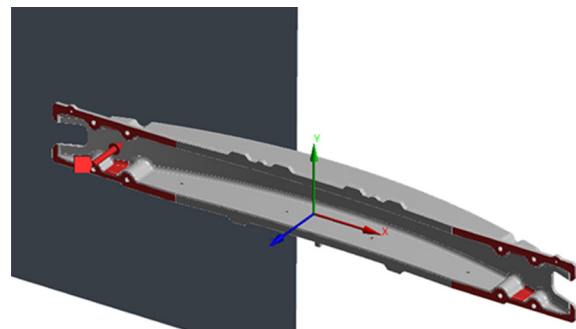


Figure 8. Distribution of impact forces

Source: Own.

We entered the two impact units calculated in the previous section of 595.4 KN and 777.6 KN.

RESULTS

To obtain the results for this research, the following parameters were considered according to the conditions described: speed, impact force, material properties, and attenuator behavior.

Deformation Results at 56 Km/h (PP-GF45)

As shown in Figure 9, the impact attenuator has a minimum deformation of 106.77 mm and a maximum of 900.98 mm. The part that suffers the most deformation is the area around the anchors.

Deformation Results at 64 Km/h (PP-GF45)

Figure 10 shows that the minimum deformation for PP-GF45 is 153.39 mm and the maximum

deformation is 1038.9 mm. As in the section above, the most deformed area is around the anchors.

Von Mises Results at 56 Km/h (PP-GF45)

As shown in Figure 11, the maximum effort is 1.045 GPa and the minimum is 0.010 GPa. The highest concentration of stress occurs around the anchors.

Energy Results at 56 Km/h (PP-GF45)

In Figure 12, the purple line represents the energy of the impact attenuator, and the cyan is the energy of the rigid wall. The intersection of the two lines represents the moment when the attenuator hits the rigid wall and begins to undergo physical changes.

The energy absorbed by the impact attenuator has a value of 83000 J at 55000 cycles.

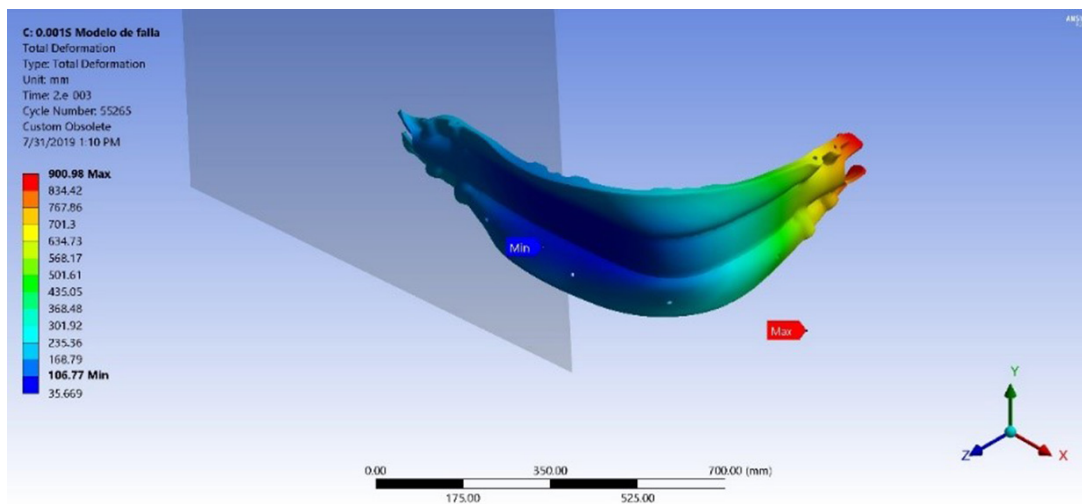


Figure 9. Deformation at 56 Km/h

Source: Own.

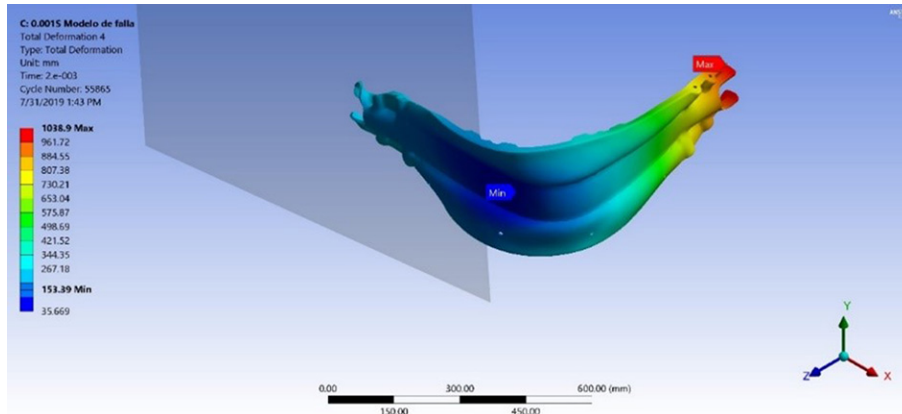


Figure 10. Deformation at 64 Km/h

Source: Own.

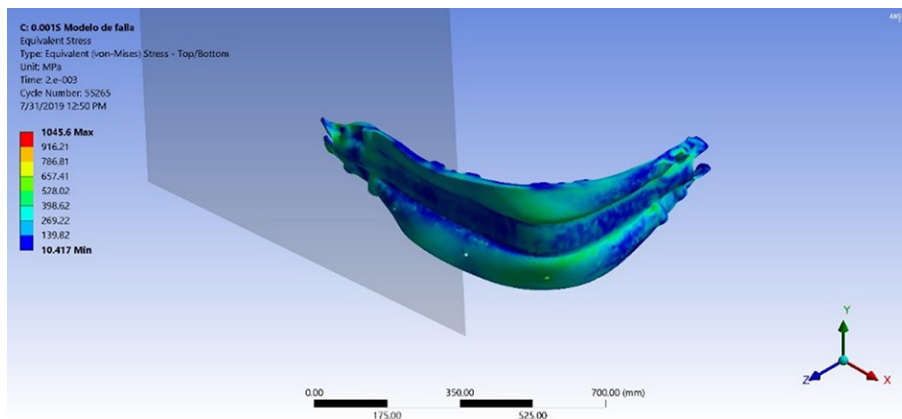


Figure 11. Von Mises results at 56 Km/h

Source: Own.

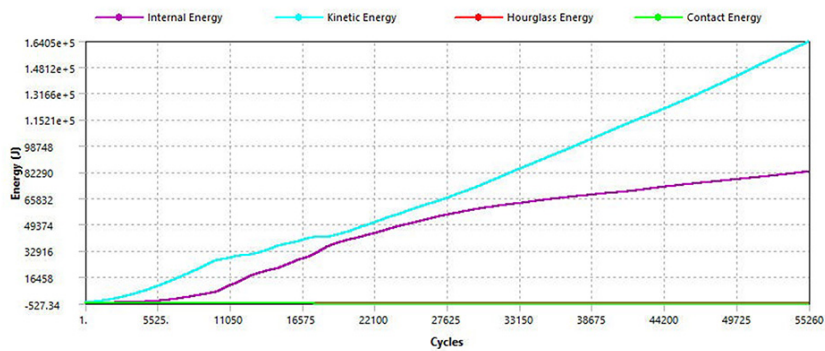


Figure 12. Energy results at 56 Km/h

Source: Own.

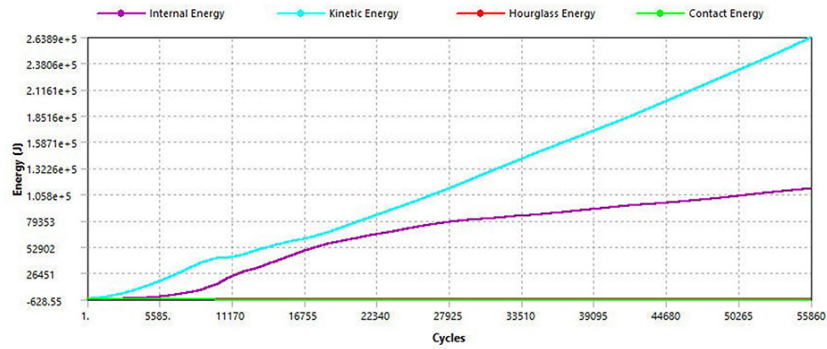


Figure 13. Energy results at 64 Km/h

Source: Own.

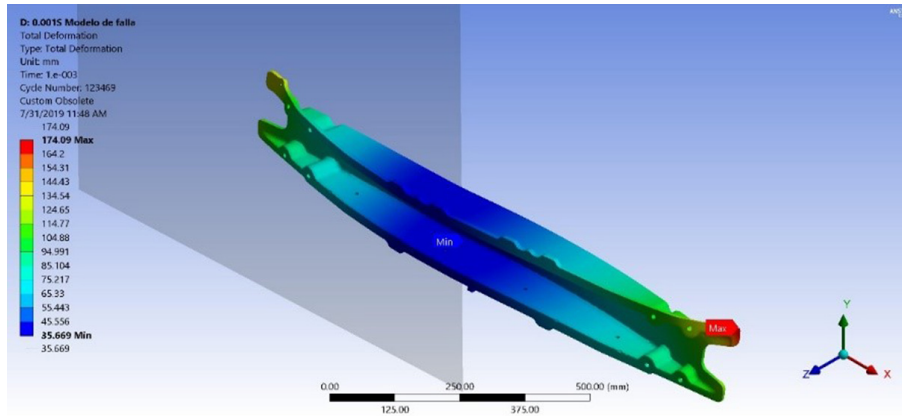


Figure 14. Deformation of PLA-CF30 at 56 Km/h

Source: Own.

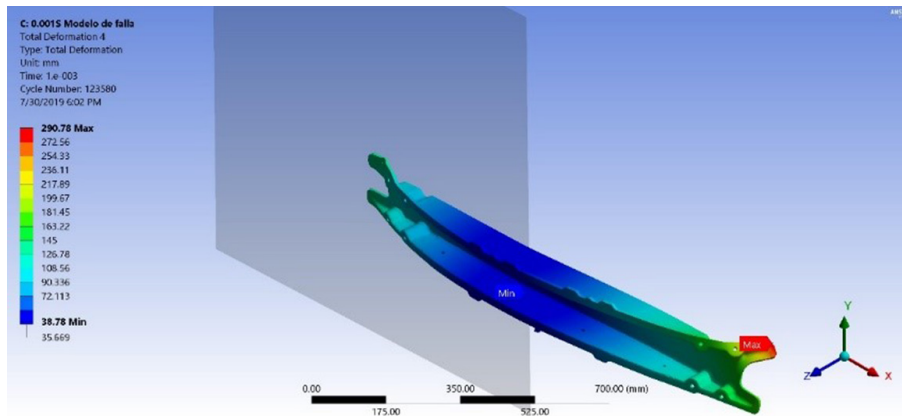


Figure 15. Deformation at 64 Km/h

Source: Own.

Energy Results at 64 Km/h (PP-GF45)

Figure 13 shows that the energy absorbed by the impact attenuator is 113000 J at 55000 cycles.

Deformation Results at 56 Km/h (PLA-CF30)

As shown in Figure 14, the impact attenuator has a minimum deformation of 35.669 mm and a maximum of 174.09 mm.

Deformation results at 64 km/h (PLA-CF30)

According to Figure 15, a minimum deformation of 38.78 mm and a maximum of 290.78 mm was obtained.

Von Mises Results at 56 Km/h (PLA-CF30)

As Figure 16 shows, the maximum effort is 1.345 GPa and the minimum effort is 0.023 GPa.

Von Mises Results at 64 Km/h (PLA-CF30)

Figure 17 shows that the maximum effort is 1.339 GPa while the minimum is 0.013 GPa.

Energy Results at 56 Km/h (PLA-CF30)

As shown in Figure 18, the purple line indicates the energy of the impact attenuator, while the cyan line is the energy of the rigid wall. The intersections of the lines occur at two points: the first represents the moment the attenuator impacts the rigid wall and the deformation process begins; the second point is the rebound of the attenuator against the rigid wall.

An energy absorption value of 10000 J was obtained at 55000 cycles.

Energy Results at 64 Km/h (PLA-CF30)

According to Figure 19, an energy absorption value of 19000 J is available at 55000 cycles.

Impact Test

The test method was performed according to ASTM D6110-04. Standard test method for determining Charpy impact resistance with plastic specimen notch.

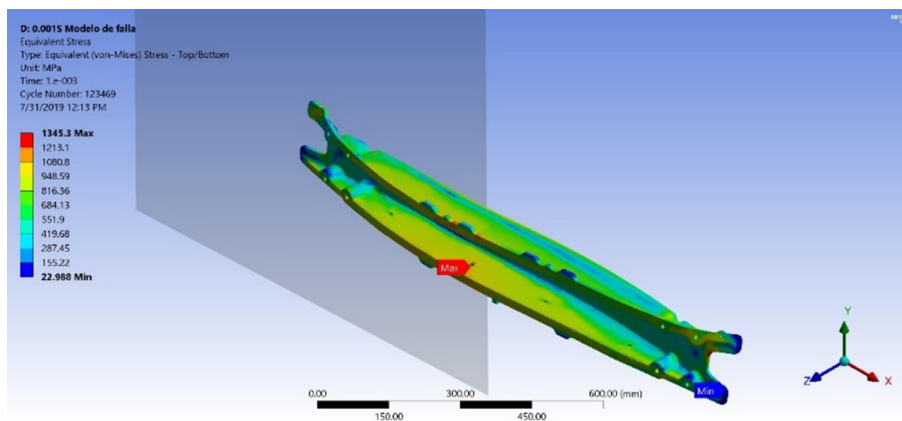


Figure 16. Von Mises results at 56 Km/h

Source: Own.

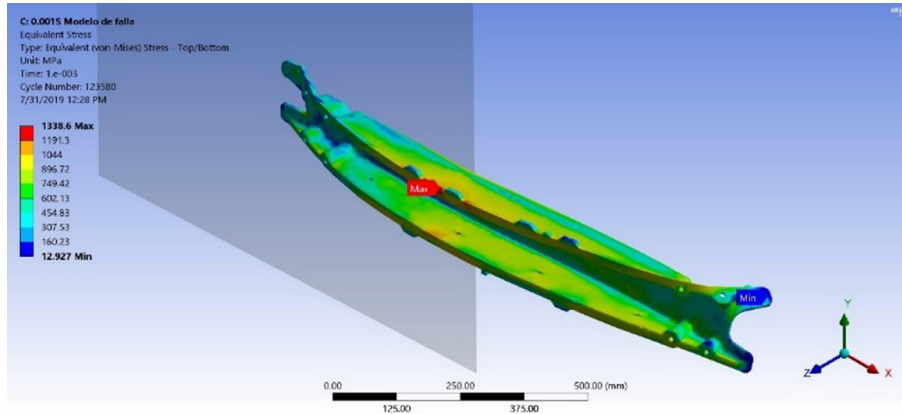


Figure 17. Von Mises results at 64 Km/h

Source: Own.

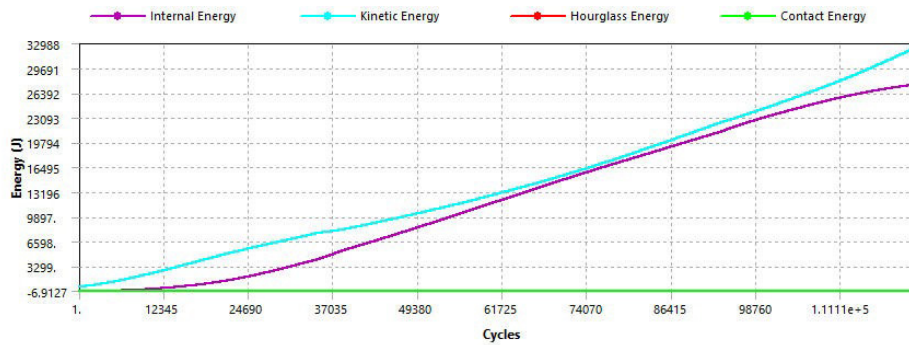


Figure 18. Energy results at 56 Km/h

Source: Own.

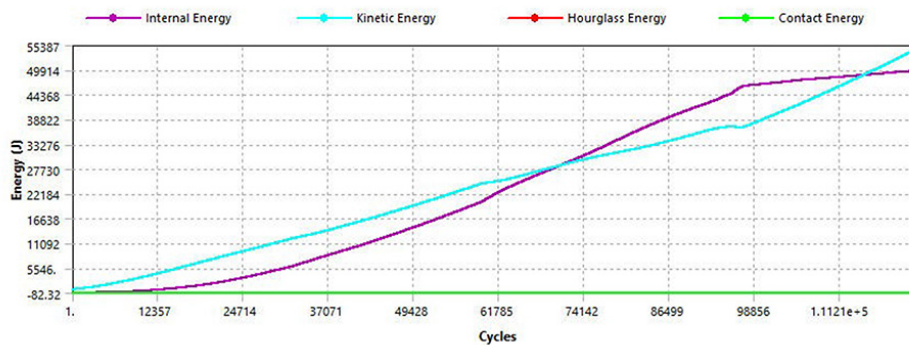


Figure 19. Energy results at 64 Km/h

Source: Own.

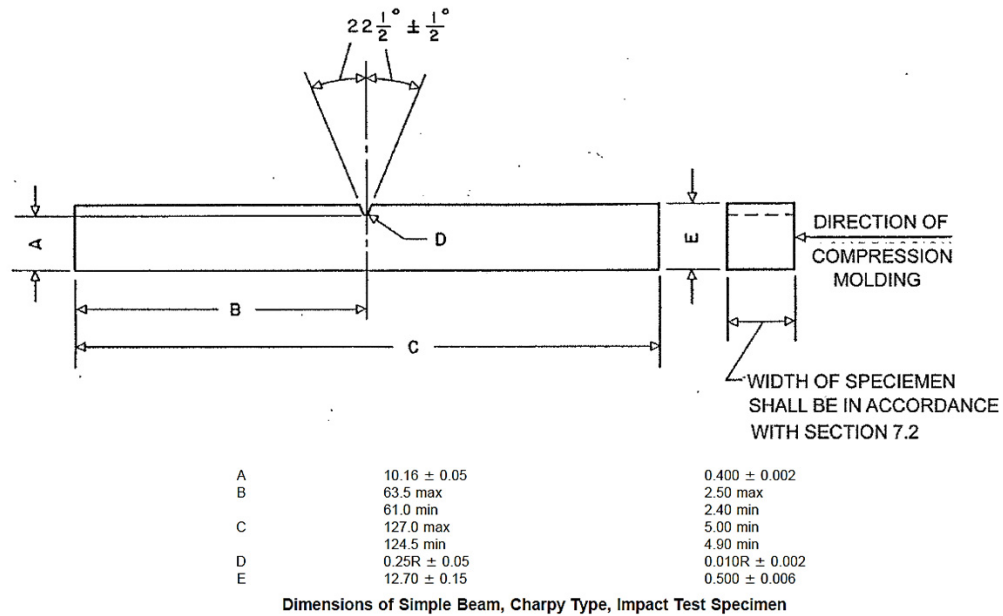


Figure 20. Standard dimensions of the impact sample

Source: ASTM Standard 2019.



Figure 21. Designation of specimens

Source: ASTM Standard 2019.

The samples for two plastic materials were acquired: The PP-GF45 was removed from the impact attenuator of a later crashed Chevrolet Optra 1.8 vehicle, and the PLA-CF30 was obtained through 3D printing.

The reading obtained on the Charpy pendulum clock during the test is the energy absorbed by the specimen when broken. The results obtained from the tested materials are shown in Table V.

CONCLUSIONS

By simulating the frontal impact on the Explicit Dynamics module of the Ansys Workbench software, it was possible to evaluate a virtual model of an impact attenuator by simulating the conditions under which a real head-on collision occurs. After the simulations, it is possible to conclude that the design and material designed meet the requirements for implementation on a vehicle.

Table V. Charpy impact test results

CHIMBORAZO POLYTECHNIC HIGH SCHOOL MECHANICAL FACULTY					
Machine practice	Charpy Pendulum	Type of test	Impact	Standard	Astm D6110-04
TEST I					
Material	PP-GF45		Temperature	20°C	
Specimen number	Length (mm)	Thickness (mm)	Notch Depth (mm)	Breakout area ()mm²	Breakout energy (J)
1	127,20	10,98	2,68	116,49	16,00
2	127,25	11,02	2,74	122,10	18,00
3	127,63	11,11	2,54	118,65	17,00
4	127,34	10,72	2,63	111,49	15,00
5	127,29	11,15	2,80	117,86	16,00
Total	636,71	54,98	13,39	586,59	82,00
\bar{x}	127,34	10,99	2,68	117,32	16,40
TEST II					
Material	PLA-CF30		Temperature	20°C	
Specimen number	Length (mm)	Thickness (mm)	Notch Depth (mm)	Breakout area ()mm²	Breakout energy (J)
1	126,85	10,94	2,45	117,23	3,00
2	126,84	10,96	2,42	124,39	3,20
3	126,83	11,12	2,43	120,54	3,10
4	126,84	10,99	2,47	116,38	3,00
5	126,85	11,15	2,44	117,89	3,00
Total	634,21	55,16	12,21	596,43	15,30
\bar{x}	126,84	11,03	2,44	119,29	3,06

Source: own.

After analyzing the results, it was possible to evaluate the behavior of the impact attenuator during a head-on collision. Thus, in the PP-GF45 it was observed a maximum deformation of 1038.9 mm, a maximum stress of 1.075 GPa and an energy absorption of 113000 J. According to this, the material suffers great irreparable deformations but absorbs more impact energy.

Conversely, the PLA-CF30 the following values were obtained: maximum deformation of 290.78 mm, maximum stress of 1.339 GPa and an energy absorption of 19000 J. Therefore, it can be said that the material is more resistant to deformation and stress but does not absorb too much energy.

The results obtained through the Charpy software and the impact test in the energy absorption laboratory have a consistent relationship between the two materials, so there is certainty that the results found are reliable.

REFERENCES

- [Castro Fernández, 2016] Castro Fernández, V. (2016). *Diseño de un atenuador de impactos para un vehículo Fórmula SAE* [Universidad Politécnica de Madrid]. http://oa.upm.es/43436/1/TFC_

[VERONICA_CASTRO_FERNANDEZ .pdf](#) ↑Ver
página 73

[Chapra & Canale, 2011] Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2011). *Numerical methods for engineers* (Vol. 2). McGraw-hill New York. ↑Ver página 73

[Davies, 2012] Davies, G. (2012). *Materials for*

automobile bodies. Butterworth-Heinemann. ↑Ver
página 74

[Latin NCAP, 2016] Latin NCAP. (2016). *The SMA shock absorber gets the highest Euro NCAP score.* <https://www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos> ↑Ver página 74



Flood sites caused by the La Vega and Jordán rivers, Tunja (Boyacá)

Sitios de inundaciones causadas por los ríos La Vega y Jordán, Tunja (Boyacá)

Perico-Granados, Néstor Rafael ^{ID 1}, Heidy Madeleine Arévalo Algarra ^{ID 2} Carlos Andrés, Reyes-Rodríguez ^{ID 3} Camilo Andrés Perico-Martínez ^{ID 4} María Claudia Vera ^{ID 5} & Jackson Monroy G ^{ID 6}

Fecha de Recepción: 29 de Mayo de 2020

Fecha de Aceptación: 3 de noviembre de 2020

Cómo citar: Perico-Granados., N.R. Arévalo-Algarra., H.M. Reyes-Rodríguez., C.A. Perico-Martínez., C.A. Claudia-Vera., M. y Monroy., J. (2021). Sitios de inundaciones causadas por los ríos La Vega y Jordán, Tunja (Boyacá). *Tecnura*, 25(67), 86-101. <https://doi.org/10.14483/22487638.15248>

Abstract

Context: The La Vega and Jordán rivers, located in the city of Tunja, have presented overflow events in the urban area of the city and it is necessary to identify the critical points of the channels susceptible to overflow and propose solutions.

Methodology: Based on the research entitled "Hydrodynamic modeling for the identification of flood zones in the city of Tunja." and "Diagnosis of the flood zones of the Jordan and La Vega rivers in the urban area of the city of Tunja", they were analyzed the results obtained in each one, with respect to the flood scenarios caused by the two rivers, the

proposals were reviewed and a reflection was made about them.

Results: In each one of them there is evidence of a deficient coexistence of the city with the water resource. Likewise, the flood maps obtained by means of the two-dimensional model IBER, the hydrological model of rain and runoff in HEC-HMS 4.1 and the hydraulic model using HEC-RAS 4.1 are observed.

Conclusions: It is observed in the characterization of the La Vega river, that it does not have channeling. In the Jordan River there is very partial channeling, with a deficient coexistence with the surrounding population. This increases the pollution of the waters

¹Ingeniero Civil, Especialista en Derecho público e instituciones político-jurídicas, Magister en Educación, Doctor en Ciencias de la Educación. Docente de la Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Colombia. Contacto: nestorrafaelpericogranados@gmail.com, nperico@jdc.edu.co

²Ingeniera Civil. Investigadora independiente. Tunja, Colombia. Contacto: heidyarevalo2019@gmail.com

³Ingeniero Civil. Docente e investigador. Especialista en Comportamiento y Conservación del recurso Hídrico. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Colombia. Contacto: careyes@jdc.edu.co

⁴Ingeniero Civil, docente e investigador, Especialista en geotecnia y pavimentos. Tunja, Colombia. Contacto: ca.perico2277@uniandes.edu.co

⁵Ingeniera Civil, docente e investigadora, especialista en Patología de estructuras, Magister en Geotecnia y Cimentaciones. Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Contacto: maria.vera@uniminuto.edu

⁶Ingeniero Civil, docente e investigador, Magister en Ingeniería, Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO, Contacto: jackson.monroy.g@uniminuto.edu

in both rivers. In this regard, for a return period of 20 years the overflow of the La Vega River would affect neighborhoods such as La María, Pozo Donato and UPTC (Pedagogical and Technological University of Colombia) and the Jordan River would do the same in the neighborhoods Ciudad Jardín, Comprehensive Rehabilitation Center of Boyacá and Bachue urbanization. The construction of works to avoid overflows is proposed and with this the problem downstream is transferred. Likewise, there are no proposals to regulate flows and little reforestation is done with native trees.

