

Revista Tecnura • Volumen 22 – Número 56 • Abril - Junio de 2018  
p-ISSN: 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

Adsorción de rojo 40 sobre cascarilla de arroz: determinación del equilibrio, cinética y termodinámica

8-bit Softcore Microprocessor With Dual Accumulator Designed to be Used in FPGA

Evaluación de impacto ambiental de la cantera “La Represa”, en la provincia de San Luis, Argentina



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

# **Tecnura**

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

Volumen 22 - Número 56

Abril - Junio de 2018

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

**COMITÉ EDITORIAL**

Ph.D. Ing. Electo Eduardo Silva  
Universidad Federal de Itajuba, Brasil

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**COMITÉ CIENTÍFICO**

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

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

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

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

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

Ph.D. Ing. Graciela Perera Olivares  
Youngstown University, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Clara Inés Buritica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**EVALUADORES**

PhD. Celestino González Nicieza  
Universidad de Oviedo, España

PhD. José Antonio Villanueva Salas  
Universidad Católica de Santa María, Perú

PhD. José Armando Molina Zamora  
Universidad Autónoma de Guadalajara Campus Tabasco,  
México

PhD. Oswaldo López Santos  
Universidad de Ibagué, Colombia

PhD. Mireya Astrid Jaime Arias  
Universidad Antonio Nariño, Colombia

MEng. José David Cortés  
Universidad Industrial de Santander, Colombia

MEng. Luis Eduardo Palomino Bolívar  
Universidade do Contestado, Brasil

MSc. Olga Teresita Regalado  
Universidad Nacional de Catamarca, Argentina

MEng. Oscar David Flórez Cediel  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**ASISTENTES DE LA REVISTA TECNURA**

MEng. Diego Armando Giral Ramírez

**COORDINACIÓN EDITORIAL**

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

# Tecnura

Vol. 22 No. 56

Abril - Junio de 2018

## 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](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Tecnura en internet:  
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## DISEÑO ORIGINAL

Julián Hernández-Taller de Diseño

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

Fernando Carretero Padilla

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLES

Laura Ximena García

## DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO DE CUBIERTA

Julián Hernández-Taller de Diseño  
[director@julianhernandez.co](mailto:director@julianhernandez.co)

## IMPRESIÓN

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Formato: 21.5 x 28 cm  
Papel: Bond 75g  
Fuente: Optima LT Std  
Tiraje: 400 ejemplares



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

**Tecnura**  
**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. Cesar Augusto García Ubaque  
District Francisco José de Caldas University, Colombia

**EDITORIAL COMMITTEE**

Ph.D. Ing. Electo Eduardo Silva  
Universidad Federal de Itajuba, Brasil

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

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

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

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

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

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gomez  
Universidad de los Andes, Colombia

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

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

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

**SCIENTIFIC COMMITTEE**

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

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

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

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

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

Ph.D. Ing. Graciela Perera Olivares  
Youngstown University, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Clara Inés Buritica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**EVALUATORS**

PhD. Celestino González Nicieza  
Universidad de Oviedo, España

PhD. José Antonio Villanueva Salas  
Universidad Católica de Santa María, Perú

PhD. José Armando Molina Zamora  
Universidad Autónoma de Guadalajara Campus Tabasco,  
México

PhD. Oswaldo López Santos  
Universidad de Ibagué, Colombia

PhD. Mireya Astrid Jaime Arias  
Universidad Antonio Nariño, Colombia

MEng. José David Cortés  
Universidad Industrial de Santander, Colombia

MEng. Luis Eduardo Palomino Bolívar  
Universidade do Contestado, Brasil

MSc. Olga Teresita Regalado  
Universidad Nacional de Catamarca, Argentina

MEng. Oscar David Flórez Cediel  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**TECNURA JOURNAL ASSISTANTS**

MEng. Diego Armando Giral Ramírez

**EDITORIAL COORDINATION**

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

# Tecnura

Vol 22 No. 56

April - June de 2018

## 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 electronical, 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](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Tecnura on internet: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## ORIGINAL DESIGN

Julián Hernández - Taller de Diseño  
[director@julianhernandez.co](mailto:director@julianhernandez.co)

## STYLE CORRECTION IN SPANISH

Fernando Carretero Padilla

## STYLE CORRECTION IN ENGLISH

Laura Ximena García

## LAYOUT AND TITLE PAGE DESIGN

Julián Hernández - Taller de Diseño

## PRINTED BY

Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas Press  
Format: 21.5 x 28 cm  
Paper: Bond 75g  
Font: Optima LT Std  
Printing: 400 copies

## DECLARACIÓN DE ÉTICA Y BUENAS PRÁCTICAS

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.

## CODE OF ETHICS AND GOOD PRACTICE

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 research 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.

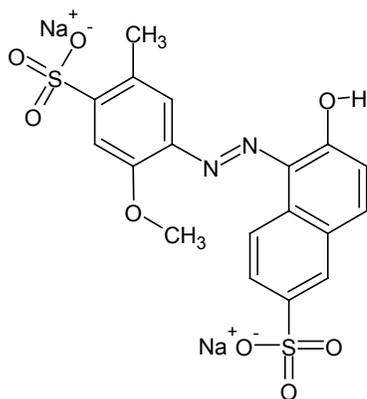
# Contenido

---

EDITORIAL

10

INVESTIGACIÓN



**Adsorción de rojo 40 sobre cascarilla de arroz: determinación del equilibrio, cinética y termodinámica**

13

Adsorption of red 40 dye on rice husk: determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic of the process

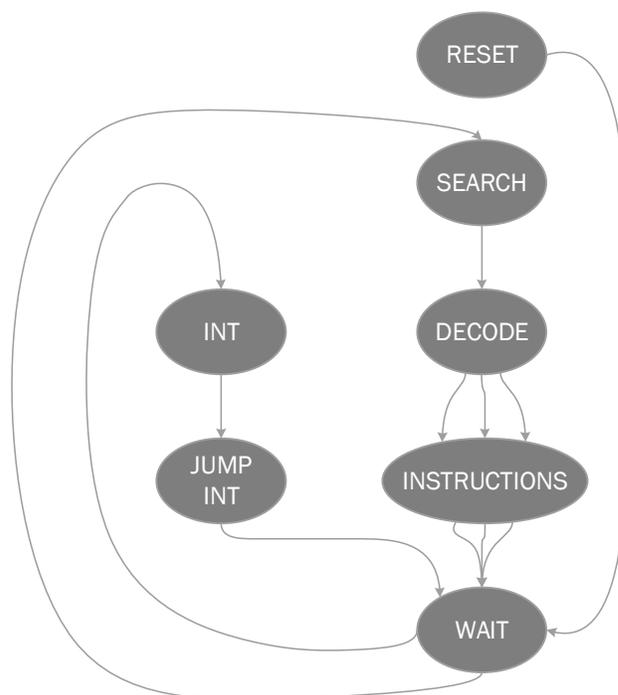
FREDY ALBERTO AMARINGO VILLA, ANGELINA DEL SOCORRO HORMAZA

**Aprovechamiento de los tipos de pensamiento matemático en el aprendizaje de la programación funcional**

29

Types of mathematical thinking implemented in the learn process of functional programming

OMAR IVÁN TREJOS BURITICÁ



**8-bit softcore microprocessor with dual accumulator designed to be used in FPGA**

40

Microprocesador softcore de 8 bits con doble acumulador diseñado para ser usado en FPGA

WILLIAM SÁENZ RODRÍGUEZ, FERNANDO RIVERA SÁNCHEZ, FERNANDO MARTÍNEZ SANTA

## ESTUDIO DE CASO



### **Evaluación de impacto ambiental de la cantera “La Represa”, en la provincia de San Luis, Argentina**

51

Environmental impact assessment of the quarry “La Represa” in San Luis province, Argentina