Keywords: Contingency structures, Flooding, Modeling, Reforestation, Regulation

Resumen

Contexto: Los ríos La Vega y Jordán, ubicados en la ciudad de Tunja, han presentado eventos de desbordamiento en la zona urbana de la ciudad y se requiere identificar los puntos críticos de los cauces susceptibles de desbordamiento y proponer soluciones.

Metodología: Con base en las investigaciones tituladas “Modelización hidrodinámica para identificación de zonas inundables en la ciudad de Tunja” y “Diagnóstico de las zonas de inundación de los ríos Jordán y La Vega en el casco urbano de la ciudad de Tunja”, se analizaron los resultados

obtenidos en cada una, con respecto a los escenarios de inundación provocados por los dos ríos, se hizo un análisis de los desbordamientos, se revisaron las propuestas de diques y se hizo una reflexión al respecto.

Resultados: En cada uno de ellos se evidencia una convivencia deficiente de la ciudad con el recurso hídrico. Se propuso la construcción de muros para evitar desbordamientos, con base en los resultados de los modelos hidrológicos de lluvia y escorrentía IBER, HEC – HMS 4.1 y HEC-RAS 4.1.

Conclusiones: Se observa en la caracterización del río La Vega, que éste no cuenta con canalización. En el río Jordán hay canalización muy parcial, con una convivencia deficiente con la población aledaña. Ésta aumenta la contaminación de las aguas en ambos ríos. Al respecto, para un periodo de retorno de 20 años el desbordamiento del río La Vega afectaría barrios como La María, Pozo Donato y terrenos de la UPTC (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia) y el río Jordán haría otro tanto en los barrios Ciudad Jardín, Centro de Rehabilitación Integral de Boyacá y urbanización Bachue. Se plantea la construcción de unas obras para evitar los desbordamientos, aunque con ello se traslada el problema aguas abajo. Igualmente, no se hacen propuestas de regulación de caudales y poco se profundiza en la reforestación con árboles nativo

Palabras clave: Estructuras de contingencia, Inundación, Modelación, Reforestación, Regulación.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	87
METODOLOGÍA	89
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	91
Incremento de caudales por periodo de retorno	91
Zonas vulnerables	91
CONCLUSIONES	97

AGRADECIMIENTOS	97
-----------------	----

REFERENCIAS	97
-------------	----

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son consideradas en el mundo como uno de los desastres que causan situaciones devastadoras en la sociedad, la economía y con pérdida de vidas de una población (Fernández y Buss, 2016). Estos eventos naturales presentan

un incremento a nivel mundial, debido a factores como la ausencia de ordenamiento territorial y las afectaciones en el ciclo hidrológico por el cambio climático ([Arreguín-Cortés y otros, 2016](#)). Al respecto, América Latina y el Caribe son vulnerables a las inundaciones y los daños económicos son elevados, con cerca del 0,18 % del PIB por evento.

En este sentido, una causa es el incremento de la urbanización, aspecto que para el 2015 cerca del 80 % de la población vivía en ciudades. Igualmente, contribuye el cambio del uso del suelo, con disminución de la cobertura vegetal, incremento de sectores erosionados, deficiencia de drenajes superficiales y subsuperficiales y drenajes pluviales mal diseñados ([Perico-Granados y otros, 2014](#), [Isabeles y otros, 2019](#)). Para ([Vergara, 2011](#)) la interacción inapropiada entre el ser humano y los recursos hídricos generan graves consecuencias y hoy las inundaciones afectan las poblaciones cada vez con mayor fuerza. Según ([Suarez, 1995](#)) los asentamientos humanos se han construido cerca de las fuentes de agua, pero por la continua deforestación se presentan con más frecuencia este tipo de eventos. Entonces, el incremento en las construcciones y la mayor cantidad de deforestación son factores que aumentan los riesgos de inundaciones en las cuencas hidrográficas.

En Colombia el 88 % de los desastres son de origen hidrometeorológico, con un 35 % por inundaciones. En los últimos 20 años cerca de 2800 viviendas se vieron destruidas por este fenómeno y por movimientos en masa y flujos torrenciales ([DNP, 2018](#)). Así mismo, las mayores pérdidas de vidas y de viviendas, de 1970 al 2011, se produjeron por deslizamientos e inundaciones. Éstas ocasionaron el 43 % de las viviendas destruidas y el 10 % de pérdidas humanas, del total en este periodo ([Campos y otros, 2012](#)). Entre los años 2010-11, 5.2 millones de personas (11,3 % de la población del país) se vieron afectadas, en 1.027 municipios, con cerca de \$ 9.10 billones en pérdidas económicas por inundaciones ([Sedano y otros, 2013](#)). Según ([Vásquez y otros, 2018](#)) en el 2017 Mocoa, Putumayo, Colombia se desbordaron los ríos Mulato, Mocoa y

Sancoyaco con un saldo de 17 barrios arrasados, 300 fallecidos, 4.506 familias afectadas y entre 316 y 332 personas heridas.

Igualmente, en Salgar, Antioquia, Colombia, por una avenida torrencial en el 2015 se desbordó la quebrada La Liboriana, con un saldo de 69 personas muertas. Allí mismo, entre 1999 y 2014 se presentaron 13 eventos de inundación ([Espitia, 2017](#)). De otro lado, en la vereda La Chapa en Tasco (Boyacá), se presentan de forma cíclica avalanchas causadas por la quebrada del mismo nombre. Ésta causa cada vez entre seis y doce muertos ([Perico-Granados y Pachón, 2015b](#)). En el mismo sentido, la cobertura vegetal en Boyacá por la deforestación ha disminuido, dado que entre 1985 a 2013 se perdió cerca del 11 %, es decir más de 235 mil has. Al respecto, como consecuencia se presenta la desestabilización del suelo, la escorrentía es mayor por la falta de capacidad de infiltración y aumenta el nivel del agua en los ríos ([Suarez, 1995](#), [Perico-Granados y otros, 2014](#)). Entonces, en el país se necesita una perspectiva que analice los problemas del ambiente y la gestión del riesgo y sobre ella se construyan políticas y programas preventivos.

De otro lado, por Tunja, capital del departamento de Boyacá pasan dos ríos: La Vega y Jordán. Ellos pertenecen a la cuenca alta del río Chicamocha y allí se observa el conflicto de habitantes con el recurso hídrico. De ellos emanan olores nauseabundos y se encuentran zancudos y roedores que ocasionan problemas de salubridad. La ciudad ha presenciado inundaciones en sectores vulnerables causadas por ambos ríos. Entre el 2010 y 2011 se generaron avenidas torrenciales y la población se afectó de forma considerable ([UNGRD, 2018](#)). Al respecto, es necesario caracterizar el fenómeno de inundaciones en la ciudad, dado el crecimiento poblacional y de infraestructura ((CEPAL) & (BID), 2012). Con base en esta información y en las investigaciones “Modelización hidrodinámica para identificación de zonas inundables en la ciudad de Tunja” y “Diagnóstico de las zonas de inundación de los ríos Jordán y La Vega en el casco urbano de la ciudad

de Tunja” se hizo la reflexión que se describe en este artículo. En estas investigaciones se usaron software, como herramientas de modelación de los posibles eventos de inundación, en diferentes periodos de retorno para ambos ríos, aspecto que permite una visión preliminar del fenómeno.

Al respecto, en el proceso la investigación formativa se refleja en cada uno de los trabajos mencionados, con la elaboración de proyectos de investigación para fomentar la construcción del conocimiento por medio de ellos (Perico-Granados y otros, 2015c). La metodología del aprender de forma autónoma y por medio de proyectos de investigación, permite en la formación profesional desarrollar competencias humanas y profesionales para resolver los problemas del entorno, especialmente los ambientales (Perico-Granados y otros, 2019a). En este sentido, se presentan en las investigaciones, como propuesta, obras de contención para evitar inundaciones, pero queda pendiente acciones de regulación de caudales y de reforestación en las dos cuencas, como actividades para resolver el problema a mediano plazo. Igualmente, están pendientes los estudios de otras opciones posibles, como represas y estudios de vulnerabilidad de las construcciones frente a una avenida torrencial o una avalancha, así como establecer un sistema de alertas tempranas.

METODOLOGÍA

Se partió de un análisis de las dos investigaciones relacionadas, con base en los documentos originales para revisar las metodologías utilizadas, los resultados y sus principales conclusiones. Entonces, para determinar los puntos críticos que generan inundaciones a lo largo de los ríos La Vega y Jordán, se partió de los datos y mapas obtenidos por las investigaciones citadas. Al respecto, el modelo hidrológico permite analizar los eventos de lluvia, con variables como intensidad, duración y frecuencia o periodo de retorno, por medio de la curva IDF (curva de intensidad, duración y frecuencia). Igualmente, se revisaron los datos

para el análisis morfométrico de la cuenca, para determinar el tiempo de concentración, establecido como el tiempo que invierte una gota de agua lluvia en recorrer desde el punto más alto hasta su punto de descarga. Para este proceso se vieron las simulaciones de las cuencas hidrográficas, con el programa IBER, que permiten ver el comportamiento de ellas para construcciones de obras.

Al respecto, se han hecho simulaciones en Villahermosa (México) y de igual manera con el uso del método de volúmenes finitos, para un sistema de presas en el río Grijalba (México) (Bladé y otros, 2014, González-Aguirre y otros, 2016). En España se usaron para observar los caudales en la ciudad de Asturias (Corestein y otros, 2010). En Colombia, según (Arias, 2012) en el río Chicamocha se han hecho estudios sobre los riesgos de desbordamientos cercanos a ciudades como Tunja, Paipa, Oicatá y Tuta, con diferentes modelaciones. En los dos ríos del proyecto se observó que siguen en las mismas condiciones los puntos críticos encontrados en los softwares y que permitieron analizar la priorización de su ejecución. Entonces, se estableció que es relativamente fácil resolver con sacos de arena en los sitios en que las alturas de los muros son menores a cincuenta centímetros, aspecto que llevó a definir los puntos de mayor altura para proponer soluciones.

De la misma manera, en el recorrido a lo largo de los dos ríos, en los tramos de estudio, se decidió establecer en la inspección ocular si aún existían los obstáculos relacionados en las investigaciones y si seguían siendo elementos que impedían el flujo libre de las aguas servidas o si habían sido removidos. En este sentido, la subcuenta del río La Vega, pertenece a la cuenca del río Chicamocha, con un área de 77,72 Km² hasta su confluencia con el río Jordán. Éste tiene una cuenca con un área de 35,8 Km² hasta la altura del barrio Las Quintas en la ciudad de Tunja (Bayona, 2017). En el río La Vega se hizo la visita desde el barrio Doña Limbania hasta El Pozo Donato y en el río Jordán se llevó a cabo desde el barrio Ciudad Jardín hasta su confluencia con el río La Vega. Se encontró que este río, por falta de

canalización tiene exceso de maleza, vegetación y árboles.

De igual forma, en este río, en épocas secas se presenta estancamiento del agua y genera malos olores y presencia de vectores, como lo expresan sus rivereños. A su paso por la UPTC (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia) se observan secciones hasta de cinco (5) metros de altura, sin barreras de protección que disminuyan el riesgo de caídas de peatones. Aguas abajo, en la Clínica Pozo Donato, en la confluencia con el Jordán, se observan construcciones en la ronda del río, a tres (3) metros de distancia de los taludes de este. Según (Acevedo y Sanchez, 2016) existen siete (7) puentes y una alcantarilla cajón en este trayecto, aspecto corroborado en la visita. Entonces, se observa que existen los mismos obstáculos que impiden el flujo normal de las aguas y hace falta la intervención del Estado para tomar los correctivos que corresponden.

De otro lado, el río Jordán está sin canalizar desde el barrio Ciudad Jardín hasta el barrio San Antonio, con presencia de vegetación dentro del río, vertimientos de aguas producto de lavado de autos y presencia de ganado dentro del cauce. Está canalizado en concreto desde los barrios Patriotas, San Antonio y Fuente Higueras. Sin embargo, la canalización presenta hundimientos, fisuras y obstrucción por desechos. Desde la Glorieta del Gobernador hasta la confluencia con el río La Vega el cauce está canalizado tan sólo del K2 + 260 al K4 + 840, el resto se encuentra sin canalizar. Se presenta maleza y gran cantidad de árboles y plantas en la parte no canalizada y del agua emanan olores fétidos. Según (Perico-Granados y otros, 2019b) se irrespeta la ronda hídrica del río en barrios como Mesopotamia y Santa Inés, aspectos observados en el recorrido. Desde la confluencia de ambos ríos no tiene canalización y se ve presencia de vegetación en el cauce y en los taludes que lo conforman, con presencia de ganado y escombros que impiden el recorrido adecuado del agua. Se encontró que los problemas planteados en las investigaciones se agudizan con el paso del tiempo.

Al respecto, a pesar que el agua no es potable,

se vio que aguas abajo hay captaciones clandestinas para riego de cultivos y pastos. En este sentido, se estima que el 10 % de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales sin ningún tratamiento (Rodríguez y otros, 2017). Igualmente, se presentan vertimientos que aumentan el caudal de los ríos y en épocas de lluvias incrementan las inundaciones por la sedimentación de materia orgánica y presencia de escombros, tal como sucede en otras ciudades (Flórez, 2013). El recorrido llegó hasta la PTAR (Planta de Tratamiento de Agua Residual), pero ésta no funciona de forma óptima por diferentes razones. Adicionalmente, se encontró que hay ausencia de conciencia ambiental frente a la convivencia con el recurso hídrico, como lo expresan (Plata e Ibarra, 2016), en diferentes partes del mundo, y que es su principal causa de la contaminación del mismo. Por este motivo, las aguas residuales muchas veces son vertidas directamente en las fuentes hídricas, como sucede en Villapinzón (Suárez y otros, 2012). Igualmente, sucede como en otros lugares, que el cauce se colmata con escombros y basuras que impiden el recorrido libre del agua (Vollmer y Grêt-Regamey, 2013). Al respecto, el agua es un recurso cada vez más escaso y vulnerable, se reduce su disponibilidad por la contaminación y por la demanda de la población y se necesitan investigaciones que permitan ver opciones de recuperación.

Finalmente, en los recorridos de las inspecciones oculares se revisaron las opciones presentadas para la construcción de las obras de ingeniería propuestas, especialmente las que requieren mayor esfuerzo por su tamaño y valor. En este sentido, se hicieron las comparaciones de las simulaciones hechas con las dos investigaciones, se revisaron los hallazgos en los recorridos y se observaron sus resultados. Con base en los datos de las posibles áreas inundables, con las diferentes modelaciones y de las propuestas de obras se seleccionaron las que a juicio de expertos requieren pronta solución. Los resultados coinciden en un buen porcentaje, pero también tienen diferencias significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incremento de caudales por periodo de retorno

Se calcularon los caudales por periodo de retorno de cada una de las investigaciones y los resultados se aprecian en la tabla I.

Tabla I. Comparación de caudales obtenidos en las investigaciones

CAUDALES (m ³ /s)			
RÍO/PERIODO DE RETORNO		INVESTIGACIÓN 1	INVESTIGACIÓN 2
LA VEGA	T= 5 años	-	12,5
	T=10 años	11	24,7
	T=20 años	-	34,8
	T=50 años	26,8	43,6
	T=100 años	36,4	103,1
	T= 200 años	-	114,6
JORDÁN ALTO	T= 5 años	-	2
	T=10 años	18,9	4,8
	T=20 años	-	6,9
	T=50 años	29,3	7,2
	T=100 años	34,4	18,2
	T= 200 años	-	19,1
JORDÁN BAJO	T= 5 años	-	14,6
	T=10 años	33,7	29,5
	T=20 años	-	42,1
	T=50 años	54,5	51,4
	T=100 años	65	121,8
	T= 200 años	-	134

Fuente: Adaptado de (Bayona, 2017, Acevedo y Sanchez, 2016).

Al respecto, se presentan diferencias significativas en los caudales para los mismos periodos de retorno, en las dos investigaciones, especialmente para el río Jordán Bajo. Es posible que su causa sea por la diferencia en los tiempos de respuesta en la investigación 1. En cambio, en la investigación 2 si se tomaron los mismos, en las tres cuencas. Igualmente, otra causa es por la diferencia de área que se tomó, mientras en la investigación 1 solamente se tomó el área aferente de la cuenca del río Jordán Bajo para estos caudales, en la 2 sí se tomó el área completa de la cuenca.

De otro lado, estos aumentos en el caudal con respecto a los periodos de retorno se deben a los

cambios que sufre el ciclo hidrológico anual por el fenómeno del niño y de la niña. Éste genera un aumento en los caudales por las lluvias con gran intensidad en poco tiempo, con fenómenos extremos en el fenómeno de la niña y déficit del caudal en el fenómeno del niño. Los procesos hidrogeológicos presentan una aceleración por la denudación de los suelos, generación de sedimentos, deslizamientos, inundaciones y colmatación en el cauce. Estos procesos son un riesgo para las comunidades, dado que la intervención humana sobre el suelo reduce la resistencia de éste ante efectos de lluvias intensas (Suarez, 1995, Restrepo, 2015). En este sentido, el fenómeno de la niña en el periodo de julio de 2010 al mes de abril del 2011 se manifestó con lluvias intensas que ocasionaron avalanchas, inundaciones y remoción en masa, en diferentes sitios del país. En la ciudad de Tunja las inundaciones se presentaron en las áreas aledañas a los ríos La Vega y Jordán, con cerca de 185 ha., inundadas (Corpoboyaca, 2013).

Zonas vulnerables

Los barrios y sectores afectados por desbordamiento del río La Vega para los diferentes periodos de retorno en las dos investigaciones se observan en la tabla II.

En este sentido, aumenta el riesgo en la zona de Saludcoop, proyecto Hayuelos, Colegio San Viator y Campus de la Uniboyaca para el periodo de 100 años (Bayona, 2017). En Tunja, de 1999 al 2011, se presentaron 29 emergencias por inundación reportadas por la Dirección de Gestión del Riesgo, con barrios afectados: Villa Universitaria, Quince de Mayo, Santa Inés, Urapanes, Bochica, Villa Bachue, Mesopotamia, Las Quintas, Milagro y Pozo Donato (Castillo y Ramos, 2016). Al respecto, no se cumple lo establecido en el artículo 3 del decreto 1449 de 1977, que establece la protección y conservación de los bosques y los propietarios de predios están obligados a dejar una franja, mínimo de 30 metros de ancha, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas, arroyos y alrededor de los lagos o depósitos de agua. Varios barrios están construidos en zonas de

aliviaderos naturales y hay edificaciones a menos de diez metros de la línea citada.

Tabla II. Comparación de áreas inundadas según el periodo de retorno en la ciudad de Tunja

ZONAS AFECTADAS			
RÍO/PERIODO DE RETORNO		INVESTIGACIÓN 1	INVESTIGACIÓN 2
LA VEGA	T=20 años	-	UPTC, La María, Pozo Donato, Las Quintas, calle 49ª.
	T=50 años	Pozo Donato, Los Cristales	UPTC, Escuela Normal Superior, Santa Inés, Las Quintas, Pozo Donato
	T=100 años	Pozo Donato, La María y Barrio Pozo Donato	UPTC, Escuela Normal Superior, Santa Inés, Las Quintas, Pozo Donato
JORDÁN ALTO	T=10 años	-	Sector centro de rehabilitación integral de Boyacá
	T=20 años	-	Barrio Ciudad Jardín, Centro de rehabilitación de Boyacá y Calle 5ª, Urbanización Bachue.
	T=50 años	Barrios San Antonio, Cooservicios y Doña Eva, Batallón Bolívar, Edificio In Altezza, Santa Inés, Mesopotamia y las Quintas	Barrio Ciudad Jardín, Centro de rehabilitación de Boyacá y Calle 5ª Urbanización Bachue.
	T=100 años	Barrios San Antonio, Cooservicios y Doña Eva, Batallón Bolívar, Edificio In Altezza, Santa Inés, Mesopotamia y las Quintas	Barrio Ciudad Jardín, Centro de rehabilitación de Boyacá y Calle 5ª Urbanización Bachue, urbanización Bochica.
JORDÁN BAJO	T=5 años	-	Sectores posteriores a la clínica Medilaser, los Muiscas
	T=10 años	-	Sectores posteriores a la clínica Medilaser, los Muiscas y avenida universitaria
	T=20 años	-	Calzada avenida universitaria, terrenos frente del colegio Campestre y Centro gastronómico SENA.
	T=50 años	Urbanización Hayuelos y terrenos próximos a la Uniboyaca y clínica Medilaser.	Avenida universitaria, estación de bomberos, terrenos posteriores a la Clínica Medilaser, Centro de Gastronomía SENA, terrenos próximos a la Uniboyaca
	T=100 años	Terrenos frente a la clínica SaludCoop, Urbanización Hayuelos, terrenos frente al colegio cristo rey, frente al colegio campestre y cercanías al campus de la Uniboyaca hasta cercanías al Green Hills.	Avenida universitaria, estación de bomberos, terrenos posteriores a la Clínica Medilaser, Centro de Gastronomía SENA, terrenos próximos a la Uniboyaca, barrio San Antonio del Bosque, edificio Belle Ville, terrenos frente a SaludCoop,

Fuente: Adaptado de (Acevedo y Sanchez, 2016, Bayona, 2017).

De otro lado, las obras de protección permiten confinar el agua dentro del cauce del río y evitar las inundaciones que afectan a la población. Para mitigar los impactos de las inundaciones se plantean estructuras de contención como gaviones que permiten encausar el río (Buitrago y Ochoa, 2013). Al respecto, en la figura 1 se observan dos puntos muy críticos susceptibles de desbordamiento del río La Vega: 9 y 10. En el punto 9 el desbordamiento del río lo puede propiciar el fuerte ángulo de curvatura del río. Se construyó un jarillón hacia el Pozo Donato en el periodo del 2010-2013, pero en el costado de la Escuela Normal Superior de Tunja el agua se desbordaría, con afectaciones considerables, tanto materiales como académicas. Se recomienda la construcción de un muro o gavión en el costado de la escuela con una altura aproximada de 0,5 m sobre la cota del terreno actual. El punto 10 es igualmente crítico y sufrió inundaciones en el mismo periodo, por falta de capacidad de la alcantarilla cajón localizada en ese sitio. Entonces, ésta se debe ampliar o construir un muro, gavión o jarillón en el

costado de la Clínica Pozo Donato, con cerca de 2 m., sobre la cota del terreno actual (Bayona, 2017).

En el río Jordán Alto se identificaron 12 puntos de desbordamiento, de los cuales se observan en la figura 2 los cuatro más críticos.

Según (Bayona, 2017) en estos puntos se recomendó la construcción de muros, gaviones y/o jarillones. En el punto 1 la estructura tendría una altura de 2 m, para el 2 la altura está entre 1 m en el sector occidental y en el oriental de 0,5 m. En el punto 4 tendría una altura de 2 m., en el costado occidental y 1 m., en el oriental. Para el punto 6 la estructura tendrá una altura de 0,5 m., sobre la cota terreno actual. En los otros puntos las estructuras oscilan entre 50 cm y un metro. En el sector del río Jordán Bajo (figura 3) después de su confluencia con el río La Vega, se identificaron 2 puntos con posible desbordamiento. En el punto 11 se recomienda construir un muro, gavión y/o jarillón en la parte oriental con una altura de 2 m., sobre la cota del terreno y en el 12 una estructura de 1 m., en ambos costados.

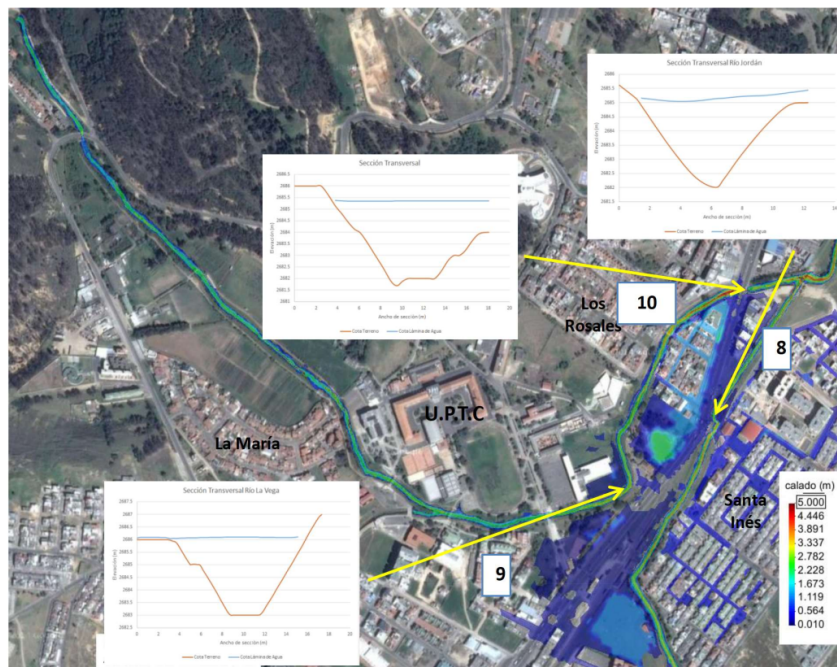


Figure 1. Unos puntos susceptibles de desbordamiento del río La Vega

Fuente: [Bayona, 2017, pag. 148].