NATALIA JUDITH MARCHEVSKY, ANDREA ALEJANDRA GIUBERGIA, NÉSTOR HUGO PONCE

---

### **Diagnóstico de los efectos generados por el tráfico de largo destino en la malla vial del municipio de Cachipay, Cundinamarca**

62

Diagnosis of the effects generated by long-distance traffic in the road network of the municipality of Cachipay, Cundinamarca

ESPINEL DUARTE LUIS EDUARDO, LADINO CHAVES OSWALDO, IGUARÁN SALINAS LAUREN DIANE

---

### **Instrucciones para los autores**

76

### **Instructions for authors**

84

### **SUSCRIPCIÓN**

92

### **SIGN UP**

93

## EDITORIAL

En Colombia, con la creación y la expedición del Código Sanitario Nacional (Ley 9 de 1979) en un contexto de Sistema Nacional de Salud –SNS (Decretos 056 y 350 de 1975), se adoptó un enfoque amplio de los aspectos que intervienen en la salud humana incluyendo elementos específicos en relación con la protección del medio ambiente, fundamentándose en la comprensión de que la relación del ser humano con su entorno ambiental, es un determinante básico de la calidad de vida y la condición de salud (Steenland y Savitz, 1997).

El código Sanitario Nacional fue reglamentado en diversos aspectos tales como las emisiones atmosféricas (Decretos 02/82 y 2206/84), el agua potable (Decreto 2105/83) y los residuos líquidos (Decreto 1594/84), entre otros. Estos instrumentos de regulación, fueron en su momento el soporte para el control de la contaminación ambiental dentro del ámbito de la salud pública.

Durante el año 1993, y como parte de un paquete de reformas, se tramitó y aprobó tanto la creación de un Sistema Nacional Ambiental (Ley 99 de 1993) y como la reforma del sistema de salud con base en un modelo de aseguramiento (Ley 100 de 1993), estableciendo en el primer caso que: “En cuanto las actividades reguladas por el Ministerio del Medio Ambiente puedan afectar la salud humana, esta función será ejercida en consulta con el Ministerio de Salud”, para lo cual estableció la participación del ministerio de salud en el consejo nacional ambiental. En segunda instancia, se estableció que: “El Ministerio de Salud definirá un plan de atención básica que complementa las acciones previstas en el plan obligatorio de salud de esta ley y las acciones de saneamiento ambiental”, las cuales debían ser obligatorias y financiadas con recursos fiscales.

Así pues, las modificaciones introducidas en la legislación no se encaminaron a fortalecer un enfoque integrado, sino que produjeron una escisión entre dos caras de una misma moneda, generando fragmentación y por ende un limitante para el desarrollo de la salud ambiental en el país, lo que implica una distorsión importante en la concepción de las interacciones de estos dos universos (salud-ambiente), cuando en la realidad, las personas y las comunidades se siguen enfrentando a los efectos de estas interacciones. El tema resulta crítico porque se ha calculado que el daño ambiental en el país, que incluye los costos sociales y ambientales, representa el 3,7% del PIB (Larsen, 2004),

cifra que supera el promedio reportado por países con nivel de ingreso similar al nuestro (Sánchez-Triana, et al, 2007).

Con base en diversos autores (Ordóñez, 2000, Gee y Payne-Sturges, 2004 y Briggs, 2008), y desde una aproximación puramente epistemológica, se plantea diferenciar tres ambientes dentro de los que se desenvuelven las personas como individuos y como comunidad: el más proximal, es decir, su entorno químico, biológico y físico; uno intermedio, constituido por su entorno natural y cultural, que incluye las modificaciones que se han introducido a la naturaleza; y el más distal, que se relaciona con las estructuras de poder en tres campos (económico, social y político). Esta categorización es importante porque permite estructurar esfuerzos en la atención de episodios de salud ambiental de acuerdo con el nivel en donde se puedan presentar y donde mejor se pueda diseñar una solución. Sin embargo, aunque todos los asuntos relacionados con la salud de una comunidad tienen determinantes proximales, intermedios y distales (McMichael, 1999 y Álvarez, 2009), este análisis no siempre orienta adecuadamente el esfuerzo más eficiente (Krieger, 2008).

La intervención gubernamental en estos tres niveles debe hacerse de una manera coordinada para que los esfuerzos emprendidos no se queden dentro de su propia área de influencia, sino que trasciendan y se coordinen con todos los niveles y sean coherentes con los esfuerzos de largo plazo. Se pueden emprender acercamientos metodológicos como el propuesto por Corvalán, et al (1999) denominado “Marco de causa-efecto entre Salud y Ambiente”, para iniciativas tanto intra-nivel, como inter-nivel, los cuales tengan en cuenta todos los determinantes asociados a la problemática específica, independientemente del alcance requerido.

No obstante, hay dos aspectos que resultan sugestivos. En primer lugar, que la cercanía temporal en la discusión y aprobación de las leyes que abordan los temas de salud y medio ambiente no haya generado una mejor interacción de tipo legal y conceptual. Y en segundo lugar, que luego de casi cuatro décadas de expedido el denominado Código Sanitario Nacional (Ley 9 de 1979), no se haya logrado avanzar en una visión integradora de la manera como las realidades ambientales están determinando los indicadores de la salud de las personas.

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA-UBAQUE  
Director

## EDITORIAL

---

With the creation and issuance of the National Health Code (Law 9 of 1979) in a context of the National Health System –NHS (Decrees 056 and 350 of 1975), a broad approach to the aspects involved in health was adopted in Colombia human being including specific elements in relation to the protection of the environment. This approach is based on the understanding that the relationship between the human being and his or her environment is a basic determinant of quality of life and health condition (Steenland and Savitz, 1997). The National Sanitary Code was regulated in various aspects such as air emissions (Decrees 02/82 and 2206/84), drinking water (Decree 2105/83), and liquid waste (Decree 1594/84), among others. These regulatory instruments were, at the time, the support for the control of environmental contamination within the scope of public health.

During 1993, and as part of a reform ensemble, the creation of a National Environmental System (Law 99 of 1993) and the reform of the health system based on an assurance model (Law 100 of 1993) were processed and approved. Then, it was firstly established that: “As soon as the activities regulated by the Ministry of the Environment can affect human health, this function will be exercised in consultation with the Ministry of Health,” hence it established the participation of the Ministry of Health in the National Environmental Council. In the second instance, it was established that: “The Ministry of Health will define a basic care plan that complements the actions foreseen in the mandatory health plan of this law and environmental sanitation actions,” which should be obligatory and financed with resources fiscal.

Thus, the amendments introduced in the legislation were not aimed at strengthening an integrated approach, but rather produced a split between two sides of the same coin, generating fragmentation and therefore a constraint for the development of environmental health in the country, which implies an important distortion in the conception of the interactions of these two universes (health-environment), while in reality people and communities continue to face the effects of these interactions. The issue is critical because it has been estimated that environmental damage in the country, including social and environmental costs, represents 3.7% of GDP (Larsen, 2004). This figure

exceeds the average reported by countries with income level similar to ours (Sánchez-Triana, et al, 2007). Based on various authors (Ordóñez, 2000, Gee and Payne-Sturges, 2004 and Briggs, 2008), and from a purely epistemological approach, it is proposed to differentiate three environments within which people develop as individuals and as a community: the more proximal (chemical, biological, and physical environment); the intermediate, constituted by its natural and cultural environment (which includes the modifications that have been introduced to nature); and the most distal, related to power structures in three fields (economic, social and political). This categorization is important because it allows structuring efforts in the attention of episodes of environmental health according to the level where they can be presented and where a solution can best be designed. However, although all matters related to the health of a community have proximal, intermediate and distal determinants (McMichael, 1999 and Álvarez, 2009), this analysis does not always adequately orient the most efficient effort (Krieger, 2008).