Flood sites caused by the La Vega and Jordán rivers, Tunja (Boyacá)

Perico-Granados, N.R. Arévalo-Algarra, H.M. Reyes-Rodríguez, C.A. Perico-Martínez, C.A. Claudia-Vera, M. y Monroy, J.

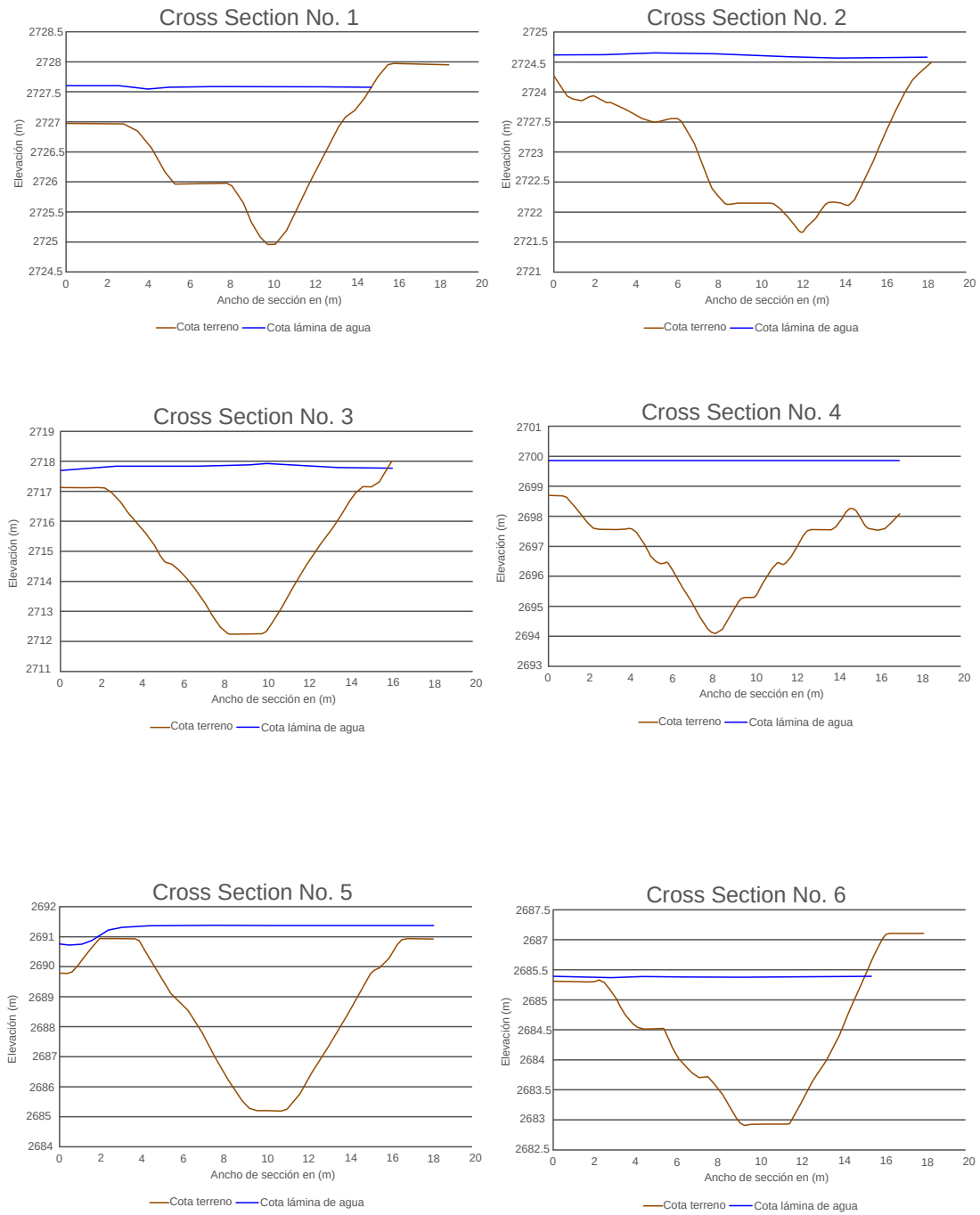


Figure 2. Unas secciones susceptibles de desbordamiento sobre el río Jordán Alto

Fuente: [Bayona, 2017, pag. 150].

Flood sites caused by the La Vega and Jordán rivers, Tunja (Boyacá)

Perico-Granados, N.R. Arévalo-Algarra, H.M. Reyes-Rodríguez, C.A. Perico-Martínez, C.A. Claudia-Vera, M. y Monroy, J.

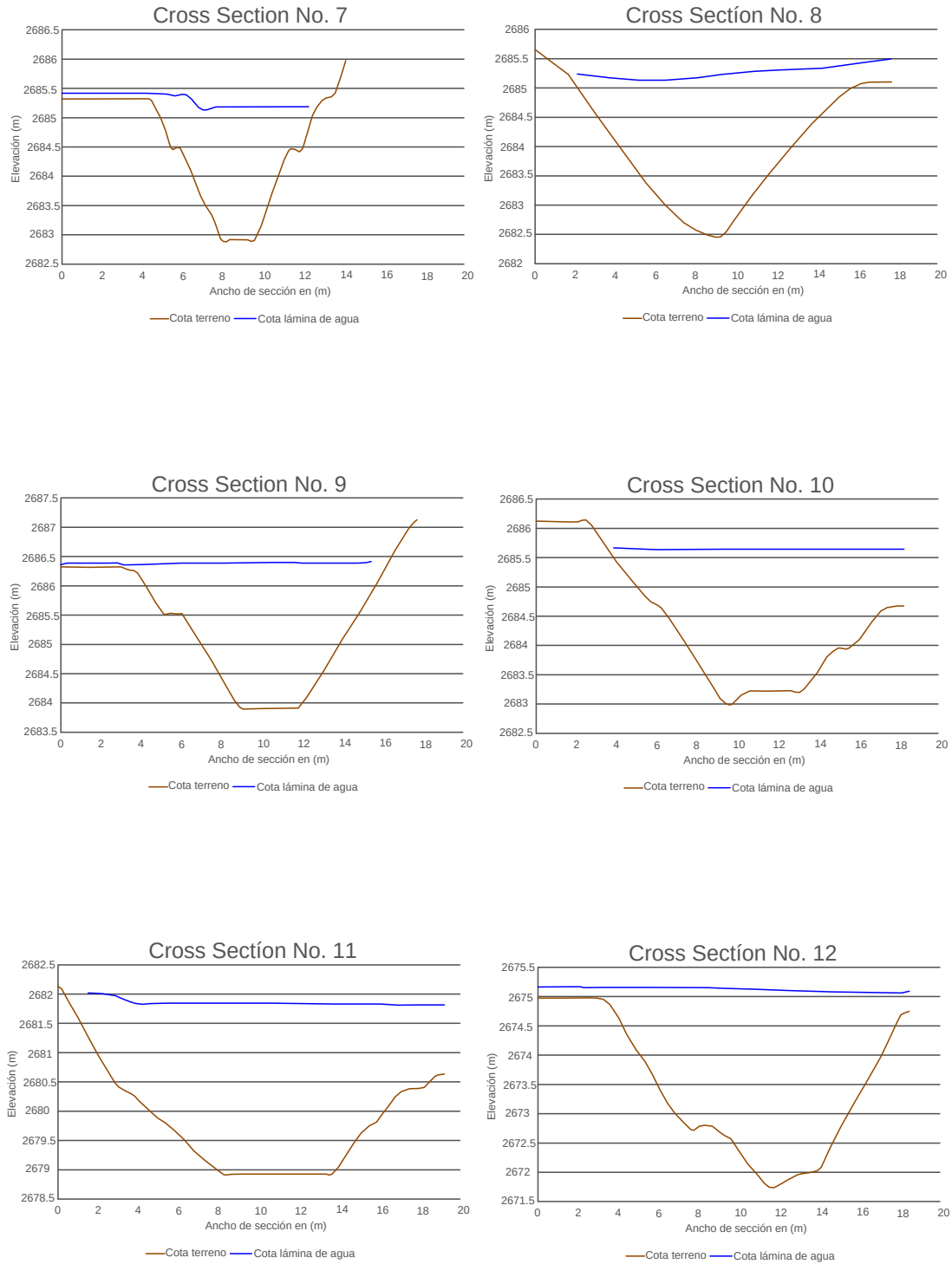


Figure 3. Secciones susceptibles a desbordamiento en el río Jordán Bajo

Fuente: (Bayona, 2017).

Al respecto, en las investigaciones se proponen obras de contención para evitar inundaciones periódicas, pero no se hacen propuestas de regulación de caudales, ni de reforestación en las dos cuencas, especialmente en la del río La Vega, dada la amplitud y posibilidad de recuperación. Estas propuestas pueden resolver el problema de inundaciones y de posibles avalanchas con una mayor duración (Suarez, 1995). Al respecto, con las solas obras de ingeniería se está trasladando el problema aguas abajo. Solamente se atacan los síntomas y unas consecuencias, pero no se desarrollan acciones concretas para evitar las inundaciones o disminuirlas de forma sustancial. Con los árboles nativos se regula el caudal de forma natural, se transforma el gas carbónico en oxígeno y se almacena el carbono, además que genera muchos beneficios económicos. Estos aspectos se desarrollan cuando se hacen reforestaciones con árboles nativos, que generan mayor capa vegetal y retienen el agua, con un desarrollo natural de regulación (Perico-Granados y Perico-Martínez, 2015a). Para (Paoli y otros, 2015) se puede convivir con los ríos y a la vez con reservorios se pueden controlar desastres por las inundaciones. Entonces, también es posible controlar las inundaciones con reforestaciones o con la construcción de reservorios, además de las obras civiles.

De otro lado, en Colombia entre el 2012 y 2014 se tuvo un aumento de la temperatura del 2% y las precipitaciones no se presentaron de forma homogénea, por el cambio climático, con una reducción de cerca del 15% para Tunja (García y otros, 2012). Adicionalmente, esta ciudad ha crecido de forma significativa, con un aumento de construcciones y pavimentos que impiden la infiltración, disminuye el tiempo de concentración, aumenta el nivel de los caudales y permite que se presenten fenómenos de inundación. Según (Perico-Granados y Perico-Martínez, 2015a) las construcciones en aliviaderos naturales y en humedales en esta capital generan problemas en barrios como Las Quintas, Quince de Mayo, Pozo Donato, entre otros, con evidencia de huellas de

inundación con periodos de retorno relativamente cercanos.

Al respecto, la vegetación cumple una labor de estabilidad de suelos y control de inundaciones, a través de la infiltración del agua, la extracción de humedad del suelo, interceptación de lluvias, grietas por desecación y las raíces fuerzan el suelo, con un aumento en la resistencia del corte del mismo. Igualmente, retiene partículas del suelo y disminuye la susceptibilidad a la erosión (Suarez, 1995). El crecimiento poblacional y urbanización desbordada y sin planeación tiene relación estrecha con eventos como deslizamientos e inundaciones, por intervenciones antrópicas como cortes en laderas, rellenos, deforestación y concentración de aguas lluvias y servidas que aumentan los cauces de los ríos, con incremento del riesgo por avenidas torrenciales y remoción en masa (Suarez, 1995). Por tanto, se requiere incremento de la conciencia ambiental y eliminar las prácticas de las construcciones en las rondas de los ríos, el arrojado de desechos y el cuidado de las cuencas, con políticas de reforestación con especies nativas para regular los caudales.

En este sentido, en Chile existe una superficie cubierta por bosques con 16.595.373 ha, de ellos 82% de bosques naturales, el 17% plantados y 1% mixtos. El sector forestal chileno se orienta al comercio internacional, pero gracias a estos se tienen sumideros de gases de efecto invernadero, con capturas de más del 54% de las emisiones (FAO, 2016). Esta actividad permite en Chile el empleo de 300.000 trabajadores (Améstica-Rivas y otros, 2016). Con plantaciones nativas se disminuyen las emisiones contaminantes a la atmósfera y los impactos del cambio climático (Perico-Granados y otros, 2014). Igualmente, permiten la recuperación de suelos degradados y erosionados (Donoso y Soto, 2010). Al respecto, los impactos estimados por el cambio climático en la región se encuentran entre el 1,4% y 5% del PIB (producto interno bruto). Para la (CEPAL, 2017) se necesitan implementar medidas para reducir los impactos negativos por este fenómeno, dado que los

costos estimados de adaptación, especialmente con reforestaciones nativas, equivale al 0,5% o menos del PIB de Sur América. En este sentido, según (Bezanilla y otros, 2018) desde la formación de los profesionales se deben implementar metodologías sobre pensamiento crítico con las problemáticas que se presentan en su entorno y se comprometan con soluciones óptimas, como el ambiente. Entonces, es un compromiso construir conocimiento sobre el cambio climático, observar la falta de políticas serias al respecto y promover el pensamiento crítico para que los nuevos profesionales se comprometan con acciones concretas de sostenibilidad y de recuperación, como la reforestación.

CONCLUSIONES

Se encontraron construcciones a menos de tres metros del cauce de los ríos y se evidencia que no se tiene control sobre las construcciones en zonas con riesgo de inundación. Con la contaminación de los ríos y altas temperaturas se emiten olores fétidos y se propaga la presencia de mosquitos y de roedores. Entonces, se requiere una mayor intervención de las autoridades para evitar estas construcciones y canalizar los ríos para disminuir opciones de enfermedades infectocontagiosas.

En el río La Vega se cuenta con 7 puentes peatonales y un pontón a la altura de la avenida Norte, frente a la clínica Pozo Donato. Este último requiere de ampliación y dadas las construcciones cercanas son necesarias medidas de seguimiento para evitar nuevas licencias de construcción, en las rondas de los ríos para cumplir las normas sobre la materia.

Para el periodo de retorno de 10 años los fenómenos de inundación no son tan notorios, como para los años 50 y 100 que sí son significativos. Estos, aspectos se pueden presentar por las áreas tomadas y los tiempos de respuesta para la elaboración de los cálculos. Para cuando estos eventos se presenten se requieren sistemas de alertas tempranas para evitar pérdidas de vidas, educando en prevención y preparación ante emergencias.

En el recorrido de los ríos Jordán y La Vega por la ciudad de Tunja se evidencian 12 puntos críticos, que ante eventuales avenidas torrenciales al aumentar los caudales son susceptibles de desbordamiento. Se propone construir estructuras de contención para el control de ellas, aunque con ello se traslada el problema aguas abajo. Sin embargo, para resolver el problema a mediano y largo plazo son necesarias estructuras de regulación de caudales y reforestación con árboles nativos en las cuencas, especialmente en la del río La Vega.

Las construcciones en las rondas de los ríos son un problema latente que sigue creciendo, dado que en la ciudad se han concedido licencias de construcción para viviendas y edificaciones de más de 5 pisos en áreas de humedales y a una distancia menor de 30 metros del cauce. Al respecto, es fundamental acciones de intervención del gobierno sobre los permisos para construir y evitar el nivel de riesgo en las zonas con posibilidad de inundaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los investigadores Julián Bayona, William Acevedo y David Sánchez por sus investigaciones y el gran aporte de sus resultados para identificar los posibles sitios de inundación en la ciudad.

REFERENCIAS

- [Acevedo y Sanchez, 2016] Acevedo, W., y Sanchez, D. (2016). Diagnóstico de las zonas de inundación de los ríos Jordán y La Vega en el casco urbano de la ciudad de Tunja (Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomas). ↑Ver página 90, 91, 92
- [Améstica-Rivas y otros, 2016] Améstica-Rivas, L., Moya, C., Salazar, M., y Acuña, Á. (2016). Subcontratación en el sector forestal maderero chileno e impacto del manejo forestal sustentable implementado en empresa mandante sobre el clima organizacional: Un estudio de caso. *Ciencia & trabajo*, 18(55), 1-8. <https://doi.org/>

- 10.4067/s0718-24492016000100002 ↑Ver página 96
- [Arias, 2012] Arias, O. (2012). Diagnóstico ambiental e hidrológico de la Cuenca Alta del río Chicamocha, y determinación del riesgo por inundación. Universidad Santo Tomas - Seccional Tunja. Tesis inédita ↑Ver página 89
- [Arreguín-Cortés y otros, 2016] Arreguín-Cortés, F., López-Pérez, M., y Marengo-Mogollón, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 5-13. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3535/353549829001.pdf> ↑Ver página 88
- [Bayona, 2017] Bayona, J. (2017). Modelización hidrodinámica para identificación de zonas inundables en la ciudad de Tunja (Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás). ↑Ver página 89, 91, 92, 93, 94, 95
- [Bezanilla y otros, 2018] Bezanilla, M. J., Poblete, M., Fernández, D., Arranz, S., y Campo, L. (2018). El Pensamiento crítico desde la perspectiva de los docentes universitarios. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 44(1), 89-113. <https://doi.org/10.4067/s0718-07052018000100089> ↑Ver página 97
- [Bladé y otros, 2014] Bladé, E., Sánchez, H., Dolz, J., Sánchez, M., Domínguez, R., Arganis, M., ... Juárez, J. (2014). Estimación del hidrograma de salida en una cuenca usando un modelo hidrológico distribuido y un modelo hidráulico bidimensional en volúmenes finitos. *Instituto de ingeniería, UNAM*, 106. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/22709/informe+propuesta+de+colaboraci%F3n+internacional+v+final.pdf;jsessionid=4FC8FE52A2814F6DDB5A3A1A4DB5E60F?sequence=1> ↑Ver página 89
- [Buitrago y Ochoa, 2013] Buitrago, C., y Ochoa, D. (2013). Recomendaciones para la implementación de obras de protección y control de cauces (Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia). ↑Ver página 93
- [Campos y otros, 2012] Campos, A., Holm - Nielsen, N., Díaz, C., Rubiano, D., Costa, C., Ramírez, F., y Dickson, E. (2012). Gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Banco Mundial, 438. Recuperado de <http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf> ↑Ver página 88
- [Castillo y Ramos, 2016] Castillo, L., y Ramos, S. (2016). Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud. Tunja - Boyacá 2016. (p. 28). p. 28. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=2ahUKEwiY_v6Vw5jeAhWjolkKHeeUC7kQFjAFegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.boyaca.gov.co%2FSecSalud%2Fimagenes%2FDocumentos%2Fasis2016%2Fasis-municipal-2016-tunja.pdf&usq=AOvVaw3mOMiMukwm7RA6znZkm ↑Ver página 91
- [CEPAL, 2017] CEPAL, C. E. para A. L. (2017). Procesos de adaptación al cambio climático: análisis de América Latina. CEPAL, 1-17. Recuperado de https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis_pp_cc_procesos_de_adaptacion_al_cc.pdf ↑Ver página 96
- [Corestein y otros, 2010] Corestein, G., Bladé, E., Lechuga, C., Berga, M. I., y González, A. (2010). Estudio experimental y numérico del meandro de Quinzanas (Asturias). XXIV Congreso Latinoamericano de hidráulica Punta del Este. Uruguay, file:///C:/Users/usuario/Downloads/4472813.pdf ↑Ver página 89
- [Corpoboyaca, 2013] Corpoboyaca. (2013). Gestión del Riesgo. CORPOBOYACA. Recuperado

- de <http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2016/03/Gestion-del-riesgo.pdf> ↑Ver página 91
- [DNP, 2018] DNP, (Departamento Nacional de Planeación). (2018). Índice Municipal de Riesgo de Desastres de Colombia. Documento CONPES, 69. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaci%C3%B3n%20C3%8D%C3%8Dndice%20Municipal%20de%20Riesgo%20de%20Desastres.pdf> ↑Ver página 88
- [Donoso y Soto, 2010] Donoso, P., y Soto, D. (2010). Plantaciones con especies nativas en el centro-sur de Chile : experiencias , desafíos y oportunidades. Revista Bosque Nativo, 47, 10-17. Recuperado de <http://www.gestionforestal.cl/pfnm/paqtecnologicos/ulmo/plantaciones.pdf> ↑Ver página 96
- [Espitia, 2017] Espitia, C. (2017). La vulnerabilidad como factor causal directo en el proceso social de materialización del riesgo en desastre. (Universidad Católica de Manizales). Recuperado de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1865/CarlosAlbertoEspitiaVirgüez.pdf?sequence=1&isAllowed=y> ↑Ver página 88
- [FAO, 2016] FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2016). Casos ejemplares de manejo forestal sostenible en Chile, Costa Rica, Guatemala y Uruguay. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i6003s.pdf> ↑Ver página 96
- [Fernández y Buss, 2016] Fernández, C., y Buss, S. (2016). Ocurrencia y Gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe - Factores claves y experiencia adquirida. BID (Banco Interamericano de Desarrollo), 1-27. Recuperado de <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15599/ocurrencia-y-gestion-de-inundaciones-en-america-latina-y-el-caribe-factores> ↑Ver página 87
- [Flórez, 2013] Flórez, E. (2013). Impacto ambiental y social del vertimiento de residuos sólidos y escombros sobre la calidad del río medellin y algunos de sus afluentes. El ágora USB, 9(1), 225-265. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/4077/407748994008.pdf> <https://doi.org/10.21500/16578031.1410> ↑Ver página 90
- [García y otros, 2012] García, M., Piñeros, A., Bernal, F., y Ardila, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. Revista de Ingeniería. Uni. Andes, 36, 60-64. <https://doi.org/10.16924/revinge.36.11> ↑Ver página 96
- [González-Aguirre y otros, 2016] González-Aguirre, J. C., Vázquez-Cendón, M. E., y Alavez-Ramírez, J. (2016). Simulación numérica de inundaciones en Villahermosa México usando el código IBER. Ingeniería del agua, 20(4), 201. <https://doi.org/10.4995/ia.2016.5231> ↑Ver página 89
- [Isabeles y otros, 2019] Isabeles, K., Olavarría, A., Quintanilla, A., Aguilar, J. (2019). Adaptación metodológica en el diseño y desarrollo urbano de bajo impacto para el manejo de aguas pluviales en Colima, México. Revista Tecnura, DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.15452> ↑Ver página 88
- [Paoli y otros, 2015] Paoli, C., Dondeynaz, C., y Carmona, C. (2015). Gestión integrada de crecidas. <https://doi.org/10.2788/997460> ↑Ver página 96
- [Perico-Granados y otros, 2014] Perico-Granados, N., Garavito, L., y Suárez, P. (2014). Pedagogía y diagnóstico sobre la variación de la cobertura vegetal, 1985-2011, para Boyacá. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil , Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, 1-14. ↑Ver página 88, 96
- [Perico-Granados y Perico-Martínez, 2015a] Perico-Granados, N., y Perico-Martínez, N. (2015a). Causas de inundaciones en Tunja y

- propuestas de solución. ACOFI. Recuperado de <https://antiguo.acofipapers.org/index.php/eiei2015/2015/paper/viewFile/1413/519> ↑Ver página 96
- [Perico-Granados y Pachón, 2015b] Perico-Granados, N., y Pachón, J. (2015b). Corrupción, pedagogía y ética. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), Encuentro, 8. Recuperado de <https://antiguo.acofipapers.org/index.php/eiei2015/2015/paper/viewFile/1361/467> ↑Ver página 88
- [Perico-Granados y otros, 2015c] Perico-Granados, N., Caro, C., y Garavito, L. (2015c). El proyecto en la investigación formativa. In *vestigium* Ire, 9(1), 166-174. Recuperado <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ivestigium/article/view/1156/1122> ↑Ver página 89
- [Perico-Granados y otros, 2019a] Perico-Granados, N., Barrera-Acevedo, J., Esquivel-Albarracín, D., y Perico-Martínez, C. (2019a). El método de proyectos en geotecnia vial caso: balasto para vía férrea Belencito - Paz del Río, en: Recuperado, *Quaestiones Disputatae: Temas en debate*, 12(24), pp.73-70, en: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/qdisputatae/article/view/1811> ↑Ver página 89
- [Perico-Granados y otros, 2019b] Perico-Granados, N., Caro-Camargo, C., Acevedo, W., Sánchez, D., Dávila, M., y Arévalo-Algarra, H. (2019b). Zonas de inundación, Ríos Jordán y La Vega, Tunja, en: *Ingenio Magno*, Vol 10, 1, pp. 10-22. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1912> ↑Ver página 90
- [Plata e Ibarra, 2016] Plata, A., y Ibarra, D. (2016). Percepción local del estado ambiental en la cuenca baja del Río Manzanares. *Luna Azul*, (42), 235-255. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.15> ↑Ver página 90
- [Restrepo, 2015] Restrepo, J. (2015). El impacto de la deforestación en la erosión de la cuenca del río Magdalena. *Revista de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales.*, 39(151), 250-267. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v39n151/v39n151a10.pdf> <https://doi.org/10.18257/raccefyn.141> ↑Ver página 91
- [Rodríguez y otros, 2017] Rodríguez, J., García, C., y Pardo, J. (2017). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Tecnura*, 19(46), 149. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12> ↑Ver página 90
- [Sedano y otros, 2013] Sedano, K., Carvajal, Y., y Avila, Á. (2013). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia. *Luna Azul*, (37), 219-238. <https://doi.org/10.17151/luaz.2013.37.13> ↑Ver página 88
- [Suárez y otros, 2012] Suárez, A., García, C., y Vaca, M. (2012). Identificación y evaluación de la contaminación del agua por curtiembres en el municipio de Villapinzón. *Tecnura*, 16, 185-193. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/6823> ↑Ver página 90
- [Suarez, 1995] Suarez, J. (1995). Procesos de origen Antrópico. Deslizamientos y estabilidad de Taludes en zonas tropicales, 335-354. Recuperado de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html> ↑Ver página 88, 91, 96
- [UNGRD, 2018] UNGRD, U. N. para la G. del R. de D. (2018). Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 269. Recuperado de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov>.

co/handle/20.500.11762/27179 ↑Ver página 88

[Vásquez y otros, 2018] Vásquez, J., Gómez, M., y Martínez, H. (2018). La avenida torrencial de Mocoa, Putumayo ¿ejemplo de una retrospectiva sin punto final en la gestión del riesgo de desastres detonados por eventos naturales? Revista de derecho, (50), 145-187. Recuperado de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/derecho/article/viewArticle/9839> ↑Ver página 88

[Vergara, 2011] Vergara, C., Ellis, E., Antonio, J., Aguilar, C., Alarcón, C., y Galván, U. (2011). La conceptualización de las inundaciones

y la percepción del riesgo ambiental. Política y cultura, (36), 45-69. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/267/26721226003.pdf> ↑Ver página 88

[Vollmer y Grêt-Regamey, 2013] Vollmer, D., y Grêt-Regamey, A. (2013). Rivers as municipal infrastructure: Demand for environmental services in informal settlements along an Indonesian river. Global Environmental Change, 23(6), 1542-1555. Recuperado <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378013001726> <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.10.001> ↑Ver página 90



Stories, Living Experiences, And Generational Meanings In The Use Of Ecosystem Resources: San Juanito, Meta Colombia

Historias, vivencias y significados generacionales en el uso de los recursos ecosistémicos; San Juanito Meta, Colombia

Francy Liliana Montealegre Torres ¹, Dulce María Quintero Romero ², Mirosława Czerny ³ & Roció López Velasco ⁴

Fecha de Recepción: 2 de junio de 2020

Fecha de Aceptación: 3 de noviembre de 2020

Cómo citar: Montealegre-Torres., F.L. Quintero-Romero., D.M. Czerny., M y López-Velasco., R. (2021). Stories, experiences and general meanings in the use of ecosystem resources; San Juanito Meta, Colombia. *Tecnura*, 25(67), 102-111. <https://doi.org/10.14483/22487638.16069>

Abstract

Objective: generational changes through stories, experiences and meanings.