Government intervention at these three levels must be done in a coordinated manner so that the efforts undertaken are not within their own area of influence but transcend and coordinate with all levels and are consistent with long-term efforts. Methodological approaches can be undertaken; for example, the one proposed by Corvalán, et al (1999) called “Cause-Effect Framework Between Health and Environment,” for both intra-level and inter-level initiatives, which consider all the associated determinants to the specific problem, regardless of the scope required.

Nevertheless, there are two aspects that are suggestive. In the first place, that the temporary closeness in the discussion and approval of the laws that address the issues of health and environment has not generated a better legal and conceptual interaction. And secondly, that after almost four decades of issuing the so-called National Health Code (Law 9 of 1979), it has not been possible to advance an integrating vision of the way in which environmental realities are determining the indicators of the health of people.

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA-UBAQUE  
Director





## Adsorción de rojo 40 sobre cascarilla de arroz: determinación del equilibrio, cinética y termodinámica

### Adsorption of red 40 dye on rice husk: determination of the equilibrium, kinetic and thermodynamic of the process

Fredy Alberto Amaringo Villa<sup>1</sup>, Angelina del Socorro Hormaza<sup>2</sup>

**Fecha de recepción:** 23 de noviembre de 2017

**Fecha de aceptación:** 23 de febrero de 2018

**Cómo citar:** Amaringo, F. y Hormaza A. (2018). Adsorción de rojo 40 sobre cascarilla de arroz: determinación del equilibrio, cinética y termodinámica *Revista Tecnura*, 22(56), 13-28. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.12961>

#### Resumen

**Contexto:** Los residuos agrícolas se han convertido en adsorbentes no convencionales de gran interés debido a su amplia disponibilidad, mínimo costo y alta eficiencia. En este trabajo se evaluó la capacidad adsorbente del subproducto cascarilla de arroz (CA) en la remoción del colorante aniónico rojo 40 (R40), bajo un sistema discontinuo.

**Método:** Para determinar las mejores condiciones de remoción de este colorante, se implementó un diseño factorial 2<sup>3</sup>, que permite alcanzar una remoción del 75,6 % a pH=2,0, concentración inicial de 15 mg/L, dosificación de 8,0 g/L y tiempo de contacto de 18 horas.

**Resultados:** Se evaluó el equilibrio del proceso y se encontró que el modelo Langmuir es el que mejor representa los resultados experimentales con  $q_{máx}$  de 2,74 mg/g y un coeficiente de ajuste de  $R^2 = 0,987$ . En cuanto a la cinética, el modelo de pseudo segundo orden con  $q_t$  de 1,09 mg/g presentó el mejor ajuste ( $R^2 = 0,970$ ). Con respecto a las propiedades termodinámicas, la energía libre de Gibbs (con  $\Delta G = -1,11$  kJ/mol) y la entropía (con

$\Delta S = 23,9$  J/mol\*K), señalan un proceso espontáneo, en tanto que la entalpía mostró que la remoción de R40 constituye un proceso endotérmico, con un  $\Delta H = 6,71$  kJ/mol. Adicionalmente, la energía de activación con valor de 14,1 kJ/mol sugiere que el mecanismo de adsorción del R40 transcurre a través de una fisiadsorción.

**Conclusiones:** Estos resultados señalan que la cascarilla de arroz ofrece una adecuada capacidad adsorbente para la retención de colorantes azo de efluentes contaminados y que el escalado de dicho proceso es factible dadas sus características termodinámicas.

**Palabras clave:** cinética, colorante azo, diseño de experimentos, isoterma, remoción, residuo agrícola.

#### Abstract

**Context:** Agricultural residues have become unconventional adsorbents of great interest due to their wide availability, minimum cost, and high efficiency. In this work, the adsorbent capacity of rice husk by-product (RH) in the Red 40 (R40) anionic dye removal was evaluated under a discontinuous system.