Methodology: Through a mixed approach information is collected through semi-structured interviews and focus groups which were processed in the ATLAS ti 7 program, establishing relationships for the interpretation of results.

Results: It was determined that the new generations of the roads of San Luis el Plan and San Luis de Toledo have a high level of responsibility for the conservation of ecosystem resources, which leads to repetitive actions in the new offspring, all through schemes carried out by the Hermeneutic Unit and direct relations of the discourses of the inhabitants.

Conclusions: Observing and analyzing communities in contexts with endemic characteristics is

relevant, since understanding relationships with ecosystems makes it possible to appreciate the dynamics of exploitation of those; this promotes conceptualization by formulating inclusive conservation plans and projects. It follows that contrasting the evolution of cultural practices made it possible to establish that generational changes have been positive in the face of resource appropriation.

Keywords: Generational change, sustainable development, ecosystem resources.

Resumen

Objetivo: los cambios generacionales a través de historias, vivencias y significados.

Metodología: A través de un enfoque mixto se

¹Professional Business Administrator, Master in Sustainable Development Management Universidad Autónoma de Guerrero. Acapulco, Guerrero. México. e-mail: f.lilianatorres@gmail.com

²Degree in Communication Sciences, Master in Regional Development, PhD in Regional Development, Teacher of the Master in Management for Sustainable Development program, Universidad Autónoma de Guerrero, Acapulco, Mexico. e-mail: dulcenic@yahoo.com.mx

³Geographer, Master in Human Geography, PhD Sustainable Development, Director of the Institute for Regional and Global Studies Faculty of Geography and Regional Studies University of Warsaw, Poland. e-mail: mzczerny@uw.edu.pl

⁴Degree in Economics, Master in Economics, PhD in Economics. Director of the Master in Management for Sustainable Development, Universidad Autónoma de Guerrero. Acapulco, Mexico. e-mail: rocio_lopezv@hotmail.com

recopilo información por medio de entrevistas semiestructuradas y grupos focales los cuales fueron procesados en el programa ATLAS ti 7, estableciendo relaciones para la interpretación de resultados.

Resultados: Se determinó que las nuevas generaciones de los caminos de San Luis el Plan y San Luis de Toledo tienen un alto nivel de responsabilidad hacia la conservación de los recursos del ecosistema, lo que lleva a acciones repetitivas en la nueva descendencia, todo ello a través de esquemas realizados por la Unidad Hermenéutica y relaciones directas de los discursos de los habitantes.

Conclusiones: Observar y analizar comunidades en

contextos con características endémicas es relevante, dado que la comprensión de las relaciones con los ecosistemas permite apreciar las dinámicas de explotación de aquellos; esto favorece la conceptualización al formular planes y proyectos de conservación inclusivos. De lo anterior se desprende que contrastar la evolución de las prácticas culturales permitió establecer que los cambios generacionales han sido positivos frente a la apropiación de los recursos.

Palabras clave: Cambio generacional, desarrollo sustentable, recursos ecosistémicos.

Table of Contents

INTRODUCTION	103
<i>Stories, Experiences and Meanings</i>	105
<i>Stories</i>	105
<i>Experiences and meanings</i>	106
METHODOLOGY	107
RESULTS	107
CONCLUSIONS	109
REFERENCES	109

INTRODUCTION

The management of ecosystemic resources seen from the narratives of a flourishing generation at the beginning of the last century until now in two villages of the municipality of San Juanito in the department of Meta, located in the Chingaza páramo area; In this way, people's visions are accessed in relation to the appropriation and usage of the available resources carried out by the first settlers, and what the production and sustainability relations are today. Firstly, a general historical sketch was made, which allowed us to better understand the

importance of the meanings of surviving in this area; then a qualitative analysis of the stories was made as a "way to explain and understand the subjective dimensions of social phenomena" (Sancho, 2014), of experiences, "phenomena and processes of a very different order, ranging from learning and didactics to issues related to behavior" (Guzmán & Saucedo, 2015) and meanings: "The meaning that a thing has for a person develops from the ways in which other people act towards the thing in question" (Blumer, 1969) as well as experiences seen from the analysis of Vygotsky (Vygotsky, 1996) "The experience constitutes the unity of the personality and the environment as it appears in development (...) the true dynamic unity of the conscience, a full unit that constitutes the base of the conscience is the experience". Thus, it was possible to capture reality from the individual gaze and rescue the living word of their stories. Additionally, the interviews were processed, work that resulted in a network of iconographic data for their interpretation and conclusion.

The intervention, history of the moors

The moors, as a territory of various uses, have been anthropically intervened for centuries; the survival of many peoples and their sacredness have been subjected to these landscapes, but despite this, the attention and study towards their cultural

developments are recent (Rincón, 2015). The presence of populations in the “páramos” dates back to pre-Hispanic periods; dates back millennia, but the permanent characteristic has been the transitory nature of these settlements depending on their altitudinal gradients and their needs (Sarmiento, Osejo, Ungar, & Zapata, 2017).

Human settlements and the use of the paramun territories occurred in different ways according to the region and in some cases the exploitations were on a larger scale than in others. The marked difference between the conception of land use in the highlands was observed geographically distributed as follows: towards the north, Colombia and Venezuela; to the center, Ecuador and Peru, a region where economic exploitation and dependency was greater than in the other Andean moors (Hofstede, 2013, p. 154).

The different types of technification of soils and intensive exploitation of crops and roads for transit through the páramos are concentrated in the Inca empire (northern Peru and Ecuador), thus allowing a displacement of the agricultural frontier towards the highlands and generating disturbances due to the great exploitation of these areas (game, firewood, water, minerals) (Gallini, de la Rosa, & Abello, 2017). In other areas, grazing and exploitation of large mammals also occurred.

The different types of technification of soils and intensive exploitation of crops and roads for transit through the páramos are concentrated in the Inca empire (northern Peru and Ecuador), thus allowing a displacement of the agricultural frontier towards the highlands and generating disturbances due to the great exploitation of these areas (game, firewood, water, minerals) (Gallini, de la Rosa, & Abello, 2017). In other areas, grazing and exploitation of large mammals also occurred.

Thus, the intervention on a larger scale and with a high recurrence of impacts occurs in the center of the Andes, due to an accelerated settlement of the Inca empire, with a high degree of agricultural and livestock technology (camelids) that allowed them to carry out exploitations in higher

elevational gradients. Due to its characteristics as an empire, it displaced cultures and changed forms of relationship of some peoples with the land, generating other impacts when settling in moorland or related territories, increasing population densities resulting in greater use of resources with other exploitation techniques.

Various studies show that in the North Andean regions the use of the moors was less invasive, and more sacred; That is, the prevailing cultures carried out exploitations, but these areas were considered sacred especially for the execution of rites and worship of gods, giving rise later to the myth of El Dorado, especially in the bodies of water that were determined as genesis by their location of life and contact with the divine. The constant presence of man in the Inca imperial developments contributed considerably to the degradation of high mountain ecosystems, because despite their relative duration they supported high consumption.

At the time of the Spanish Conquest, the conquistadores carried out a direct exploitation on the Andes and, when the flat lands were insufficient for the requirements of the Conquest and later Colony in these areas, sheep, horses, cattle and camelids were introduced (which were almost extinct due to the exaggerated Spanish hunting). The intensive use of the forest resource was carried out at altitudes flush within the páramo, the agricultural frontier, in order to meet the demand for said resources in mining operations, constructions, and heat sources, usage that was contrary to that made by the living beings of these lands, thus increasing the impact on this landscape (Rivera Ospina, 2017). For this reason, in the period of the Conquest and Spanish Colony, the Andean moors suffered severe degradation both due to the overexploitation and introduction of new species, and later in the domination of different cultures since, in addition to human exploitation, they were displaced to located reservations. some in high areas, accentuating the environmental deterioration in those territories.

It was until the Republic when the intensive use of the Andean highlands decreased, when

world economic conditions shifted and the forms of land exploitation changed significantly in that land tenure was a decisive factor in the new forms of exploitation (Verjel, Navarro, & Barrera, 2015). This occurs because the economy is focused on mining and agricultural exploitation, gold, tobacco and sugar cane, these being produced in lowlands. However, the political instability of the Republic generates an increase in the appropriation of land by the nascent leadership, which displaces the ethnic minorities towards the highlands.

Even presenting a decrease in the impacts generated by the Spanish intervention, the distribution of the territories by reservations and agricultural exploitations persist in these regions, both subsistence and larger scale, with the central region being more intervened; Countries like Ecuador, Bolivia and Peru have the largest human settlements in these areas and their economic performance still depends on the highlands.

Thus, qualifying the moorland areas as pristine is misleading since their intervention is not very old. In the case of the Páramo de Chingaza, the same process occurred and its colonization dates back to the dawn of the 20th century when the founders settled in a small populated center from where the appropriation of the territory began, mostly in smallholdings and some large properties.

Anthropic actions determine relationships with ecosystems and their durability; In moorland systems, which due to their characteristics have an incalculable value for human survival, it is necessary to analyze the role of the populations settled in them and establish what their role has been in the conservation or detriment of those. The case of the Chingaza páramo, in the municipality of San Juanito, presents singularities that allow an approach towards community interaction processes that can become strengths for sustainability and conservation processes. A historical evolution is presented to locate the context where the different types of relationships with the territory have been developing, ranging from the symbolic to the instrumental, to later permeate the stories, meanings

and experiences throughout the community that stays in highlands.

The two descriptors are addressed to construct meaning in a clearer way; since those, because they are mental constructs —therefore, emotional, singular and subjective—, are configured in a narration of the lived events expressing the acquired and shared experience, becoming a generator of relationships, and the others act accordingly to the meaning each individual perceives.

Having said that, experiences and meanings will be observed due to the inherent relationship:

The story of a narrator about his existence through time, trying to reconstitute the events he lived through and transmit the experience he acquired. Linear and individual narrative of the events that he considers significant, through which the relationships with the members of his group, his profession, his social class, his global society are delineated. (Veras, 2010, p. 148).

Stories, Experiences and Meanings

Stories

From the narrative, forms are constituted and woven that show events lived or argued by third parties that pass from one individual to another trying to explain, to understand, the different social phenomena that have occurred, the construction of the past constitutes a valuable tool in the construction of the present, especially when it comes to understanding the way in which the relationship with nature is understood and hence its importance of the proposal of “someone’s life story corresponds to an intimate and subjective dimension” (Moriña, 2016).

The oral stories are strengthened not only in the preservation of the memory of family life; as it corresponds to the succession of behaviors, beliefs, dialects, food preparation, celebrations and values,

but rather to a way of conceiving the world and the relationships that subjects weave with their environment.

In accordance with the above, these stories of recognition of events that have occurred that tell subjective experiences were established, in which direct relationships with the territory are appreciated; The stories are rich and abundant in expressions with constant emphasis on the appreciations of the interviewees.

The historical concept of permanence takes effect from the description of informants who have been present in this territory since its foundation, an element that gives them the character of "social groups that, due to their proximity in age, share the same historical experience" (Paolo, 1999, p. 6) as Mr. Juan García, a man born in the place, who highlights that the permanence of his family in the San Luis El Plan neighborhood is of about eighty years (equivalent to 3 generations), give or take:

I have been living here for 39 years, my father and my mother all my life, my grandmother was brought here to San Juanito for four years and then my mother was born, who is sixty-three years old, living here all her life on the same farm.

Similar is the case of Mr. Adonai Mora, inhabitant of the San Luis de Toledo village, who says "I have been living for 75 years ... my taitas (parents) were born, here I grew up and here will they bury me (his death)". Thus, he strengthens through experience, communicating it orally, the survival of the inhabitants of this area of the páramo.

During this time, the characters of the páramo have been building life stories that show the way in which the inhabitants of the area have adapted to the different situations of the environment, including those that imply the deprivation of basic services such as health units in the institutions of education: "when I was in school there was no toilet at school, the children ran to the mountains, there were no toilets or wells, that's how it was at first"(Adonai Mora).

Similar actions are reflected in the burning of forages and the forest located at these altitudes, since

it was a custom on the part of those who traveled through these areas "even when muleteers arrived with their mules to the moor, it was the same, the first thing when arriving at the Morro (high part of the mountain) was to set fire to the moor" (Juan García), which can be related to the data of the report issued by IDEAM (IDEAM, 1990) where it indicates that forest fires associated with the needs of expansion and deficiency in the environmental education of the population constituted one of the main effects on the moor.

They also refer to careless actions in the land involving plowing techniques "before corn was sown, but a very strong tillage was done, which caused the soil to degrade, erode, because it was done with oxen and hoes"(Juan García) or livestock "first there was a lot of livestock, but now there is no more, now there is agriculture, the vocation of San Juanito has changed", recalls Mr. Adonay Mora. Currently the density of livestock is ten head of cattle on the farms inserted in protection zone (Castro-Garzón, 2019).

Experiences and meanings

Among the meanings shown by the residents of San Juanito one is learning to live with the environment, respect for ecosystem resources and the preservation of wildlife: "from twenty to fifteen years ago we started, we understood what we had to protect"(Bernarda Muñoz), to which Mr. Rodrigo Muñoz García adds "we are already aware that these hills should not be burned, since those fires do not naturally exist", which allows us to observe the change in cultural work that has occurred due to the generational replacement that could be linked to the growth of new forests. At the end of the 20th century 65% of the protected area was deforested, in 2016 this area was 8%, the afforestation processes have been successful" (Quijano Hoyos, 2018), the return of animals that were considered extinct and in fact the data from Natural National Parks: "the reconstitution of the páramo has been completely evident, in more than 40%, the increase the number of birds, mammals and reptiles has been 20% in the

last 30 years " (PNN, 2005).

This has allowed the inhabitants of the páramo to enjoy biodiversity and teach their children (the new generation) the importance of treasuring and preserving the soil, as Amanda Muñoz says "we have already acquired awareness ourselves, as it is a tradition where we teach our children that we must take care of the springs, the trees, because they are the balance of the town's ecosystem".

The approach to the subjects and their impressions indicate a position and meaning deeply rooted in the area; they are the feelings of the people present in the territory since they are represented through the expression of things in a way that does not imply actions, but rather makes sense in the preservation and transmission of care.

METHODOLOGY

The study area is located in the northernmost municipality of the Meta department, in the Colombian Orinoquia; Due to its unique and high mountain characteristics, it becomes a strategic area for the nation (Law 2, 1959); Of the nine villages present in the municipality (SIG, 2017), those of San Luis de Toledo and San Luis El Plan were chosen since they represent the villages that contain the largest number of properties located in the páramo area and the largest extension immersed in said zone (SIG, 2017).

After the verification and field observation, open and personal interviews were carried out since they are a qualitative context instrument that allows contact with the members of the community in order to know the particular situation, or the problem from the perspective of the actors. as stated by Patton (Patton, 1980, p. 100) "the objective of the qualitative interview is to know the perspective and the frame of reference from which people organize their environment and guide their behavior", so that through these tools they established the perceptions with the different actors.

The tool was framed, as determined by Fals-Borda (Borda, 1985), in the Participatory Action

Research (PAR) method that implies the inclusion of the researcher in the study area, so that he can observe and compare the physical, social, cultural, moral, historical and political aspects of the object of study, its greatest feature being the commitment to the community in order to obtain solutions to the problem, raised by the actors - "agents of change (Balcazar, 2003, p. 61).

Adding to the above, the stages proposed by Fawcett, Seekins, Whang, Muiiu, & Suárez-Balcázar (1982); Quiros, Suarez-Balcazar, Balcazar, Quiros & Chavez (1995); Fawcett, Seekins & Balcázar (1985) determine a process:

First, research: this refers to the active role that participants play in documenting the history of their experience or their community. . .

Second, education: participants learn to develop a critical awareness that allows them to identify the causes of their problems. . .

Third, action: participants implement practical solutions to their problems; each of them. For the purposes of this research and taking into account that the information gathering tool was the interview and the focus group, the stages of research and education were developed with the informants, since these show the descriptors of the research - stories, experiences and meanings — also throwing perspectives on those.

To analyze and interpret the information collected, it was processed in the Atlas.ti software; Appropriate tool for the qualitative analysis of large bodies of textual, graphic and video data. It allows organizing the information obtained from the interviews and focus groups as it helps to regroup and manage the material by systematizing it (Varguillas, 2006). It also allows structuring the research responses from the correlation networks thrown by the system.

RESULTS

The results are presented from the compilation, in the Hermeneutic Unit, of the interviews carried out; the Atlas.ti software produces a network of

relationships and a semantic cloud of the San Luis de Toledo and San Luis El Plan districts that are listed below.

Schematization of the use of resources from the stories, experiences and meanings.

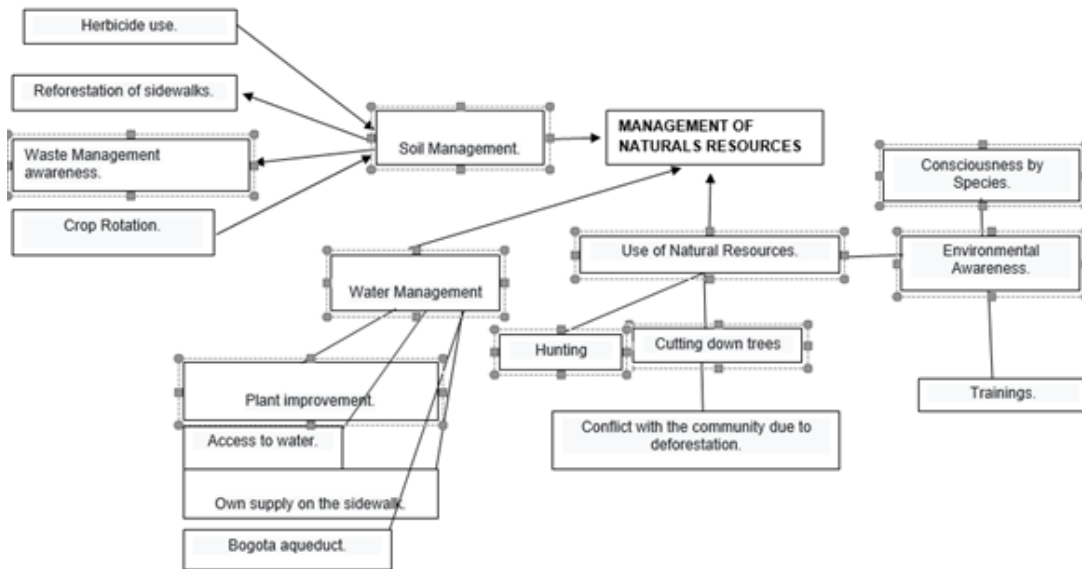


Figure 1. Schematization of the use of resources from the stories, experiences and meanings

Source: Prepared by the authors, taken from the focus group in San Juanito Meta, 2018.

The previous scheme allows observing the management of resources in the villages under study in order to carry out an analysis from three different areas: the first under the use of natural resources in which actions such as cutting down trees, hunting and deforestation directly related to issues of training, environmental awareness and awareness for the species that cohabit with the informants; This allows us to appreciate the way in which cultural activities generated or did not affect the resource; The passage of time was included since it is subject to the objectives of each moment and allowed to determine that, at present, the appropriations of natural resources in these villages have a focus on conservation allowing a collective vision of imaginary prosperity and improvement in their socio-ecosystems through a perspective of what is right or what should be. Secondly, there is the management of water with factors such as the improvement of the water treatment plant,

access to it, own supply in the village directly related to the privileged geographical location of these villages; This is confirmed by Mrs. Teresa Gutiérrez: "we are in a place where there is a lot of water, also a lot of water comes down the slope or also by gravity". It ends with a conflict with the company Acueducto de Bogotá. Similarly, when dealing with soil management, factors such as the use of herbicides, reforestation of the sidewalk, awareness of waste management are specified: "then one has at least in the house, the waste of the kitchen goes to the animals, and human waste goes to the septic tank" as related by Mrs. Gutiérrez; It is also established that they practice crop rotation to rest the soil and replace it.

In accordance with the above, the determination of what is or is not appropriate to manage ecosystem services consists of the expression of certain practices, which refer to actions determined by the context of the exploitation of the territory; those

are generated according to the individual-ecosystem relationship, thus determining its function; It is intended that the act of appropriation and use of resources is positive, in the present actions, although it has been negative in those carried out by the founders of the region.

As a result of the process of coding the focus group, a total of three subcategories were obtained, which were concentrated in 115 citations (brief narratives made by the interviewees) which constituted the universe of the research; the balance of repetitions allowed observing the greater and lesser relevance of the interviewees as it is observed in the semantic cloud, where words such as conscience, preserve, protect, inheritance and change are presented as the highest metric for the informants; As a result, a change is shown in the form of appropriation and exploitation of ecosystem services in an intergenerational way in the villages of San Luis de Toledo and San Luis El Plan.

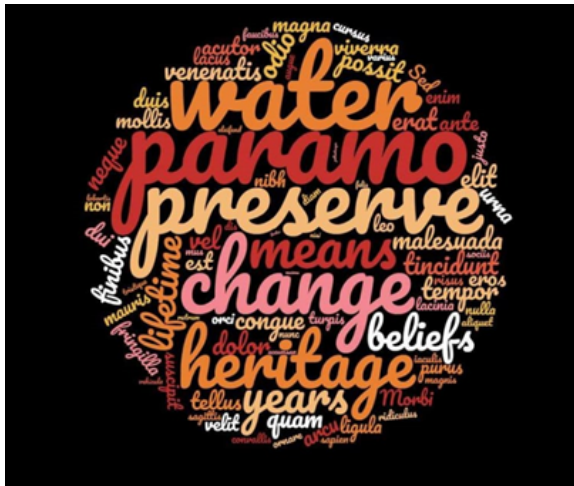


Figure 2. Nube semántica

Source: Elaboración propia

CONCLUSIONS

Observing and analyzing communities in contexts with endemic characteristics is relevant, since understanding the relationships with ecosystems allows us to appreciate the dynamics of exploitation;

This favors conceptualization when formulating inclusive conservation plans and projects. From the foregoing, it follows that contrasting the evolution of cultural practices allowed to establish that generational changes have been positive in the face of the appropriation of resources.

However, these perceptions cannot be extended throughout the municipality since, in areas where agriculture is exploited intensively, the position towards the ecosystem is extractivist.

Although the relationship with the ecosystem has improved, the community is in conflict with the environmental authority as deforestation continues in some areas in order to obtain tutors for the planting of beans.

The vocation of exploitation of the territories has always been changing and has developed in favor of the best profitability with the purpose of becoming a large bean producer.

REFERENCES

- [Balcazar, 2003] Balcazar, F. (2003). Investigación Acción Participativa (IAP): Aspectos conceptuales y dificultades de implementación- En: Fundamentos en Humanidades, vol. IV, núm. 7-8, 2003, pp. 59-77 [↑Ver página 107](#)
- [Blumer, 1969] Blumer, Herbert (1969). Simbolic interactionism. Perspective and method, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey [↑Ver página 103](#)
- [Borda, 1985] Fals Borda, O. (1985). Conocimiento y poder popular. Bogotá: Siglo XXI. [↑Ver página 107](#)
- [Castro-Garzón, 2019] Castro-Garzón, H. (2019). Análisis de los sistemas socio-ecológicos desde los conflictos y disturbios presentes en áreas protegidas en el municipio de San Juanito (Meta). Tesis doctoral, Universidad de Manizales. Manizales. [↑Ver página 106](#)
- [Fernandes, 1971] Fernandes, F. (1971). A história de vida na investigação sociológica: a seleção de sujeitos e suas implicações. En: F. Fernandes.

- Ensaio de Sociologia geral e aplicada. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, pp. 251-269. ↑[Ver página](#)
- [Fawcett, 1985] Fawcett, S. B., Seekins, T., Balcázar, F. E. (1985). Consumer involvement in advocacy organizations: Leading action-oriented meetings. Volume, II. Lawrence, Kansas: Research and Training Center, University of Kansas, M-12. ↑[Ver página](#)
- [Fawcett, 1982] Fawcett, S. B., Seekins, T., Whang, P., Muiu, C., & Suárez-Balcazar, Y. (1982). Involving consumers in decision-making. Social Policy, 13(6), 36-41. ↑[Ver página](#)
- [Gallini, de la Rosa, & Abello, 2017] Gallini, S., de la Rosa, S., & Abello, R. (2017). Historia ambiental. Hojas de ruta. ↑[Ver página 104](#)
- [Guzmán & Saucedo, 2015] Guzmán Gómez, Carlota & Saucedo Ramos, Claudia Lucy (2015). Experiencias, Vivencias y sentidos en torno a la escuela y a los estudios. Abordajes desde las perspectivas de alumnos y estudiantes. En: Revista Mexicana de Investigación Educativa [en línea] 2015, 20 ↑[Ver página 103](#)
- [Hofstede, 2013] Hofstede R. (2013). Lo mucho que sabemos del páramo. Apuntes sobre conocimiento actual de la integridad, la transformación y la conservación del páramo. pp114. Instituto Von Humboldt. ↑[Ver página 104](#)
- [IDEAM, 1990] IDEAM. (1990) Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales. Ecosistemas, incendios de la cobertura vegetal. ↑[Ver página 106](#)
- [Law 2, 1959] Ley 2 de 1959 (16 de Diciembre). Sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables. ↑[Ver página 107](#)
- [CONDESAN] Memorias, pp. 42-58. CONDESAN, Ministerio del Ambiente del Ecuador, Quito. ↑[Ver página](#)
- [Moriña, 2016] Moriña, A. (2016). Investigar con Historias de Vida: Metodología biográfico-narrativa (Vol. 142). Narcea Ediciones. ↑[Ver página 105](#)
- [Paolo, 1999] Paolo Donati, P. (1999). Familias y generaciones. Desacatos. En: Revista de Ciencias Sociales, (2) ↑[Ver página 106](#)
- [Patton, 1980] Patton Q. 1980. Qualitative Evaluations Methods. Beverly Hills.C.A. Sage Publications. ↑[Ver página 107](#)
- [PNN, 2005] PNN-Parques Nacionales Naturales (2005) Parque Nacional Natural Chingaza, una revisión a su crecimiento. ↑[Ver página 107](#)
- [Quijano Hoyos, 2018] Quijano Hoyos, M. (2018). Estrategias de conservación en el Parque Nacional Natural ↑[Ver página 106](#)
- [Quiroz] Chingaza a través de las coberturas vegetales y los planes de manejo. Quiros, O., ↑[Ver página](#)
- [Suarez-Balcazar, 1995] Suarez-Balcazar, Y., Balcazar, F. E., Quiros, M. & Chávez, M. (1995). A case study of international cooperation for community development and primary prevention in Costa Rica. En: Prevention in Human Services, 12,3-23. https://doi.org/10.1300/J293v12n01_02 ↑[Ver página](#)
- [Ramón, 2000] Ramón, G. (2000). Cambios históricos en el manejo de los suelos serranos. Manejo, recuperación y conservación de los suelos serranos. CAMAREN, Quito. En: Aida Elena Baca-G Reflexiones sobre los procesos de ocupación humana en los páramos. situación actual del páramo volcán Chiles. Colombia: Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 17(1): 217-226, <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n1.2014.957> Enero-Junio, 2014. ↑[Ver página](#)
- [Rincón, 2015] Rincón, L. N. G. (2015). Los páramos en Colombia, un ecosistema en riesgo. Ingeniare, (19), 127-136. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.19.530> ↑[Ver página 104](#)

- [Rivera Ospina, 2017] Rivera Ospina, D. (2017). Definición de criterios para la delimitación de los diferentes tipos de Páramos del País y de lineamientos para su conservación: parte 1 Propuesta de tipología socioecológica de los Páramos del País. Propuesta de criterios que deben guiar los procesos de delimitación del Páramo. Análisis de limitaciones y oportunidades de aplicación de criterios de delimitación de Páramos. Bogotá, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ↑Ver página 104
- [IIRBAvH] Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt ↑Ver página
- [Sancho, 2014] Sancho Gil, Juana María (2014) Historias de vida: el relato biográfico entre el autoconocimiento y dar cuenta de la vida social. En: Praxis Educativa (Arg) [en línea] 2014, 18 (Julio-Diciembre) ↑Ver página 103
- [Sarmiento, Osejo, Ungar, & Zapata, 2017] Sarmiento, C., Osejo, A., Ungar, P., & Zapata, J. (2017). Páramos habitados: desafíos para la gobernanza ambiental de la alta montaña en Colombia. Biodiversidad en la Práctica, 2(1), 122-145. ↑Ver página 104
- [Schjellerup, 1992] Schjellerup, I. (1992). Pre-columbian field systems and vegetation in the jalca of notheastern Peru. En: H. Balslev y J. L. Luteyn (Eds.). Paramo: An Andean ecosystem under human influence, pp. 137-150. Academic Press, London. ↑Ver página
- [SIG, 2017] SIG (2017). Sistema de Información Geográfica de la Universidad de los Llanos. 107 ↑Ver página
- [Varguillas, 2006] Varguillas, Carmen. (2006) El uso de atlas.Ti y la creatividad del investigador en el análisis cualitativo de contenido upel. Instituto pedagógico rural el mácaro. Laurus [en línea] 2006, 12 [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2018] Disponible en:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76109905>ISSN1315-883X> ↑Ver página 107
- [Veras, 2010] Veras, E. (2010). Historia De Vida: ¿Un Método Para Las Ciencias Sociales? Cinta de Moebio (39), 142-152. <https://doi.org/10.4067/S0717-554X2010000300002> ↑Ver página 105
- [Verjel, Navarro, & Barrera, 2015] Verjel, D. A. B., Navarro, R. D., & Barrera, J. C. C. (2015). La destrucción de los páramos colombianos y su impacto ambiental. revista convicciones, 2(3), 38-43. ↑Ver página 105
- [Vygotsky, 1996] Vygotsky, L. (1996). Psicología infantil. Obras escogidas, vol. 4. Madrid: Visor ↑Ver página 103



Perspectiva para el uso del modelo P6 de atención en salud bajo un escenario soportado en IoT y *blockchain*

Perspective for the use of the p6 model of health under a scenario supported by the *IoT* and *Blockchain*

Roberto Albeiro Pava Díaz ¹, José Nelson Pérez Castillo ² & Luis Fernando Niño Vásquez ³

Fecha de Recepción: 11 de Junio de 2020

Fecha de Aceptación: 3 de noviembre de 2020

Cómo citar: Pava-Díaz., R.A. Pérez-Castillo., J.N. y Niño-Vásquez., L.F. (2021). Perspectiva para el uso del modelo P6 de atención en salud bajo un escenario soportado en IoT y blockchain. *Tecnura*, 25(67), 112-130. <https://doi.org/10.14483/22487638.16995>

Resumen

Objetivo: Se introduce la tecnología *blockchain*, incluidas sus principales características. También se discute el modelo de medicina P6 para la atención centrada en el paciente, y se presentan las aplicaciones de la tecnología *blockchain* como una capa de seguridad e interoperabilidad para dispositivos médicos *IoT* y sistemas de información hospitalarios.

Metodología: Se realizó una revisión de las publicaciones registradas en las colecciones bibliográficas de *IEEE Xplore* y *Scopus*, con un filtro sobre las publicaciones enfocadas en *blockchain*, *IoT* y salud. El análisis de los artículos se enfocó en el planteamiento de un escenario de congruencia funcional de estos tres elementos.

Resultados: Se presentan las aplicaciones de *blockchain* e *IoT* para el cuidado integral de la salud, con una esquematización de la interacción de

dicha tecnología entre los sistemas de información hospitalarios y los sensores médicos de *IoT* para la creación de las condiciones necesarias en la implementación de la medicina P6.

Conclusiones: Se identificó la aplicación de la tecnología *blockchain* como la capa de interoperabilidad necesaria entre sistemas de información hospitalarios, centros de investigación, pacientes, médicos y comunidad interesada; para generar un entorno confiable de flujo de información entre los diferentes actores que dinamice los procesos de investigación y atención en salud.

Palabras clave: *blockchain*, *IoT*, modelo de atención P6, cuidado de la salud, interoperabilidad.

Abstract

Objective: *Blockchain* technology, including its main features, is introduced. The P6 medicine model for

¹Ingeniero de Sistemas, especialista en Redes de Alta Velocidad y Distribuidas, magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D. C., Colombia. Correo electrónico: rapavad@udistrital.edu.co

²Ingeniero de Sistemas, especialista en Sistemas de Información Geográfica y Cartografía, magíster en Teleinformática y doctor en Informática. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D. C., Colombia. Correo electrónico: jnperezc@udistrital.edu.co

³Ingeniero de Sistemas, magíster en matemáticas, magíster en Ciencias de la Computación, doctor en Ciencias de la Computación. Docente de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Bogotá D. C., Colombia. Correo electrónico: lfninov@unal.edu.co

patient-centered care is also shown, and finally, the applications of *Blockchain* technology as a security and interoperability layer for *IoT* medical devices and hospital information systems is presented.

Methodology: A review of the publications registered in the bibliographic collections of IEEE Xplore and Scopus was carried out, with a filter on publications focused on *Blockchain*, *IoT* and health, in addition. The analysis of the articles focused on the approach of a functional congruence scenario of these three elements.

Results: *Blockchain* and *IoT* applications for comprehensive health care are presented, with an outline of the interaction of Blockchain technology between hospital information systems and *IoT*

medical sensors to create the necessary conditions in the implementation of the P6 medicine.

Conclusions: The application of *Blockchain* technology was identified as the necessary interoperability layer to allow interoperability between hospital information systems, research centers, patients, doctors and the interested community, to generate a reliable environment for the flow of information among the actors that allow it, and will enhance streamline research and healthcare processes.

Keywords: blockchain, *IoT*, P6 medicine, Interoperability and health care domains.

Tabla de Contenidos

INTRODUCTION	113
METODOLOGÍA	114
FUNDAMENTOS DE BLOCKCHAIN	114
Aspectos generales en una <i>blockchain</i>	114
Antecedentes teóricos	116
CUIDADO DE LA SALUD	116
BLOCKCHAIN EN EL SECTOR SALUD	119
Registros médicos electrónicos	119
BLOCKCHAIN, IoT Y SALUD	121
Monitoreo remoto del paciente	122
Cadena de suministro farmacéutica	122
Gestión de compras de suministros médicos	122
CONCLUSIONES	124
REFERENCIAS	124

INTRODUCTION

Actualmente la medicina se está orientando hacia el paciente, esto se refleja en el nuevo modelo *P6*: *personalized, predictive, preventive, participatory, psycho*

cognitive, public, de atención integral para la salud, el cual requiere la generación de escenarios que permitan compartir y procesar información médica, de forma segura, interoperable y trazable. Por otro lado, *blockchain* ha sido catalogada como una de las tecnologías con mayor grado disruptivo en la última década; desde sus inicios, en 2008, ha transformado el sector financiero, económico y legal, pero más allá de las aplicaciones referentes a dinero digital, la tecnología de registro distribuido como *blockchain* ha generado interés tanto en el sector académico como del productivo, y se han diseñado soluciones para: registro y certificado de documentos, identificación de individuos, sistema de votación electrónica y registro de valor.

Por esto, *blockchain* junto con *IoT* se perfilan como el soporte tecnológico fundamental para un cuidado de la salud centrado en el paciente. A continuación se describe la metodología utilizada, seguido de una introducción a la tecnología *blockchain* y una contextualización del panorama general en la aplicación de blockchain e *IoT* en el sector salud. Por último, se presentan las conclusiones de la interacción *IoT*, *blockchain* para un modelo de medicina *P6*.

METODOLOGÍA

Se realizó una consulta en las bases de datos de *IEEE Xplore* y *Scopus*, con la cadena de búsqueda (*Blockchain AND (IoT OR 'P6 medicine' OR 'health care')*) en el periodo entre 2009 y 2019. Posteriormente se realizó una clasificación manual de artículos, tomando como criterios título, *abstract* y conclusiones; el subconjunto seleccionado para lectura permitió extraer los elementos relativos a las características principales de *blockchain* y sus mecanismos de aplicación junto con IoT en salud. Finalmente, se agregó bibliografía secundaria relacionada en los documentos analizados.

FUNDAMENTOS DE *BLOCKCHAIN*

Blockchain inicia en 2008 con la publicación informal de un documento técnico en un foro de criptografía, en el cual se describe un sistema de dinero electrónico denominado *criptomoneda*, basado en una red distribuida y descentralizada que da solución al problema del doble gasto; esta criptomoneda se acuñó como *bitcoin* (Nakamoto, 2008). *Blockchain* ha impactado nuestra sociedad al posibilitar la creación de escenarios que no requieren un entorno centralizado soportado en un tercero de confianza, quien debe garantizar la integridad y confidencialidad de la información (Ahram *et al.*, 2017). En su inicio *blockchain* se utilizó principalmente en economía para la creación de criptomonedas (Brandon, 2020), pero su uso se extendió a entornos donde se requería información confiable entre un grupo de usuarios, lo que se refleja en soluciones propuestas para certificación de documentos, votaciones, cadena de suministro y logística, identificación, gobernabilidad y salud (Nomura Research Institute, 2016).

Aspectos generales en una *blockchain*

Blockchain se define como un registro de datos distribuido y descentralizado que preserva un

conjunto de transacciones almacenadas en unidades denominadas bloques, los cuales se enlazan secuencialmente en el tiempo. Las transacciones son verificadas y aprobadas mediante la aplicación de un protocolo de consenso entre los miembros de la red antes de ser registradas en la *blockchain*, y una vez se ha agregado un bloque no podrá ser eliminado o modificado sin el consentimiento de la mayoría (Antonopoulos, 2014).

Las características de una *blockchain* son:

- *Privacidad*. El diseño de una *blockchain* permitirá un anonimato parcial o total en las transacciones. Así mismo, posibilita asignar permisos a los nodos de la red en tres configuraciones: a) pública: todos los participantes pueden leer, validar y agregar transacciones; b) consorcio: un subconjunto de participantes tiene el rol de validar y agregar transacciones, con una lectura de información que puede ser pública, y d) privada: dispone de un control de permisos centralizado para administrar los nodos. Por ejemplo, la red de *bitcoin* es una *blockchain* pública por lo cual se pueden adicionar nodos libremente y es posible realizar la trazabilidad completa de las transacciones, y en caso de conocer el propietario de una llave pública, se tendrá la asociación entre usuario y transacciones (Feng *et al.*, 2019).
- *Escalabilidad*. Al ser un sistema distribuido y descentralizado, la escalabilidad de la red, medida en el número de transacciones por segundo (TPS), está limitada por el algoritmo de consenso implementado en la *blockchain*. Por ejemplo, *bitcoin* soporta 7 TPS; *ethereum*, 15 TPS; *litecoin*, 56 TPS; *bitcoin cash*, 60 TPS, y *ripple*, 1500 TPS (Gervais *et al.*, 2016).

La Tabla I muestra datos comparativos del desempeño de las *blockchain* de *bitcoin* y *ethereum* (versión PoW), determinados por el número de transacciones, la cantidad de energía eléctrica consumida y el costo de confirmar una transacción. Estas dos *blockchain*

Tabla I. Datos de funcionamiento de las *blockchain* de *bitcoin* y *ethereum*

	TPS	TWh (año)	País de referencia	KWh (trans.)	Costo (USD)		
					Mín.	Máx.	Actual
Bitcoin	7	48,74	Singapur	394	0	147	19
Ethereum	15	8,93	Etiopia	47	0,0566	5,528	0,0908

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Listado de Algoritmos de Consenso aplicados en *Blockchain*

Algoritmo de consenso	Casos de aplicación
Proof of work (PoW)	Nakamoto (2008); Ethereum Foundation (2015); Litecoin Foundation (2017); BitcoinCash (2017).
Proof of stake (PoS)	PIVX Community (2018); Bitmoney Inc. (2019); Vasin (2014).
Delegate proof of stake (DPoS)	BitShares Blockchain Foundation (2013); Cardano Foundation (2020); Trew, Brandon y Dorier (2017); Block.one (2017).
Leased proof of stake (LPoS)	Waves Technologies (2016); Nix Platform (2018).
Proof of authority (PoA)	Kovan Github (2014).
Proof of existence (PoE)	Silent Notary (2018); po.et Foundation (2018).
Byzantine fault tolerance (BFT)	The Linux Foundation (2017); Sajana, Sindhu y Sethumadhavan (2018).
Delegated byzantine fault tolerance (dPBFT)	Neo Foundation (2017).
Practical byzantine fault tolerance (pBFT)	Seeley (2018).
Proof of importance (PoI)	The NEM Group Ltd. (2018).
Proof of brain (PoB)	Steem Inc. (2017).
Proof of elapsed time (PoET)	Bowman y Gendal (2018).
Proof of burn	P4Titan (2014); Counterparty Inc. (2019); Snow <i>et al.</i> (2018).
Proof of space (PoSpace)	Burstcoin Inc. (2014); Alwen et al. (2015).
Proofs of space and time (PoST)	Cohen (2019).
Direct acyclic graphs (DAG)	Popov (2018).
Ripple protocol consensus algorithm	Schwartz, Youngs y Britto (2018).

Fuente: elaboración propia.

han sido las de mayor interacción en el mercado de criptomonedas y han presentado problemas de escalabilidad, con los consecuentes niveles de consumo de energía eléctrica similares a los de una nación como Singapur o Etiopia, situación que se traduce en elevadas tasas de comisión por transacción. *Bitcoin* inició sin costo de comisión por transacción y llegó a un máximo histórico de 147 USD el 24 de diciembre de 2017, actualmente se encuentra en 19 USD. La red de *ethereum* alcanzó el valor máximo por transacción el 2 de julio de 2018 (Brandon, 2020).

- *Gobernanza*. La transición de entornos centralizados a ambientes descentralizados –por ejemplo, el cambio de un sistema financiero controlado por los bancos a un sistema financiero autogestionado por la comunidad– elimina los riesgos generados por un control y presión que se puedan ejercer de forma directa sobre el sistema, pero demanda la modificación de políticas de gestión en el interior de las organizaciones, y la adaptación de marcos metodológicos de gestión corporativa, que permitan la correcta selección del tipo de *blockchain* conforme a las características de la organización (Vauplane, 2017, Hassan y Primavera, 2017).
- *Sistema de consenso*. El algoritmo de consenso establece el mecanismo por el cual se propende por garantizar la integridad de la información almacenada en la *blockchain*. Permite a los nodos de la red validar las transacciones y conservar un historial único con el objeto de prevenir un cambio fraudulento en la cadena de bloques (Bach, Mihaljevic y Zagar, 2018, Gramoli, 2020, Sankar, Sindhu y Sethumadhavan, 2017, Zheng et al., 2017). La Tabla II contiene una relación de los algoritmos de consenso propuestos para *blockchain*, con un conjunto de casos de aplicación para cada uno de ellos.

Antecedentes teóricos

La figura 1 es una síntesis de los antecedentes teóricos de *blockchain*. Inician con las funciones *hash* y su aplicación para firmas digitales, en los años 1976 y 1978, respectivamente. En 1991, se publica el concepto de *cadena de marcas de tiempo* para certificar la creación de un documento digital; esta hacía uso de la estructura de datos árbol de Merkle propuesta en 1980. En 1993, se presenta la prueba de trabajo y se implementa en *hashcash* como mecanismo para reducir el correo spam; pero es hasta la aparición de *b-money* que se asientan los referentes para la implementación de un sistema de transferencia de valor distribuido y descentralizado. En 2009, aparece la primera generación de *blockchain*, desarrollada bajo los lineamientos propuestos por (Nakamoto, 2008) en *bitcoin*, y se centra en la creación de sistemas públicos, descentralizados y distribuidos para un registro inmutable de transacciones en procesos de transferencia de valor. Debido a las limitaciones de los lenguajes *script* se evoluciona a la generación 2.0, la cual es liderada por Vitalin Buterik, cofundador del proyecto *ethereum*. En esta generación se incluyen lenguajes Turingcompletos para potenciar el desarrollo de aplicaciones descentralizadas basadas en el uso de contratos inteligentes.

Por último, la generación 3.0 se orientó en los problemas encontrados en sus predecesores, principalmente en los algoritmos de consenso que determinan el número de transacciones por segundo, limitan la escalabilidad de la red y dificultan la interoperabilidad entre cadenas de bloques.

CUIDADO DE LA SALUD

La Organización Mundial de la Salud (WHO, por su sigla en inglés) define la salud como un estado de bienestar dado en tres dimensiones: física, mental y social. Igualmente, la concibe como un derecho fundamental de los individuos, y un requisito indispensable para una sociedad segura y en paz. La responsabilidad de la salud

conciene a todos los pueblos del mundo, y requiere de un trabajo mancomunado que permita la transferencia de conocimientos y buenas prácticas para la toma de decisiones referentes a salud pública (World Health Organization, 2005). Esta concepción de salud está generando una transformación del modelo de atención, pasando de un esquema centrado en el médico (modelo P0) a un entorno orientado al paciente (modelo P6), el cual se encuentra basado en seis características: un sistema de salud con información *pública* e interoperable entre los diferentes actores, que permita una mayor *participación* del paciente en su tratamiento y con facilidades de apoyo *psicocognitivo* de la comunidad,

enfocando el sistema de salud en una medicina *preventiva, predictiva y personalizada*.

En la figura 2 se representa el desarrollo incremental de los modelos de atención en salud, partiendo desde P0 hasta P6 (Bragazzi, 2013, Bragazzi y Del Puente, 2013). En el modelo P0, el médico era el actor principal y el paciente participaba de forma pasiva en su proceso de recuperación; en contraste, el modelo P6 tiende por una medicina de precisión, en la cual la sanación se personaliza al paciente, quien ahora tiene un papel activo que le permite integrar su núcleo familiar y personal, además del apoyo de la comunidad interesada por un padecimiento particular.

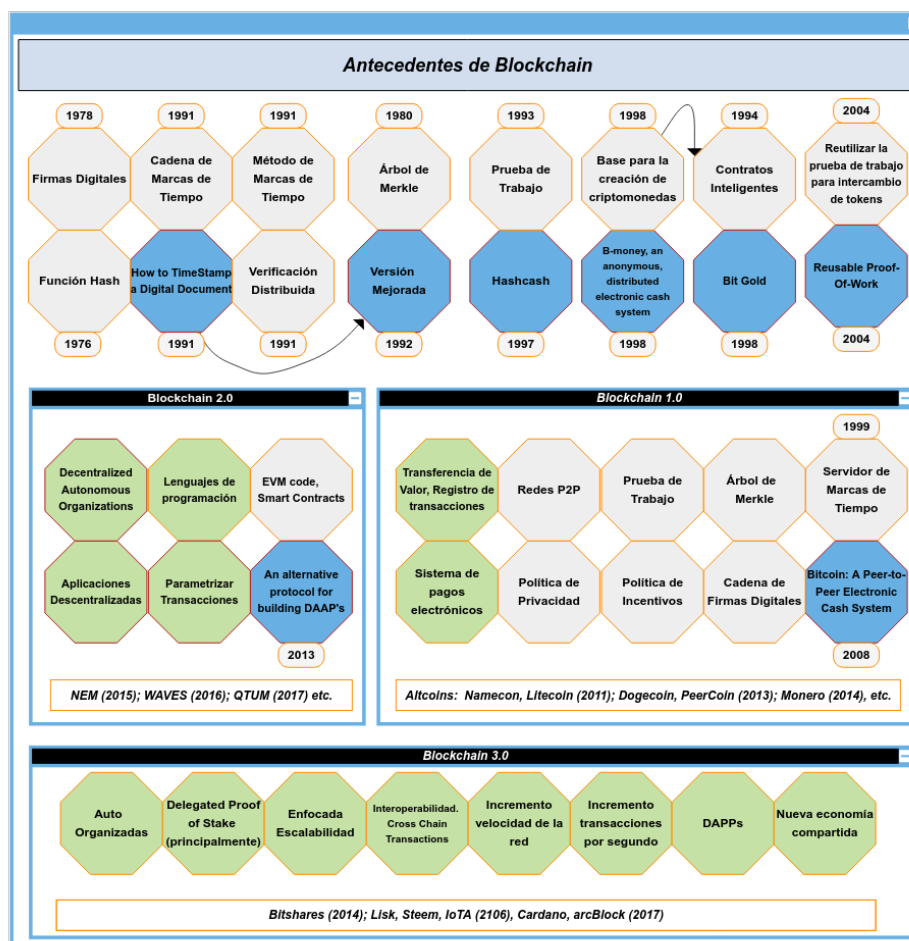


Figura 1. Antecedentes teóricos y generaciones de la tecnología blockchain

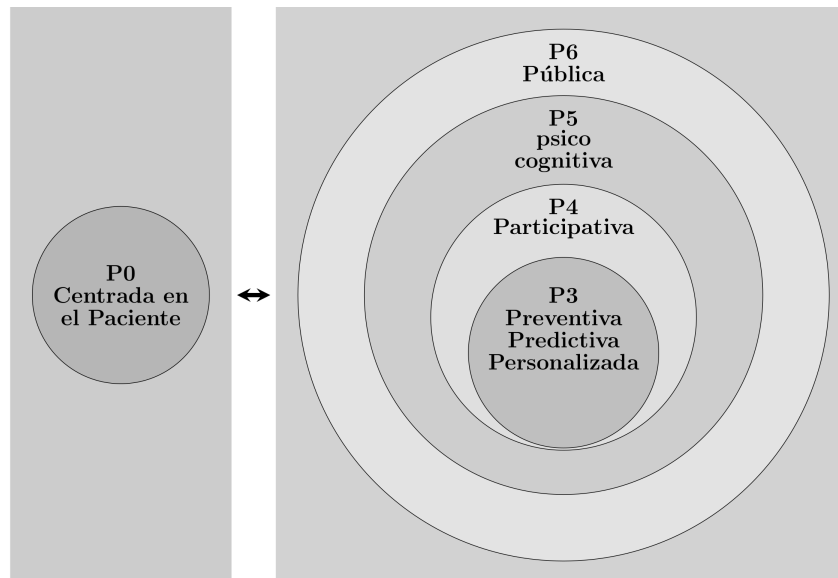


Figura 2. Evolución del modelo de atención en salud

Fuente: elaboración propia.

La investigación actual se conduce hacia la implementación del modelo P6, lo cual implica cambios en la gestión del cuidado de la salud con un nuevo comportamiento de los actores involucrados. En este contexto *blockchain* e IoT emergen como soporte tecnológico que posibilitan la prestación del servicio orientado al paciente (Hölbl, Kompara, Kamišali y Nemeč, 2018), con una asertiva auditoría de los eventos de atención en salud y prescripción de medicamentos. Esto facilita la ubicuidad de la información médica, con recolección de datos médicos del paciente de forma automática y consensuada, mediante el despliegue de mecanismos de autorización para la visualización de datos clínicos de forma controlada, lo cual permite compartir de forma anónima su información clínica en procesos de diagnóstico e investigación médica.

En este contexto, la figura 3 ilustra la interacción de *blockchain*, IoT y el modelo P6 de atención en salud. Como se mencionó anteriormente, la salud se percibe como un estado mediado por un bienestar mental, físico, y social de la persona, razón por la cual la atención en salud debe incluir estos tres

factores enfocados desde la perspectiva del paciente, por ser quien mejor conoce su estado, lo cual permitirá un mejor diagnóstico y tratamiento por parte de los profesionales de la salud.

El modelo P6 requiere un flujo confiable de información médica sensible entre pacientes, prestadores de salud, instituciones de investigación, comunidades de interés y núcleo familiar. *Blockchain* permitirá el diseño de un escenario seguro, confiable, auditable y ubicuo para compartir información médica; facilitará, por ende, los procesos de investigación clínica para diagnóstico oportuno y personalizado del paciente; agregará una capa de seguridad para la administración de los dispositivos médicos IoT que monitorean el estado de salud físico del paciente.

Finalmente, un ambiente de flujo de información con estas características provee las condiciones necesarias para la atención integral en salud que facultará una medicina predictiva con la capacidad de predecir ocurrencias de enfermedades por la proyección de estados futuros de salud del paciente, con lo cual se logra una medicina preventiva y personalizada dotada de herramientas para diagnós-

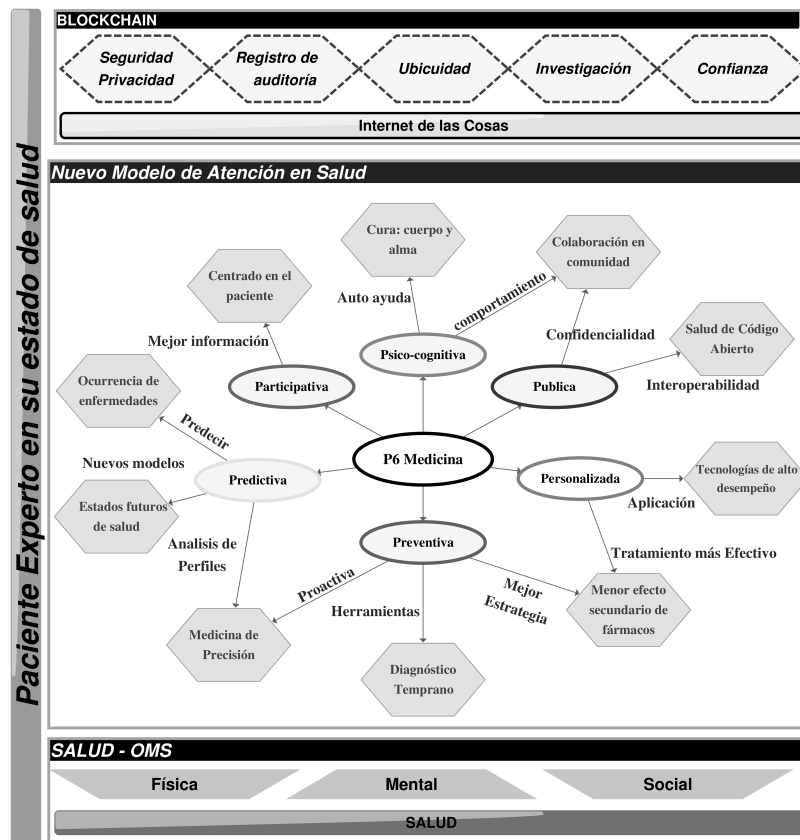


Figura 3. Interacción de Blockchain con el modelo p6 de atención en salud
Fuente: elaboración propia.

tico temprano con tratamientos personalizados de mayor eficacia y mitigación de posibles efectos adversos.

Para finalizar, la información generada en los procesos de atención médica debe ser pública, previo consentimiento de los involucrados, que habilite la colaboración de las comunidades en entornos confidenciales, con una participación activa del paciente que le permita acceder a un apoyo psicosocial en su proceso de enfermedad.

BLOCKCHAIN EN EL SECTOR SALUD

Blockchain se ha aplicado principalmente en dos áreas: a) registro electrónico de historial clínico

con la definición de métodos para consultar y compartir información, y b) verificación sobre la cadena logística relacionada con la industria farmacéutica (Abujamra y Randall, 2019, Kuo, Kim y Ohno-machado, 2017, McGhin, Choo, Liu y He, 2019).

Registros médicos electrónicos

Los actuales sistemas de gestión de información médica (*electronic health records –EHR–*) no serán sustituidos por sistemas tipo *blockchain*; por el contrario, se espera que estos se adapten y coexistan para desplegar las ventajas que ofrece la tecnología de registro distribuido (Pirtle, 2018) y el cumplimiento de normas de seguridad de la información (Arévalo-Ascanio, Bayona-Trillos y

Rico-Bautista, 2015). A continuación, se describen las características objetivo que modificará una implementación de *Blockchain* en un sistema de gestión de registros médicos electrónicos (Mettler, 2016).

- *Acceso seguro a los datos.* Se agrega una capa de seguridad que permite una identidad anónima de los usuarios, con procesos de identificación y autorización de pacientes legítimos validados en la *blockchain*. Esta identidad anónima facilita la colaboración de los pacientes con otros individuos u organizaciones, la expedición de seguros médicos en un entorno confiable y la corroboración de resultados de ensayos clínicos e investigaciones (Dubovitskaya et al., 2018).
- *Intercambio de información médica (health information exchange –HIE–).* El acceso e integración del historial médico que se almacena en las bases de datos centralizadas posibilita la construcción de un historial clínico único del paciente, lo que facilita la interacción entre médicos, especialistas, terapeutas y farmacias; independientemente del sitio donde se realice la atención. Este escenario requiere la implementación de mecanismos de interoperabilidad entre *blockchain* y prestadores de salud (Peterson, Deeduvanu, Kanjamala y Boles, 2016).
- *Gestión gubernamental de registros médicos (e-Health records).* El caso más representativo se encuentra en Estonia (Williams-Grut, 2016), donde el sistema de salud se ha soportado en *blockchain*, y su implementación se ha realizado en conjunto con la compañía Guardtime (2019). En esta *blockchain* interactúan los ciudadanos, los prestadores de salud y las empresas aseguradoras del sector, y se lleva un registro de consultas y actualizaciones realizadas sobre los registros médicos (Griggs et al., 2018).

- *Investigación médica.* A continuación se presentan las cuatro aplicaciones/escenarios más sobresalientes en la literatura diseñadas sobre *blockchain*, orientadas a procesos de investigación en medicina: a) diagnóstico colaborativo: en un entorno con acceso a la información descentralizada, los especialistas médicos pueden trabajar conjuntamente para generar un consenso sobre el estado de salud de un paciente basado en la evidencia médica registrada en su historia clínica, la información de la literatura científica y de las bases de datos biológicas (Talukder, Chaitanya, Arnold y Sakurai, 2018). b) Healthbank: sistema de intercambio de información bajo el estándar de seguridad suizo (*Swiss security standard*), que permite compartir datos con médicos, centros de atención, familiares o público en general; y realizar transacciones sobre el historial clínico de un paciente con el objeto de conformar una red de investigación en medicina. El diseño del sistema permite la lectura de datos de múltiples orígenes y formatos médicos (HealthBank Cooperative, 2019). c) GemHealth Network: sistema de historial clínico implementado sobre *ethereum* (GemOS Inc, 2018) para la consulta de información médica actualizada por parte de un conjunto de especialistas. Este tipo de sistemas son un factor clave para reducir problemas de negligencia médica por información incompleta, puesto que pondrá a disposición del personal médico todos los datos relacionados con episodios de salud del paciente (Mettler, 2016). d) MedRec: diseñado para realizar una integración con los sistemas de información desplegados en cada prestador de salud, con el objetivo de interconectarlos para la investigación médica (Ekblaw, Azaria, Vieira y Lippman, 2016, Nchinda, Cameron, Retzepi y Lippman, 2019).

El diseño usa una *blockchain* como capa intermedia que permite el registro y validación de los usuarios identificados como pacientes, médicos

y centros de atención en salud; además de permitir la lectura de los repositorios médicos alojados en cada institución. Se implementó tomando como base el código fuente de *ethereum* ([Ethereum Foundation, 2015](#)), con la modificación en el cálculo de la llave pública para hacer uso de una cadena de texto con información de identificación del paciente e incluir el número de seguridad social o número único de identificación personal; y la adición de un servicio de traducción, similar a un DNS, entre la llave pública de un usuario y su respectiva dirección *ethereum*.

El acceso y flujo de la información se controla mediante tres contratos inteligentes: contrato 1, de registro de identidad (*registrar contract –RC–*) responsable del registro único de usuarios, con la asociación entre la cadena usada para la identificación y su dirección *ethereum*. Contrato 2, de interacción paciente-proveedor (*patient provider relationship contract –PPR–*) donde se configura el mecanismo de comunicación entre un proveedor, quién almacena y administra los registros médicos, y un paciente que es el propietario de sus registros. El PPR crea un inventario de la información del proveedor y lo almacena en un listado de consultas tipo SQL para su persistencia en una base de datos relacional, junto con los datos necesarios para la conexión. Cada resultado generado por una consulta es certificado por el cálculo de su *hash*. Finalmente, este contrato implementa la asignación de permisos y el contexto para para que un paciente pueda compartir su historial médico. El contrato 3, de historial médico (*summary contract –SSC–*) recopila el listado de orígenes de datos registrado en los PPR para un usuario, y le permite al a un usuario el retiro o reingreso al sistema, característica fundamental para el cumplimiento de las normas referentes al derecho al olvido, conforme a la jurisprudencia de cada nación.

Por último, el sistema presenta cuatro módulos, la librería Backend, un cliente *ethereum*, el controlador de la base de datos y el administrador para el sistema de registros médicos electrónicos. La librería Backend es el conjunto de librerías que abstrae la comunicación con la *blockchain* e

interactúa con el cliente *ethereum*. El cliente *ethereum* es implementación de un nodo completo, con la adición de un servicio de localización para la ejecución de los contratos SC, y para la notificación de las actualizaciones en las bases de datos de terceros, aplica un consenso mediado por una prueba de trabajo y propone como incentivo a los mineros el acceso a datos médicos anónimos. En el prototipo implementado se agregó una consulta de recompensa al contrato PPR, por ejemplo, un minero podría recibir los datos de los niveles de hierro de todos los pacientes en periodo de tiempo. Una vez un proceso de minado es finalizado, se actualiza el PPR y los usuarios lo confirman o rechazan ensus SSC. El controlador de la base de datos: proporciona una interfaz de comunicación con los repositorios de información locales de los prestadores de salud, conforme a los permisos establecidos en la *blockchain*. Y finalmente el administrador para el sistema de registros médicos electrónicos, responsable de administrar el historial médico almacenada por cada proveedor. El historial médico del paciente se encuentra distribuido entre todos sus prestadores de salud. El éxito de la interoperabilidad depende de la aplicación de estándares abiertos para el intercambio de información en salud, como por ejemplo el uso *fast healthcare interoperability resources* ([Health Level Seven International, 2011](#)).

BLOCKCHAIN, IoT Y SALUD

El uso de dispositivos para el monitoreo de pacientes (Medical IoT, MIoT) se ha incrementado en los últimos años, con un pronóstico de ventas de USD 538 millones para el periodo 2018-2022 ([Infiniti Research Limited, 2018](#)), además de un incremento en su aplicación en la cadena de fabricación y suministro de alimentos ([Nivia y Jaramillo, 2018](#), [Ruge y Pérez, 2017](#)). Estos sensores generan información médica sensible del paciente y se configuran dentro de una red inalámbrica de alcance corporal (*wireless body area networks –WBAN–*). Estos sensores demandan de medios de transmisión confiables y seguros para preservar los datos clínicos

del paciente (*protected health information* –PHI–), y facilitar su administración y su registro en el historial médico alojado en el prestador de salud (Crosby, Ghosh, Murimi y Chin, 2012).

Monitoreo remoto del paciente

Alblooshi, Salah y Alhammadi (2018) proponen un sistema de registro distribuido tipo *ethereum*, orientado a fabricantes de dispositivos médicos IoT (MIoT) pacientes y hospitales, para la administración de MIoT mediante el uso de contratos inteligentes. En esta *blockchain* se puede certificar la procedencia de un MIoT para mitigar el contrabando y la falsificación de dispositivos o auditar el derecho a la propiedad de estos. Los contratos inteligentes verifican la información de los MIoT, generando alertas de adulteración, desconexión o falsificación a los involucrados.

Cadena de suministro farmacéutica

La vigilancia en la fabricación y distribución de medicamentos es esencial para la creación y aplicación de políticas de salud pública gubernamental. El delito de falsificación de medicamentos es una industria multimillonaria con ganancias de USD 75 000 millones, únicamente en Estados Unidos. Afecta principalmente a los países en vía de desarrollo, y se estima que un 30% de los medicamentos distribuidos en las farmacias han sido adulterados. Esta situación genera problemas como: afectación en el estado de salud del paciente, incluso ocasionar la muerte; pérdida de la confianza de la población en un medicamento o el laboratorio que lo produce; aumento del riesgo de generar resistencia a medicamentos antimicrobianos con la subsiguiente aparición de infecciones farmacorresistentes (World Health Organization, 2010, World Health Organization, 2018).

Blockchain ofrece un mecanismo para que los interesados en comercializar medicamentos puedan realizar una trazabilidad completa sobre un producto médico, obteniendo de forma

confiable la información de producción, efectos secundarios reportados y la supervisión de las condiciones ambientales necesarias para su traslado y almacenamiento.

Finalmente, Modum.io AG (2017) se enfoca en implementar un sistema que permita el monitoreo confiable de las variables asociadas a dispositivos IoT durante el transporte de medicamentos, específicamente para un sensor de temperatura en su fase inicial (Modum.io AG, 2017, Bocek, Rodrigues, Strasser y Stiller, 2017). Modum.io AG está compuesto por:

- Un sensor de temperatura que opera en el rango [-40 °C, 70 °C] con intervalos de lectura de un segundo hasta una semana. El sensor envía la información a un dispositivo móvil por BLE (*bluetooth low energy*) previamente conectado a través de NFC (*near field communication*).
- Una base de datos relacional en PostgreSQL que almacena los registros generados por sensores de temperatura y la información de los usuarios registrados en el sistema. Un servidor web permite la comunicación (vía RestAPI/JSON) con la aplicación móvil y la *blockchain*.
- La *blockchain* implementa un nodo completo *ethereum*, en el cual se lleva un registro inmutable de la temperatura; y ejecuta un contrato inteligente que invalida el producto cuando se detecte un valor fuera del rango permitido, lo cual genera un reporte que se envía al distribuidor o fabricante; o valida la entrega del medicamento, aprobando las condiciones de transporte. Para el sistema de consenso se utiliza un algoritmo de prueba de existencia (Sankar, Sindhu y Sethumadhavan, 2017).

Gestión de compras de suministros médicos

Para los prestadores de salud se diseñan procesos de adquisición de suministros médicos orientados

a mitigar los riesgos por material en condiciones no óptimas para su aplicación o que han sido falsificados. Celiz, De la Cruz y Sánchez (2018) proponen un modelo de gestión de compras basado en cuatro capas:

- Datos, responsable de la lectura de la información almacenada por los involucrados (vendedor, transportador, comprador) con definición de mecanismos para extracción, carga y transformación.
- IoT, conformada por una red de sensores implementada con Arduino UNO R3 board para medir la temperatura, humedad y ubicación del producto; los datos se transmiten a un servicio en la nube por medio de MQTT (*message queue telemetry transport*) y se almacena bajo un modelo no relacional en Dynamodb.
- Blockchain es el registro inmutable de los datos generados por los sensores y supervisión de las condiciones de los productos mediante contratos inteligentes. Se implementó en Hyperledger sobre Amazon Cloud y se desplegó en Hyperledger Fabric ([The Linux Foundation, 2017](#)).
- La capa de presentación, desplegada sobre una aplicación web que permite la administración del sistema, crear usuarios, órdenes de compra, y realizar seguimiento en tiempo real.

Para finalizar, en la figura 4 se ilustra la aplicación de *blockchain* en la creación de entornos confiables para uso de sensores médicos e integración entre sistemas de información hospitalarios para generar un proceso de atención en salud bajo el modelo P6 ([Zhang, Xue y Huang, 2016](#)). *Blockchain* se proyecta como la solución para la creación de una red descentralizada para IoT, con gestión de seguridad, confidencialidad y políticas de privacidad, la cual presenta dispositivos

IoT heterogéneos, con características variables en capacidad de procesamiento, almacenamiento y batería, que pueden presentar problemas relacionados con: confidencialidad, integridad, disponibilidad, autenticación, privacidad y lectura en tiempo real ([Sedrati, Abdelraheem y Raza, 2018](#), [Kshetri, 2017](#), [Shrobe, Shrier y Pentland, 2018](#)).

Los dispositivos MIIoT se pueden autorizar mediante *blockchain* con el objetivo de mitigar riesgos de adulteración (*firmware* modificado) del dispositivo o acceso no autorizado a la información de este; además, esta autorización permitirá realizar auditorías, ya que se dispone de un registro inmutable de acciones realizadas sobre los MIIoT. Por otro lado, los sensores IoT junto con la tecnología de registro distribuido están tomando relevancia en la cadena de distribución en general, y en particular en la farmacéutica, por su utilidad para mitigar la distribución de medicamentos falsificados y llevar un control verificable y confiable de las condiciones de transporte y almacenamiento de los productos médicos, con la posibilidad de almacenar información adicional en sistemas relacionales tradicionales como PostgreSQL, tal como lo plantea el sistema Modum.io AG ([Modum.io AG, 2017](#)); con esto se obtiene un conjunto de información de carácter público, con acceso seguro e identidad anónima que permite la colaboración de individuos e instituciones para la atención en salud. Esta colaboración permitirá a la comunidad validar la información de reportes médicos además de activar una participación anónima y recompensada en ensayos clínicos enfocados en una medicina preventiva, personalizada y predictiva.

Por último, la integración de información de atención en salud junto con los mecanismos para compartirla de forma segura y anónima generan redes de interacción médica entre pacientes que les permiten obtener un apoyo psicocognitivo de la comunidad afectada por un padecimiento ([Shae, 2017](#)), un ejemplo de esta situación la tenemos en Gem Health Network ([GemOS Inc, 2018](#)).

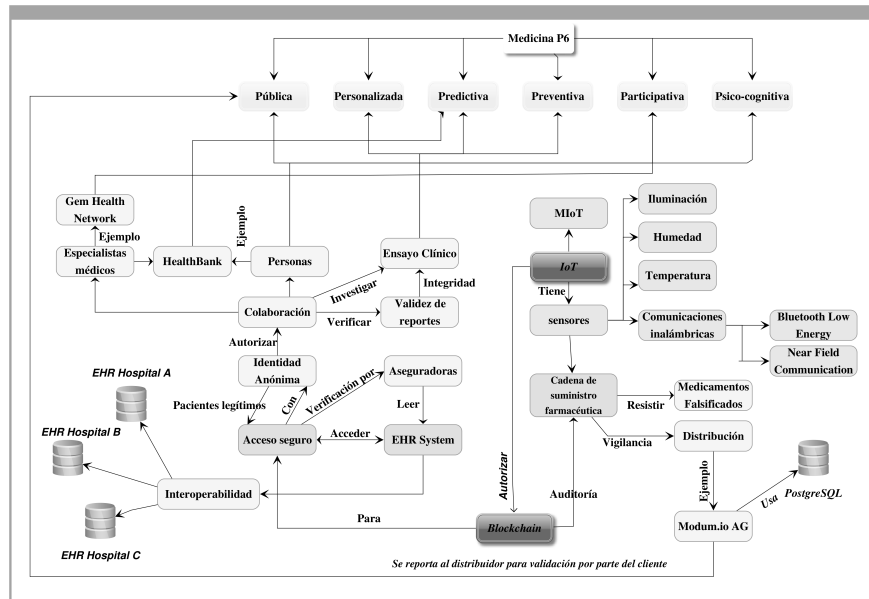


Figura 4. Aplicación de Blockchain e IoT en el sector de la salud

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El conjunto de escenarios de aplicación de *blockchain*, relacionados con la administración de datos clínicos y la gestión de dispositivos médicos IoT (MIoT), evidencia la proyección de esta tecnología para la generación de un modelo de atención en salud P6, puesto que facilita la gestión de datos clínicos descentralizados del paciente, y que actualmente se encuentran bajo el control de los prestadores de salud.

Las características de *blockchain* permitirán al paciente ejercer un control directo sobre su historia clínica, lo que provocará cambios en el modelo de operación de los prestadores de salud, en el papel que desempeña el paciente frente a su condición de salud y en el usufructo de la información clínica asociado a procesos de investigación médica. En este escenario, el paciente podrá decidir con quien desea compartir sus datos médicos y las condiciones para hacerlo; igualmente podrá apelar a su derecho al olvido, a eliminar o a requerir la anonimidad de sus datos médicos.

Los prestadores de salud deberán ajustar su plataforma tecnológica para permitir un entorno interoperable en el sector, que facilite el intercambio seguro de información entre pacientes, especialistas médicos, aseguradoras, farmacéuticas, centros de investigación y comunidad en general. Los contratos inteligentes ayudarán a automatizar tareas de verificación de condiciones; por ejemplo, la expedición de una póliza médica se podrá realizar con información real del estado de salud del paciente, y facilitará la resolución de dudas frente a coberturas o inhabilidades; por otro lado, el mercado de suministros médicos obtendrá un mecanismo para validar la calidad y autenticidad de un producto, lo que ayudaría a disminuir el riesgo de adquirir elementos adulterados, falsificados o de dudosa calidad debido a condiciones deficientes de almacenamiento y transporte.

REFERENCIAS

[Abujamra y Randall, 2019] Abujamra, R. y Randall, D. (2019). Chapter Five - Blockchain applications

- in healthcare and the opportunities and the advancements due to the new information technology framework. En S. Kim, G. C. Deka y Z. Peng (eds.), *Advances in computers* (pp. 141-54). Ámsterdam: Países Bajos: <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.12.002> ↑Ver página 119
- [Ahram *et al.*, 2017] Ahram, T., Sargolzaei, A., Sargolzaei, S. Daniels, J. y Amaba, B. (2017). Blockchain technology innovations (pp. 137-41). Santa Clara, EE. UU.: TEMSCON. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2017.7998367> ↑Ver página 114
- [Alblooshi, 2018] Alblooshi, M., Salah, K. y Alhammedi, Y. (2018). Blockchain-based ownership management for medical IoT (MIoT) Devices. En *International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)* (pp. 151-156). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/INNOVATIONS.2018.8606032> ↑Ver página
- [Alwen, 2015] Alwen, J., Fuchsbaauer, G., Gazi, P., Park, S. y Pietrzak, K. (2015). Spacecoin: a cryptocurrency based on proofs of space. *IACR Cryptology EPrint Archive*, 528, 1-26. Recuperado de <https://eprint.iacr.org/2015/528> ↑Ver página
- [Antonopoulos, 2014] Antonopoulos, A. M. (2014). *Mastering Bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies*. Sebastopol, EE. UU.: O'Reilly Media. ↑Ver página 114
- [Arévalo-Ascanio, Bayona-Trillos y Rico-Bautista, 2015] Arévalo-Ascanio, J. G., Bayona-Trillos, R. A. y Rico-Bautista, D. W. (2015). Implantación de un sistema de gestión de seguridad de información bajo la ISO 27001: Análisis del riesgo de la información. *Tecnura*, 19(46), 123-134. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a10> ↑Ver página 119
- [Bach, Mihaljevic y Zagar, 2018] Bach, L. M., Mihaljevic, B. y Zagar, M. (2018). *Comparative Analysis of Blockchain Consensus Algorithms* (pp. 1545-1550). Opatija, Croacia: MIPRO. Recuperado de <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.8400278> ↑Ver página 116
- [Back, 1997] Back, A. (1997). *Hashcash*. Recuperado de <http://www.cypherspace.org/hashcash/> ↑Ver página
- [Back, 2002] Back, A. (2002). *Hashcash-A denial of service counter-measure*. Recuperado de <http://www.Hashcash.Org/Papers/Hashcash.Pdf>. ↑Ver página
- [Bitcoincash, 2017] Bitcoincash (2017). *Bitcoin cash: peer-to-peer electronic cash*. Recuperado de <https://www.Bitcoincash.org/> ↑Ver página
- [Bitmoney, 2019] Bitmoney Inc. (2019). *Bitmoney: follow the phoenix*. Recuperado de <https://bitmoney.ws/> ↑Ver página
- [] BitShares Blockchain Foundation (2013). *BitShares 2.0 - Industrial-Grade Decentralized (DPoS) eco-system on blockchain*. Recuperado de <https://bitshares.org/> ↑Ver página
- [] Block.one (2017). *Eosio-blockchain software architecture*. Recuperado de <https://eos.io/> ↑Ver página
- [Bocek, Rodrigues, Strasser y Stiller, 2017] Bocek, T., Rodrigues, B. B., Strasser, T. y Stiller, B. (2017). Blockchains everywhere-a use case of blockchains in the pharma supply-chain. En *IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM)* (pp. 772-777). Lisboa, Portugal. DOI: <https://doi.org/10.23919/INM.2017.7987376> ↑Ver página 122
- [Bowman, 2018] Bowman, M. y Gendal, R. (2018). *Hyperledger Sawtooth-PoET*. Recuperado de <https://sawtooth.hyperledger.org/docs/core/releases/1.0/architecture/poet.html> ↑Ver página
- [Bragazzi, 2013] Bragazzi, N. L. (2013). From P0 to P6 medicine, a model of highly participatory, narrative, interactive, and 'augmented' medicine: some considerations on Salvatore Iaconesi's clinical story. *Patient Preference and Adherence*,

- 7, 353-359. DOI: <https://doi.org/10.2147/ppa.s38578> ↑Ver página 117
- [Bragazzi y Del Puente, 2013] Bragazzi, N. L. y Del Puente, G. (2013). Why P6 medicine needs clinical psychology and a trans-cultural approach. *Health Psychology Research*, 1(1), 5. DOI: <https://doi.org/10.4081/hpr.2013.e5> ↑Ver página 117
- [Brandon, 2020] Brandon, Ch. (2020). *Cryptocurrency market capitalizations*. <https://coinmarketcap.com/> Recuperado de ↑Ver página 116
- [Burstcoin, 2014] Burstcoin Inc. (2014). *Burstcoin-The Linux of blockchain*. Recuperado de <https://www.burst-coin.org/> ↑Ver página
- [Cardano Foundation, 2020] Cardano Foundation (2020). *Cardano – Home of the Ada cryptocurrency and technological platform*. Recuperado de <https://www.cardano.org/> ↑Ver página
- [Celiz, 2018] Celiz, R. C., De la Cruz, Y. E. y Sánchez, D. M. (2018). Cloud model for purchase management in health sector of Peru based on IoT and blockchain. En *IEEE 9 th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)* (pp. 328-334). Vancouver, Canadá: IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8615063> ↑Ver página
- [Cohen, 2019] Cohen, B. (2019). *Chia Network-A New blockchain and smart transaction platform that is easier to use, more efficient, and secure*. Recuperado de <https://www.chia.net/> ↑Ver página
- [CounterParty Inc, 2019] CounterParty Inc. (2019). *Counterparty extends bitcoin in new and powerful ways*. Recuperado de <https://counterparty.io/> ↑Ver página
- [Crosby, Ghosh, Murimi y Chin, 2012] Crosby, G. V., Ghosh, T., Murimi, R. y Chin, C. (2012). Wireless body area networks for healthcare: a survey. *International Journal of Ad Hoc, Sensor & Ubiquitous Computing*, 3(3), 1-26. DOI: <https://doi.org/10.5121/ijasuc.2012.3301> ↑Ver página 122
- [Dai] Dai, W. (s. f.). *B-money*. Recuperado de <http://www.weidai.com/bmoney.txt> ↑Ver página
- [Diffie, 1976] Diffie, W. y Hellman, M.E. (1976). New directions in cryptography. *IEEE Transactions on Information Theory*, IT-22(6), 644-654. ↑Ver página
- [Dubovitskaya et al., 2018] Dubovitskaya, A., Xu, Z., Ryu, S., Schumacher, M. y Wang, F. (2018). Secure and Trustable Electronic Medical Records Sharing Using Blockchain. En *AMIA. Annual Symposium Proceedings* (pp. 650-659). American Medical Informatics Association. ↑Ver página 120
- [Dwork, 1993] Dwork, C. y Naor, M. (1993). Pricing via processing, or, combatting junk mail, advances in cryptology. *CRYPTO 92: Lecture Notes in Computer Science*, 740, 139-147. ↑Ver página
- [Ekblaw, Azaria, Vieira y Lippman, 2016] Ekblaw, A., Azaria, A., Vieira, T. y Lippman, A. (2016). MedRec: using blockchain for medical data access and permission management. En *2nd International Conference on Open and Big Data (OBD)* (pp. 25-30). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/OBD.2016.11> ↑Ver página 120
- [Ethereum Foundation, 2015] Ethereum Foundation (2015). *Ethereum project*. Recuperado de <https://www.Ethereum.org/> ↑Ver página 121
- [Feng et al., 2019] Feng, Q., Debiao, H., Sherali, Z., Muhammad, K. K. y Kumar, N. (2019). A survey on privacy protection in blockchain system. *Journal of Network and Computer Applications*, 126, 45-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.10.020> ↑Ver página 114
- [Finney, 2004] Finney, H. (2004). *RPOW - Reusable Proofs of Work*. Recuperado de <https://cryptome.org/rpow.htm> ↑Ver página
- [GemOS Inc, 2018] GemOS Inc. (2018). *The blockchain operating system*. Recuperado de <https://enterprise.gem.co/health/> ↑Ver página 120, 123

- [Gervais *et al.*, 2016] Gervais, A., Ghassan, O. K., Wüst, K., Vasileios, G., Ritzdorf, H. y Srdjan, C. (2016). *On the security and performance of proof of work blockchains* (pp. 3-16). Nueva York, EE. UU.: Association for Computing Machinery. Recuperado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2976749.2978341> ↑Ver página 114
- [Gramoli, 2020] Gramoli, V. (2020). From blockchain consensus back to byzantine consensus. *Future Generation Computer Systems*, 107, 760-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.09.023> ↑Ver página 116
- [Griggs *et al.*, 2018] Griggs, K. N., Ossipova, O., Kohlios, C. P., Baccarini, A. N., Howson, E. A. y Hayajneh, T. (2018). Healthcare blockchain system using smart contracts for secure automated remote patient monitoring. *Journal of Medical Systems*, 42(7), 130-37. Recuperado de <https://dl.acm.org/doi/10.1007/s10916-018-0982-x> ↑Ver página 120
- [Guardtime, 2019] Guardtime (2019). *Guardtime: enterprise blockchain*. Recuperado de <https://guardtime.com/> ↑Ver página
- [Hassan y Primavera, 2017] Hassan, S. y Primavera, De F. (2017). The expansion of algorithmic governance: from code is law to law is code. *Field Actions Science Reports*, 17(17), 88-90. Recuperado de <http://journals.openedition.org/factsreports/4518> ↑Ver página 116
- [Health Level Seven International, 2011] Health Level Seven International (2011). *Fast healthcare interoperability resources*. Recuperado de <https://www.hl7.org/fhir/> ↑Ver página 121
- [HealthBank Cooperative, 2019] HealthBank Cooperative (2019). *Health Bank*. Recuperado de <https://www.healthbank.coop/>
- [Hölbl, Kompara, Kamišali, A. y Nemeč, L. (2018). A systematic review of the use of blockchain in healthcare. *Symmetry*, 10(470), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym10100470> ↑Ver página 120
- [Hölbl, Kompara, Kamišali y Nemeč, 2018] Hölbl, M., Kompara, M., Kamišali, A. y Nemeč, L. (2018). A systematic review of the use of blockchain in healthcare. *Symmetry*, 10(470), 1-22. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym10100470> ↑Ver página 118
- [Infiniti Research Limited, 2018] Infiniti Research Limited (2018). *Global remote patient monitoring market 2018-2022*. Recuperado de <https://www.technavio.com/report/global-remote-patient-monitoring-market-analysis-share-2018> ↑Ver página 121
- [Kshetri, 2017] Kshetri, N. (2017). Can blockchain strengthen the internet of things? *IT Professional*, 19(4), 68-72. DOI: <https://doi.org/10.1109/MITP.2017.3051335> ↑Ver página 123
- [KovanGithub, 2014] Kovan Github (2014). *Kovan-stable Ethereum public testnet*. Recuperado de <https://github.com/kovan-testnet/proposal> ↑Ver página
- [Kuo, Kim y Ohno-machado, 2017] Kuo, T., Kim, H. y Ohno-machado, L. (2017). Review blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 24(6), 1211-1220. DOI: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocx068> ↑Ver página 119
- [Litecoin Foundation, 2017] Litecoin Foundation (2017). *Litecoin Foundation: designing the future of global payments*. Recuperado de <https://litecoin-foundation.org/> ↑Ver página
- [McGhin, Choo, Liu y He, 2019] McGhin, T., Choo, K. K. R., Liu, C. Z. y He, D. (2019). Blockchain in healthcare applications: research challenges and opportunities. *Journal of Network and Computer Applications*, 135, 62-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.02.027> ↑Ver página 119

- [Merkle, 1980] Merkle, R. C. (1980). Protocols for public key cryptosystems. En *Proc. 1980 Symposium on Security and Privacy* (pp. 122-133). IEEE Computer Society. ↑Ver página
- [Mettler, 2016] Mettler, M. (2016). Blockchain technology in healthcare: the revolution starts here. En *IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)* (pp. 1-3). Múnich, Alemania: IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/HealthCom.2016.7749510> ↑Ver página 120
- [Modum.io AG, 2017] Modum.io AG (2017). *Data integrity for supply chain operations, powered by blockchain technology (Whitepaper)*. Recuperado de <https://modum.io/sites/default/files/documents/2018-05/modum-whitepaper-v.-1.0.pdf> ↑Ver página 122, 123
- [Nakamoto, 2008] Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system*. Recuperado de <https://Bitcoin.org/en/> ↑Ver página 114, 116
- [Nchinda, Cameron, Retzepi y Lippman, 2019] Nchinda, N., Cameron, A., Retzepi, K. y Lippman, A. (2019). MedRec: a network for personal information distribution. En *International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)* (pp. 637-641). Honolulu, EE. UU.: IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICNC.2019.8685631> ↑Ver página 120
- [Neo Foundation, 2017] Neo Foundation (2017). *NEO-An open network for smart economy*. Recuperado de <https://neo.org/> ↑Ver página
- [Nivia y Jaramillo, 2018] Nivia, A. M. y Jaramillo, I. (2018). La industria de sensores en Colombia. *Tecnura*, 22(57), 44-54. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.13518> ↑Ver página 121
- [Nix Platform, 2018] Nix Platform (2018). *NIX Platform-total privacy for all*. Recuperado de <https://nixplatform.io/> ↑Ver página
- [Nomura Research Institute, 2016] Nomura Research Institute (2016). *Survey on blockchain technologies and related services*. Recuperado de https://www.meti.go.jp/english/press/2016/pdf/0531_01f.pdf ↑Ver página 114
- [P4Titan, 2014] P4Titan (2014). Slimcoin. *A peer-to-peer crypto-currency with proof-of-burn 'Mining without powerful hardware'*. Recuperado de <http://www.slimcoin.org> ↑Ver página
- [Peterson, Deeduvanu, Kanjamala y Boles, 2016] Peterson, K., Deeduvanu, R., Kanjamala, P. y Boles, K. (2016). *A blockchain-Based Approach to Health Information Exchange Networks* (pp. 1-10). NIST Workshop Blockchain Healthcare. ↑Ver página 120
- [Pirtle, 2018] Pirtle, C. y Ehrenfeld, J. (2018). Blockchain for Healthcare: The Next Generation of Medical Records? *Journal of Medical Systems*, 42(9), 1-3. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10916-018-1025-3> ↑Ver página 119
- [PIVX Community, 2018] PIVX Community (2018). *PIVX: private-instant-verified-transaction (Tx) (whitepaper)*. Recuperado de <https://pivx.org/white-papers-2/> ↑Ver página
- [po.et Foundation, 2018] po.et Foundation (2018). *The decentralized protocol for content ownership, discovery and monetization of media*. Recuperado de <https://research.binance.com/en/projects/poet> ↑Ver página
- [Popov, 2018] Popov, S. (2018). *The Tangle (Whitepaper)*. Recuperado de <https://www.IoTa.org/foundation/research-papers> ↑Ver página
- [Rabin, 1978] Rabin, M. O (1978). Digitalized signatures. En R. A. DeMillo et al. (eds.), *Foundations of secure computation* (pp. 155-168). Cambridge, EE. UU.: Academic Press. ↑Ver página

- [Ruge y Pérez, 2017] Ruge, I. A. y Pérez, W. J. (2017). Diagnóstico tecnológico del uso de dispositivos programables en la industria boyacense. Caso de estudio: cadena agroindustrial de la panela. *Tecnura*, 21(52), 130-147. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.2.a09> ↑Ver página 121
- [Sajana, 2018] Sajana, P., Sindhu, M. y Sethumadhavan, M. (2018). On blockchain applications: Hyperledger Fabric and ethereum. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 118(18), 2965-2970. ↑Ver página
- [Sankar, Sindhu y Sethumadhavan, 2017] Sankar, L. S., Sindhu, M. y Sethumadhavan, M. (2017). Survey of consensus protocols on *blockchain* applications (pp. 1-5). Coimbatore, Tamil Nadu, India: IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2017.8014672> ↑Ver página 116, 122
- [Schwartz, 2018] Schwartz, D., Youngs, N. y Britto, A. (2018). *The Ripple Protocol Consensus Algorithm (Whitepaper)*. Recuperado de https://ripple.com/files/ripple_consensus_whitepaper.pdf ↑Ver página
- [Sedrati, Abdelraheem y Raza, 2018] Sedrati, A., Abdelraheem, M. A. y Raza, S. (2018). Blockchain and IoT: mind the gap. *Interoperability, Safety and Security in IoT*, 2, 113-122. Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93797-7_13 ↑Ver página 123
- [Seeley, 2018] Seeley, L. (2018). *Hyperledger Sawtooth-Pbft*. Recuperado <https://github.com/hyperledger/sawtooth-rfcs/blob/master/text/0019-pbft-consensus.md> ↑Ver página
- [Shae, 2017] Shae, Z. y Jeffrey, J. P. P. (2017). On the Design of a Blockchain Platform for Clinical Trial and Precision Medicine. En *IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)* (pp. 1972-1980). DOI: <https://doi.org/10.1109/ICDCS.2017.61> ↑Ver página 123
- [Shrobe, Shrier y Pentland, 2018] Shrobe, H., Shrier, D. y Pentland, A. (2018). Chapter 15. Enigma: decentralized computation platform with guaranteed privacy. En *New Solutions for Cybersecurity* (pp. 425-414). Cambridge, EE. UU.: MIT Press. ↑Ver página 123
- [Silent Notary, 2018] Silent Notary (2018). Decentralized notary system. Recuperado de <https://silentnotary.com/> ↑Ver página
- [Snow, 2018] Snow, P., Deery, B., Lu, J., Johnston, D. y Kirby, P. (2018). *Factom. Business processes secured by immutable audit trails on the blockchain*. Recuperado de <https://www.factom.com/> ↑Ver página
- [Steem Inc, 2017] Steem Inc. (2017). *Steem. An incentivized, blockchain-based, public content platform (whitepaper)*. Recuperado de <https://steem.io/steem-whitepaper.pdf> ↑Ver página
- [Stornetta, 1991] Stornetta, W. S. y Haber, S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*, 3(2), 99-111. ↑Ver página
- [Szabo, 1994] Szabo, N. (1994). *Smart contracts*. Recuperado de <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>. ↑Ver página
- [Szabo, 1996] Szabo, N. (1996). Smart contracts: building blocks for digital markets. *EXTROPY: The Journal of Transhumanist Thought*, (16). ↑Ver página
- [Szabo, 2005] Szabo, N. (2005). *Bit Gold*. Recuperado de <https://nakamotoinstitute.org/bit-gold/> ↑Ver página
- [Talukder, Chaitanya, Arnold y Sakurai, 2018] Talukder, A. K., Chaitanya, M., Arnold, D. y Sakurai, K. (2018). Proof of disease: a blockchain

- consensus protocol for accurate medical decisions and reducing the disease burden. En *IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence Computing, Advanced Trusted Computing, Scalable Computing Communications, Cloud Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCoM/IOP/SCI)* (pp. 257-262). IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/SmartWorld.2018.00079> ↑Ver página 120
- [The Linux Foundation, 2017] The Linux Foundation. (2017). *Hyperledger Fabric*. Recuperado de <https://www.hyperledger.org/projects/fabric> ↑Ver página 123
- [The NEM Group Ltd, 2018] The NEM Group Ltd. (2018). *NEM technical reference*. Recuperado de https://nemplatform.com/wp-content/uploads/2020/05/NEM_techRef.pdf ↑Ver página
- [Trew, 2017] Trew, Ch., Brandon, G. y Dorier, N. (2017). *Stratis blockchain solutions (whitepaper)*. Recuperado de https://stratisplatform.com/files/Stratis_Whitepaper.pdf ↑Ver página
- [Vasin, 2014] Vasin, P. (2014). *BlackCoin's Proof-of-Stake Protocol V2*. Recuperado de <https://blackcoin.co/blackcoin-pos-protocol-v2-whitepaper.pdf> ↑Ver página
- [Vauplane, 2017] Vauplane, H. (2017). Blockchain: la question de la preuve par consensus au coeur de la gouvernance. *Le Mois En Revue*, 796, 16-18. Recuperado de <http://www.revue-banque.fr/risques-reglementations/chronique/Blockchain-question-preuve-par-consensus-au-coeur> ↑Ver página 116
- [Waves Technologies, 2016] Waves Technologies (2016). *Open blockchain platform and development toolset for Web 3.0 applications and decentralized solutions*. Recuperado de <https://wavesplatform.com/> ↑Ver página
- [Williams-Grut, 2016] Williams-Grut, O. (2016). Estonia is using the technology behind bitcoin to secure 1 million health records. *Business Insider*. Recuperado de <https://www.businessinsider.com/guardtime-estonian-health-records-industrial-Blockchain-Bitcoin-2016-3> ↑Ver página 120
- [World Health Organization, 2005] World Health Organization (WHO) (2005). *Constitution of the World Health Organization*. Recuperado de <https://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd47/EN/constitution-en.pdf?ua=1> ↑Ver página 117
- [World Health Organization, 2010] World Health Organization (WHO) (2010). Growing threat from counterfeit medicines. *Bulletin of the World Health Organization*, 88(4), 247-48. DOI: <https://doi.org/10.2471/blt.10.020410> ↑Ver página 122
- [World Health Organization, 2018] World Health Organization (WHO) (2018). *Substandard and falsified medical products*. Recuperado de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/substandard-and-falsified-medical-products> ↑Ver página 122
- [Zhang, Xue y Huang, 2016] Zhang, J., Xue, N. y Huang, X. (2016). A secure system for pervasive social. *IEEE Access*, 4, 9239-9250. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2645904> ↑Ver página 123
- [Zheng et al., 2017] Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X. y Wang, H. (2017). *An overview of blockchain technology: architecture, consensus, and future trends* (pp. 557-564). DOI: <https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85> ↑Ver página 116



CONTENIDO

- Alcance y política editorial de la revista
- Tipos de artículos aceptados
- Formato del artículo
- Envío de artículos
- Procedimiento para la publicación
- Arbitraje de artículos
- Contacto

ALCANCE Y POLÍTICA EDITORIAL DE LA REVISTA

La revista *Tecnura* es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Francisco José de Caldas, de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

Las áreas temáticas de interés de la revista *Tecnura* están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publica únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión. En consecuencia, durante la fase de evaluación editorial inicial se rechazarán los artículos cortos y reportes de caso.

La revista *Tecnura* está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de las ingenierías. Tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de las ingenierías, a través de la publicación de artículos

originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado. Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés; sin embargo, tendrán preferencia los artículos que muestren conceptos innovadores de gran interés, que traten sobre asuntos relacionados con el objetivo y cobertura temática de la revista.

Tecnura es una publicación de carácter académico indexada en los Índices Regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México), además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), Index Copernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España). También hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México), Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

Tecnura es una revista arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sus directivas, el Editor, el Comité Editorial y Científico no son responsables por la opinión y criterios expresados en el contenido de los artículos y estos se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial.

Además de la versión impresa, la revista *Tecnura* tiene también una versión digital disponible en su página web: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

TIPOS DE ARTÍCULOS ACEPTADOS

De acuerdo con la clasificación del Índice Nacional de Publicaciones Científicas y Tecnológicas (Publindex-Colciencias), la revista *Tecnura* recibe postulaciones de artículos inéditos de los siguientes tipos:

Artículos de investigación científica y tecnológica: documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

Artículo de revisión: documento resultado de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de las investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de al menos 50 referencias.

FORMATO DEL ARTÍCULO

Del lenguaje y estilo apropiado para la redacción de artículos

- Deben emplearse estructuras de oraciones simples, evitando las que sean demasiado largas o complejas.
- El vocabulario empleado debe ser básico y común. Los términos técnicos deben explicarse brevemente; asimismo, el significado de las siglas debe presentarse la primera vez que estas aparecen en el texto.
- Los autores son responsables de que su trabajo sea conducido de una manera profesional y ética.

De la extensión de los documentos

Los artículos no deben tener una extensión de más de 25 páginas en tamaño carta y a doble espacio, con márgenes simétricas de 3 cm. Solo en el caso de los artículos de revisión las 25 páginas no inclu-

yen las referencias bibliográficas.

Del formato de presentación

Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés y deben digitarse en Microsoft Word (2003 en adelante), cumpliendo con las siguientes indicaciones:

Letra *Times New Roman* de 12 puntos (a excepción de que se requiera lo contrario para algunos apartados).

- Una columna a doble espacio.
- Todas las márgenes de 3 cm.
- Los párrafos se justifican, y no debe haber espacio entre los consecutivos.
- No incluir saltos de página o finales de sección.
- Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino letra cursiva.
- Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto.
- Los millares y millones se deben señalar con un espacio fino.
- Evitar las notas de pie de página.
- Se debe utilizar nomenclatura arábica hasta el tercer nivel únicamente.

De la estructura del documento

Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:

Composición de un artículo

Todos los artículos remitidos para su evaluación y posible publicación por parte de la revista *Tecnura* deben tener por lo menos los siguientes componentes:

- Título en español e inglés.
- Información de los autores.
- Resumen en español e inglés.
- Palabras clave en español e inglés.
- Introducción.

- Conclusiones.
- Trabajo futuro (opcional).
- Agradecimientos (opcional).
- Referencias bibliográficas.

Si el artículo es de investigación científica y tecnológica deben tener, además de lo anterior, los siguientes componentes:

- Metodología.
- Resultados.
- Financiamiento.

Título

El título del artículo deberá ser corto o dividido en título y subtítulo, atractivo para el lector potencial y escrito en mayúscula sostenida. Este debe aparecer centrado entre las márgenes, escrito con letra *Times New Roman*, en negrita, tamaño de fuente 18. El título del artículo debe ir en español e inglés separado por un espacio doble. Máximo 20 palabras.

Autores

Después del título debe escribirse el (los) nombre(s) completo(s) del (los) autor(es), acompañado de los datos biográficos básicos: título de pregrado, título de posgrado, ocupación o cargo, afiliación institucional (institución donde labora), dependencia, ciudad, país y correo electrónico. La información anterior debe ir inmediatamente debajo del nombre del autor.

Resumen

Debe establecer el objetivo y alcance del trabajo, una descripción clara y concisa de la metodología, los resultados y las conclusiones obtenidas. Máximo 250 palabras.

Palabras clave

Debe escogerse entre tres y diez palabras clave, escritas en español con letra *Times New Roman*, en negrita y cursiva.

Las palabras clave deben estar escritas en orden alfabético y ser de uso estandarizado, para lo cual se

sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar el tesoro de la UNESCO que se pueden encontrar en la página: <http://databases.unesco.org/thessp>.

Abstract

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del texto que aparece en el resumen en español.

Keywords

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de la lista de palabras clave en español.

Las *keywords* deben estar escritas en el orden de las palabras clave y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar los Tesoros de la IEEE y/o World Bank que se pueden encontrar en las siguientes páginas respectivamente: http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf, <http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

Introducción

Debe describir el planteamiento general del trabajo, así como contexto, antecedentes, estado de arte de la temática abordada, objetivo y posible alcance del trabajo.

Metodología

La redacción de este apartado debe permitir a cualquier profesional especializado en el tema replicar la investigación.

Resultados

Explicación e interpretación de los hallazgos. Si es necesario, se puede presentar una discusión breve y enfocada a la interpretación de los resultados.

Conclusiones

Implicación de los resultados y su relación con el objetivo propuesto.

Financiamiento

Mencionar la investigación asociada de la cual se derivó el artículo y la entidad que avaló y financió dicha investigación.

Agradecimientos

Preferiblemente deben ser breves y deben incluir los aportes esenciales para el desarrollo del trabajo.

Ecuaciones

Deben aparecer centradas con respecto al texto principal. Las ecuaciones deben ser referenciadas con números consecutivos (escritos entre paréntesis cerca al margen derecho). Las ecuaciones se citan en el texto principal empleando la palabra ecuación y seguida del número entre paréntesis. Las ecuaciones deben ser elaboradas en un editor de ecuaciones apropiado y compatible con el paquete de software InDesign, por ejemplo, el editor de ecuaciones de Windows.

Tablas

Para el caso de realización de tablas se recomienda que estas no sean insertadas como imágenes, considerando que en este formato no pueden ser modificadas. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra Tabla (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de un breve nombre de la tabla. El encabezado debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9.

No se presentan cuadros sino tablas y estas se deben levantar automáticamente desde el procesador de textos. Las tablas deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda tabla debe tener en su parte inferior la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

Figuras

Todas las figuras o fotografías deben enviarse en formato PNG o TIFF con una resolución mínima de 300 DPI, adaptadas a escala de grises.

El pie o rótulo de cada figura debe incluir la palabra Figura (en negrita) seguida del número

consecutivo correspondiente y de una breve descripción del contenido de la figura. El pie de figura debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9. Las figuras deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda figura debe tener también la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

Símbolos

Los símbolos de las constantes, variables y funciones en letras latinas o griegas –incluidos en las ecuaciones– deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación. Se deben utilizar las unidades, dimensiones y símbolos del sistema internacional.

Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis y en lo subsecuente se escribe solo la sigla o abreviatura respectiva.

Referencias bibliográficas

El estilo de citación de referencias adoptado por la revista Tecnura es APA sexta edición. Las citas, referencias bibliográficas e infografía se incluyen al final del artículo. Las referencias bibliográficas deben ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el primer apellido del primer autor, sin numeración.

Solo deben aparecer las referencias que fueron citadas en el texto principal del trabajo, en las tablas o en las figuras. Es decir, en la lista no deben aparecer otras referencias aunque hayan sido consultadas por los autores para la preparación del trabajo. Sugerimos utilizar herramientas como: *Citas y bibliografía de Microsoft Word* (para APA sexta edición versión 2013 o superior), *Zotero*, *Mendeley*, entre otras.

El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, bajo ciertas características:

- Si la oración incluye el apellido del autor, solo se debe escribir la fecha dentro de un

paréntesis, ejemplo:

Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en . . .

- Cuando no se incluye el autor en la oración, debe ir entre el paréntesis el apellido y la fecha. La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).
- Si el documento u obra tiene más de dos autores, se debe citar la primera vez con todos los apellidos. 1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008) . . .
- En las menciones siguientes, solo se debe escribir el primer apellido del autor, seguido de un “et al”. En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que . . .
- Cuando el documento u obra tiene más de seis autores, se debe utilizar desde la primera mención el “et al”.

A continuación se describen una serie de ejemplos de las referencias más utilizadas, según el estilo de referencias adoptado por la revista *Tecnura*:

Publicaciones Periódicas:

Forma Básica

Apellidos, A. A., Apellidos, B. B. & Apellidos, C. C. (Fecha). Título del artículo. Título de la publicación, volumen (número), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

Artículo básico

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

Artículo web

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimés, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHZ. *Revista*

Tecnura, 18(42), 38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

Libros:

Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). Título. Ciudad: Editorial.
Apellidos, A. A. (Año). Título. Recuperado de <http://www.xxxxxx.xxx>
Apellidos, A. A. (Año). Título. doi: xx.xxxxxxx
Apellidos, A. A. (Ed.). (Año). Título. Ciudad: Editorial.

Libro con autor

Goleman, D. (2000). *La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual*. México: Ediciones B.

Libro con editor

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). *Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales*. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas

Libro versión electrónica:

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

Informe técnico

Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). Título. (Informe Núm. xxx). Ciudad: Editorial

Informe con autores

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). U. S. Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

Informe de una agencia del gobierno

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. *America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.gpo.gov>

[//www.childstats.gov/pubs/index.asp](http://www.childstats.gov/pubs/index.asp)

Tesis

Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). Título. (Tesis inédita de maestría o doctorado). Nombre de la institución, Localización.

Tesis inédita, impresa

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

Tesis de base de datos comercial

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

Tesis web

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf

Estándares o patentes

Forma Básica

Apellidos, A. A. Título de la patente. País y número de la patente. Clasificación de la patente, fecha de concesión oficial. Número y fecha de solicitud de la patente, paginación.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

ENVÍO DE ARTÍCULOS

Los autores deben enviar sus artículos a través de la

aplicación para tal fin del Open Journal System en formato digital, adjuntando la carta de presentación y el formato de información artículo-autores.

Carta de presentación

El artículo debe ir acompañado de una carta de presentación dirigida al director y editor de la revista, Ing. Cesar Augusto García Ubaque, donde incluya:

- Solicitud expresa de considerar su artículo para publicarlo en la revista Tecnura.
- Título completo del trabajo.
- Nombres completos de todos los autores del trabajo.
- Certificación de la originalidad y el carácter inédito del trabajo.
- Exclusividad de su remisión a la revista Tecnura.
- Confirmación de la autoría con la firma de todos los autores.

Esta carta deberá estar firmada por todos los autores, escanearse y enviarse junto con los demás documentos solicitados.

Formato de información artículo-autores

El artículo además debe ir acompañado de un formato de información sobre el artículo y sus autores, el cual se puede descargar de la página web de la revista Tecnura: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>, en la sección "Formatos y Documentos". Es importante completar todos los campos de información solicitados, algunos de ellos tienen comentarios para aclarar mejor lo que se está solicitando. El formato no debe escanearse.

Artículo

Artículo en formato digital (Word 2003 en adelante) que cumpla con todas las normas de presentación descritas en el capítulo 3, "Formato del artículo", de la presente en las instrucciones a los autores.

PROCEDIMIENTO PARA LA PUBLICACIÓN

El procedimiento que sigue la revista *Tecnura* para la evaluación y posible publicación de los trabajos enviados por los autores es el siguiente en orden cronológico:

1. Envío del artículo acompañado de la carta de presentación y el formato de información por parte de los autores.
2. Notificación al autor de correspondencia de la recepción del artículo.
3. Verificación del tema del artículo con respecto a las áreas de interés de la revista.
4. Verificación de las normas de presentación por parte del monitor de la revista.
5. Notificación al autor de correspondencia de la evaluación de las normas de presentación.
6. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a la evaluación de las normas de presentación.
7. Envío del artículo a los árbitros seleccionados.
8. Notificación del inicio del proceso de arbitraje del artículo.
9. Notificación a los autores de la decisión tomada por el Comité Editorial y de las evaluaciones hechas por los árbitros.
10. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a las evaluaciones de los árbitros.
11. Estudio de la versión final del artículo y de las evaluaciones de los árbitros por parte del Comité Editorial.
12. Envío por parte de los autores de la carta de cesión de derechos al editor de la revista.
13. Envío de la versión con corrección de estilo y diagramada a los autores.
14. Verificación de errores y aprobación final de la versión con corrección de estilo y diagramada por parte de los autores.
15. Publicación del artículo en el número correspondiente de la revista *Tecnura*.

16. Notificación a los autores de la publicación del número de interés.

17. Envío de un ejemplar de la revista a cada autor del artículo publicado.

PROCESO DE ARBITRAJE DE ARTÍCULOS

Considerando la periodicidad trimestral de la revista, el Comité Editorial realiza cuatro convocatorias anuales para la recepción de artículos, aproximadamente en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre. Los artículos serán recibidos hasta la fecha máxima establecida en cada convocatoria.

Una vez recibidos los artículos el monitor de la revista realizará una primera evaluación de forma para verificar que cumplan con todos los elementos mencionados en esta guía de instrucciones a los autores. Luego de recibir nuevamente el artículo con las correcciones de forma solicitadas por el monitor de la revista, este será sometido a evaluación por tres pares académicos (paulatinamente se espera incorporar un mayor número de pares externos que participen en el proceso).

Cada artículo remitido a la revista *Tecnura* es revisado por dos pares académicos externos a la institución de los autores, mediante un proceso de "revisión entre pares" (*Peer-review*) de doble-ciego, garantizando el anonimato de los autores y evaluadores; se considera confidencial todo trabajo recibido y así se le exige a sus evaluadores.

Las posibles conclusiones de los resultados de la evaluación por parte de los árbitros son únicamente tres: publicar el artículo sin modificaciones, publicar el artículo con modificaciones o no publicar el artículo.

Posteriormente, el Comité Editorial toma la decisión de publicar o no los artículos, con base en los resultados de las evaluaciones realizadas por los árbitros asignados. En caso de existir contradicciones en las evaluaciones con respecto a la publicación de un artículo, el Comité Editorial enviará el artículo a un tercer árbitro y se inclinará por las dos evaluaciones que tengan el mismo concepto respecto a la publicación del artículo.

En cada convocatoria el autor de correspondencia debe sugerir al menos cuatro posibles evaluadores externos a su institución laboral, los cuales deben ser especialistas en el tema específico del artículo remitido, tener al menos maestría y por lo menos dos deben ser internacionales. Los posibles evaluadores pueden pertenecer a una universidad o industria, pública o privada; de estos se debe proporcionar el nombre completo, su formación académica más alta, su afiliación institucional y su correo electrónico. Estos cuatro potenciales evaluadores serán analizados por el Comité Editorial a fin de ampliar la base de datos de los árbitros de la revista Tecnura.

El Comité Editorial de la revista Tecnura se reserva los derechos de impresión, reproducción total o parcial del artículo, así como el de aceptarlo o rechazarlo. Igualmente, se reserva el derecho de hacer cualquier modificación editorial que estime conveniente; en tal caso el autor recibirá por escrito recomendaciones de los evaluadores. Si las acepta, deberá entregar el artículo con los ajustes sugeridos dentro de las fechas fijadas por la revista para garantizar su publicación dentro del número

programado.

CONTACTO

Para cualquier solicitud de información adicional puede comunicarse a través del correo electrónico de la revista Tecnura: tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com, o por mensajería con el Ing. Cesar Augusto García Ubaque, Director y Editor de la revista Tecnura, a la dirección:

Revista Tecnura
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.
Facultad Tecnológica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur
Teléfono: 571 – 3239300 Extensión: 5003
Celular: 57–3153614852
Bogotá D.C., Colombia
Email:
tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co,
tecnura@gmail.com
Página web:
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

CONTENT

- Scope and editorial policy of the journal
- Type of accepted articles
- Article format
- Article submission
- Publication procedure
- Article arbitration
- Contact

Tecnura journal is an institutional publication of the Faculty of Technology from University Francisco José de Caldas. It is a scientific and technological publication with quarterly periodicity, which is published in January, April, July and October. The first issue appeared in the second semester of 1997 and up to now it has maintained its regularity.

The areas of interest of Tecnura journal are focused on all engineering fields such as electronics, telecommunications, electricity, systems, industrial, mechanics, cadastral, civil, environmental, among others. However, it is not restricted to those; it also has room for education and health issues, as long as they are related to engineering. The journal will only publish concerning scientific and technological research, reflection and revision. In consequence, during the initial editorial evaluation, short articles and case reports will be rejected.

Tecnura Journal is addressed for professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and follow-up of scientific-technologic processes in the field of engineering. Tecnura Journal has as mission to disseminate results of research projects in the areas of engineering, through the publication of original and unpublished articles, conducted by academics and professionals accredited by public or private national or foreign institutions. Articles submitted to Tecnura journal must be unpublished works written in Spanish or English; nevertheless, preference will be given to articles that show innovative concepts of

great interest, related to the objective and scope of the journal.

Tecnura is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as of the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica from the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet from the Universidad de la Rioja (Spain). It is also part of the following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), Bibliographic Index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden) and Ulrich of Proquest (United States).

Tecnura is a journal arbitrated by a revision process among double blind peers. The schedule of the conformation of its scientific and editorial committee is subject to the publication of articles in internationally indexed journals by their members.

District University Francisco José de Caldas, its directors, the editor, the editorial and scientific committee are not responsible for the opinions and the criteria expressed in the content of the articles and they are published under the exclusive responsibility of the authors and do not necessarily reflect the ideas of the editorial committee.

In addition to the printed version, Tecnura journal also has a digital version available in its web page: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>

TYPE OF ARTICLES ACCEPTED

According to the classification of the Scientific and Technological Publications National Index (Publindex-Colciencias), Tecnura journal receives nominations of unpublished articles on the following topics:

- **Scientific and technological research articles:** document that presents, in a detailed manner, the original results of research projects. The

generally used structure contains four main parts: introduction, methodology, results and conclusions.

- **Reflection articles:** document that presents research results from an analytic, interpretative or critic perspective from the author, dealing with a specific topic and adopting original sources.
- **Review article:** document that results from a research where the results of published or unpublished research on a science or technology field are analyzed, systematized and integrated, in order to state the advances and tendencies in development. It is characterized for presenting a careful bibliographical review of at least 50 references.

ARTICLE FORMAT

About the appropriate language and style for articles writing

- Authors must use simple sentence structures, avoiding those too long or complex.
- The vocabulary used must be basic and common. Technical language must be briefly explained; also, the meaning of the acronyms must be given the first time they appear in the text.
- The authors are responsible for their work to be conducted in a professional and ethic manner.

About the length of articles

The articles should not exceed 25 pages in letter size and double space, with symmetric margins of 3 cm. Only in the case of review articles, these 25 pages do not include references.

About the presentation format

Submitted articles must be unpublished works written in Spanish or English, and must be typed in Microsoft Word (2003 and beyond), complying with the following indications:

- *Times New Roman* letter, 12 point (except it is required for some sections).
- One column, double-spaced.
- All the margins 3 cm.
- Paragraphs should be justified without spaces between consecutives and without cutting words.
- Do not include page breaks or section finals.
- If you want to emphasize words or phrases from the text, do not use bold letters but italic.
- Decimals should be pointed with comma (,) and not with period (.).
- Thousands and millions should be pointed with a fine space.
- Avoid footnotes.
- Arabic nomenclature must be used only until the third level.

About the article structure

The papers must have the following structure and comply with the following requirements:

Composition of an article

All the articles submitted for evaluation and possible publication by the *Tecnura* Journal must have at least the following components:

- Title in Spanish and English.
- Information about the authors.
- Abstract in Spanish and English.
- Key words in Spanish and English.
- Introduction.
- Conclusions.
- Future work (optional).
- Acknowledgements (optional).
- Bibliographical references.

If the article is related to scientific and technological research must have, in addition to the above, the following components:

- Methodology.

- Results.
- Financing.

Title

The title of the article must be short or divided in title and subtitle, attractive for the potential reader and written in capital letters. It should appear centered between the margins, written in *Times New Roman* letter, in bold, font size 18. The title of the article has to be in Spanish and English separated by double space. Maximum 20 words.

Authors

After the title the complete name(s) of the author(s) must be written, with their basic biographical data: undergraduate degree, graduate degree, occupation or position, institutional affiliation (institution where they work), dependency, city, country and e-mail. The above information must be immediately below the author's name.

Abstract

The scope and purpose of the work must be established giving a clear and concise description of the methodology, results presented and the conclusions obtained. Maximum of 250 words.

Keywords

Between three and ten keywords must be chosen, written in English with *Times New Roman* letter in bold and italic.

Key words must be written in alphabetic order and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the IEEE thesaurus and World Bank thesaurus that can be accessed at the following web pages respectively:

http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf

<http://multites.net/mtsqli/wb/site/default.asp>

Abstract in Spanish

Translation to the Spanish language of the text that appears in the abstract, it must be correct and precise.

Keywords in Spanish

Translation to the English language of the keywords in Spanish, they must be correct and precise.

Keywords must be written in the order of the English version and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the UNESCO thesaurus that can be found at the following web pages:

<http://databases.unesco.org/thessp>

Introduction

The general idea of the work must be described, its context, backgrounds, state of the art of the topic, objectives and possible scope of the work.

Methodology

The writing of this part must allow any specialized professional in the topic to replicate the research.

Results

Explanation and interpretation of the findings. If necessary, a brief discussion focused on the interpretation of the results can be presented.

Conclusions

Implication of the results and their relation to the proposed objective.

Financing

Mention the associated research from which the article was derived and the entity that endorsed and financed the research.

Acknowledgments

They should preferably be brief and include the essential contributions for the development of the paper.

Equations

Equations must appear centered with respect to the main text. They must be referenced with consecutive numbers (written in parenthesis close to the right margin). Equations are cited in the main text employing the word equation, and followed by the number in parenthesis. Equations must be made in an appropriate equation editor and compatible with "InDesign" software, as for example the equation editor of Windows.

Tables

In the case of implementation of tables, it is recommended that these are not inserted as images, considering that in that format they cannot be modified. The title of each table must include the word table (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief name of the table. The heading must be written in TNR letter, italic and font size 9.

Charts are not presented but tables and they should be automatically raised from the text processor. Tables should be named and referenced in the article, in strict order. Every table must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

Figures

All the figures or pictures have to be sent in JPG or PNG format with a minimum resolution of 300 DPI, adapted to gray scale.

The footnote or name of each figure must include the word figure (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief description of the content of the figure. The footnote of the figure must be written in Times New Roman letter, italic and font size 9. Figures must be named and referenced in the article, in strict order. Every figure must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

Symbols

The symbols of the constants, variables and functions in Latin or Greek letters –included in the equations– must be in italic; the mathematical

symbols and the numbers do not go in italic. The symbols must be identified immediately after the equation. Units, dimensions and symbols of the international system must be used.

When using acronyms or abbreviations, the complete equivalence should be written first, followed by the corresponding acronym or abbreviation in parenthesis and from there it is only written the respective acronym or abbreviation.

Bibliographic references

The adopted reference citation style by Tecnura journal is APA sixth edition. The cites, bibliographic references and infography are included in the last part of the article. The bibliographic references must be alphabetically ordered according to the author's first surname, without numbering.

There should only appear the cited references in the main body of the work, in tables or in figures. It means, in the list there should not appear other references although they have been consulted by the authors for the work preparation. We suggest using tools such as: Cites and bibliography from Microsoft Word (for APA sixth edition version 2013 or superior), Zotero, Mendeley, among others.

The call for a bibliographic reference is inserted in the text, at the pertinent point, under certain characteristics:

- If the sentence includes the author's surname, it should only be written the date into a parenthesis, for instance:
Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en
- When the author is not included in the sentence, surname and date must be into a parenthesis.
La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).
- If the document or work has more than two authors, the first cite must include all the surnames. 1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008)
- In the following mentions, it must only be written the author's first surname, followed

by “et al.”. En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que ...

- When the document or work has more than six authors, it must be used from the first mention “et al.”.

Next it is described a series of examples of the more used references, according to the reference style adopted by Tecnura journal:

Periodical Publications:

Basic Form

Surnames, A. A., Surnames, B. B. & Surnames, C. C. (Date). Article's title. Title of the publication, volume (number), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

Basic article

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

Web article

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimés, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHZ. *Revista Tecnura*, 18(42), 38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

Books:

Basic Form

Surnames, A. A. (Year). Title. City: Editorial.
Surnames, A. A. (Year). Title. Recovered from <http://www.xxxxxx.xxx>
Surnames, A. A. (Year). Title. doi: xx.xxxxxxx
Surnames, A. A. (Ed.). (Year). Title. City: Editorial.

Book with author

Goleman, D. (2000). *La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual*.

México: Ediciones B.

Book with editor:

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). *Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales*. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas.

Book electronic version:

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/ 978-0-387-85784-8

Technical report:

Basic Form

Surnames, A. A. (Year). Title. (Report No. xxx). City: Editorial

Report with authors

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). *U. S. Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico*. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

Report from a Government agency

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. *America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

Thesis

Basic form

Surnames, A. A. (Year). Title. (Unpublished master or doctorate thesis). Institution name, Location.

Unpublished thesis, printed

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

Commercial database thesis

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types*

of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome. (Tesis doctoral). Disponible en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

Web thesis

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación.* (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf

Standards or patents

Basic form

Surnames, A. A. Title of the patent. Country and number of the patente. Classification of the patent, date of official license. Number and date of patent request, pagination.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

ARTICLE SUBMISSION

Authors must submit their articles through the application Open Journal System in digital format, attaching the cover letter and the article-authors format.

Cover letter

The article must be submitted with a cover letter addressed to the director and editor of the journal, Engineer Cesar Augusto Garcia Ubaque, including:

- Specific request to consider your article to be published in Tecnura journal.
- Full title of the article.
- Full names of all the authors of the paper.
- Certification of the originality and unpublished character of the paper.
- Exclusivity of submission to Tecnura journal.

- Authoring confirmation with signature of all the authors.

This letter must be signed by all the authors, scanned and sent with the remaining requested documents.

Article-authors information format

The article has to be submitted with an information format about the article and its authors which can be downloaded from the web page of Tecnura journal <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>, in the section "Forms and Documents". It is important to complete all the fields of information requested, some of them have comments to clarify better what is being requested. The format must not be scanned.

Article

Article in digital format (Word 2003 and later editions) that complies with all the presentation rules described in chapter three, "Article structure", of this guide of instructions for authors.

PUBLICATION PROCEDURE

The procedure to be followed by Tecnura journal for the evaluation and possible publication of the papers sent by the authors is the following in chronological order:

1. Delivery of the article with the cover letter and the information format by the authors.
2. Notification to the author about the reception of the article.
3. Verification of the presentation rules by the monitor of the journal.
4. Notification to the author about the evaluation of the presentation rules.
5. Submission of corrections made by the authors related to the evaluation of presentation rules.
6. Submission of the articles to the selected arbitrators.
7. Notification of the beginning of the arbitration process of the article.

8. Notification to the authors about the decision made by the editorial committee, and about the evaluations made by the arbitrators.
9. Delivery of the corrections made by the authors with respect to the evaluations made by the arbitrators.
10. Study of the final version of the article and the evaluations of the arbitrators by the editorial committee.
11. Delivery by the authors of the letter that surrenders right to the editor of the journal.
12. Submission of the version with style corrections and diagrammed to the authors.
13. Verification of errors and final approval of the version with style corrections and diagrammed by the authors.
14. Publication of the article in the corresponding number of *Tecnura* journal.
15. Notification to the authors of the number of interest.
16. Delivery of a copy of the journal to each one of the authors of the published article.

ARTICLE ARBITRATION PROCESS

Considering the quarterly periodicity of the journal, the Editorial Committee makes four calls every year for the submission of articles, approximately in the months of February, May, August and November. The articles will be received until the date established in the call.

Once received the articles, the monitor of the journal will make an initial form evaluation to verify the completion of the elements mentioned in this guide of instructions to authors. After receiving again the article with the requested corrections by the journal's monitor, the paper will be submitted to evaluation by three academic peers (through time it is expected to include more external peers to participate in the process).

Each article sent to *Tecnura* journal is checked by two expert academic peers external to the institution of the authors, by a process of "Peer-review" of

double blind, guaranteeing the anonymity of authors and evaluators; every paper sent is considered confidential and so it is demanded to evaluators.

Possible conclusions of the result of the evaluation by the judges are only three: publish the article without modifications, publish the article with modifications and not publish the article.

Subsequently, the Editorial Committee takes the decision to publish or not the articles, based on the results of the evaluations made by the assigned arbitrators. In case of contradictions in the evaluations with respect to the publication of an article, the editorial committee will send the article to a third peer and will be inclined for the two evaluations that have the same concept with respect to the publication of the article.

In each call the main author must suggest at least four possible external arbitrators to his work institution evaluators, who must be specialists in the specific topic of the article sent and must have at least Masters level, and at least two must be international. Potential evaluators can belong to a university or industry, public or private; their complete names must be provided, highest academic formation, institutional affiliation and e-mail. The editorial committee will analyze these four potential evaluators in order to enrich the database of arbitrators of *Tecnura* journal.

The Editorial Committee of *Tecnura* journal reserves the right to print, reproduce total or partially the article, as the right to accept or reject it. In the same way, it has the right to make any editorial modification that considers necessary; in this case the author will receive written recommendations from the evaluators. If accepted, authors must deliver the article with the suggested adjustments within the dates given by the journal to guarantee its publication in the programmed number.

CONTACT

For any additional information request, please send an e-mail to *Tecnura* journal tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com or by mail to Cesar Augusto Garcia Ubaque, Director

and Publisher of Tecnura Journal, to the following address:

Tecnura Journal
Journals Room, Block 5, Office 305.
Faculty of Technology
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur
Phone: 571-3239300 Extension: 5003
Mobile: 57-3153614852
Bogotá D.C., Colombia
Email:
tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co,
tecnura@gmail.com
Web page:
[https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/
Tecnura/index](https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index)