1 Químico, magíster en Ciencias-Química, estudiante de doctorado en Ingeniería Ambiental. Grupo de investigación en Gestión y Modelación Ambiental GAIA. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia, AP. 1226. Contacto: [fredy.amaringo@udea.edu.co](mailto:fredy.amaringo@udea.edu.co)

2 Química, magíster en Química Orgánica, Dr. rer. nat. Profesora asociada, escuela de Química, Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia. Grupo de investigación en Síntesis, Reactividad y Transformación de Compuestos Orgánicos (SIRYTCOR). Medellín, Colombia, AP. AP 3840. Contacto: [ahormaza@unal.edu.co](mailto:ahormaza@unal.edu.co)

**Method:** For determining the best conditions for the removal of this dye, a factorial design  $2^3$  was implemented, which allows to achieving a removal of 75.6% at pH = 2.0, an initial concentration of 15 mg/L, dosage of 8.0 g/L, and contact time of 18 hours.

**Results:** The equilibrium, kinetics and thermodynamic properties of the process were evaluated. It was found that the Langmuir model best represents the experimental results with  $q_{max}$  of 2.74 mg/g and an adjustment coefficient of  $R^2=0.987$ . Regarding kinetics, the pseudosecond order model with  $qt$  of 1.09 mg/g presented the best fit ( $R^2 = 0.970$ ). Finally, Gibbs free energy ( $\Delta G = -1.11$  KJ/mol) and entropy

( $\Delta S = 23.9$  J/mol\*K) indicate a spontaneous process, while enthalpy showed that the removal of R40 constitutes an endothermic process, with  $\Delta H = 6.71$  KJ/mol. Furthermore, the activation energy of 14.1 KJ/mol suggests that the mechanism of adsorption of the R40 takes place through a physi-adsorption.

**Conclusions:** These results indicate that the rice husk offers an adequate adsorbent capacity for the retention of azo dye of contaminated effluents; besides, scaling up this process is feasible given its thermodynamic characteristics.

**Keywords:** kinetic, azo dye, design of experiments, isotherm, removal, agricultural by-product.

## Introducción

Se estima que anualmente se producen en el mundo 10 millones de toneladas de colorantes, de las cuales, cerca de 70 % corresponde a los compuestos azo, que se utilizan principalmente en la industria textil y alimentaria (O'Neill *et al.*, 2000). Dado que su fijación no es totalmente eficiente, se reporta que el 10 % de estos colorantes son vertidos en ríos y fuentes de agua, lo que constituye un serio problema ambiental para las autoridades sanitarias (Volmajer, Majcen Le Marechal y Vajnhandl, 2011).

La descarga de estos efluentes es indeseable no solo debido a un desfavorable impacto visual, sino también a los riesgos para la salud humana en razón de las características tóxicas o mutagénicas atribuidas a estos colorantes (De Aragão Umbuzeiro *et al.*, 2005). Además, cabe señalar que la mayor afectación se relaciona con la disminución del paso de la radiación solar, reduciendo los procesos fotosintéticos y, con ello, la disponibilidad de oxígeno para la flora y fauna (Carneiro, Umbuzeiro, Oliveira y Zanoni, 2010). Sin tratamientos adecuados, estos tintes se estabilizan y pueden permanecer en el ambiente durante largos periodos de tiempo (O'Neill, Hawkes, Hawkes y Lourenc, 1999).

Varios estudios han demostrado mediante pruebas con animales que el grupo azo es un causante de cáncer, por tanto, se prevé su efecto carcinógeno en seres humanos (Balakrishnan *et al.*, 2016). El colorante R40 es soluble en agua y se utiliza principalmente en los productos cárnicos y confitería, pero debido a su naturaleza azoica puede provocar intolerancia en aquellas personas que son afectadas por los salicilatos (McCann *et al.*, 2007). Estudios recientes comprobaron el potencial genotóxico del R40 mediante ensayos cometas en células de levadura (Jabeen, Ur Rahman, Mahmood y Anwer, 2013).

La legislación ambiental es cada vez más estricta en cuanto al contenido de color en el vertimiento de efluentes coloreados, por lo cual su remoción se ha convertido en parámetro de cumplimiento. El color, aún en concentraciones mínimas de 1 ppm, es altamente visible y para su tratamiento se utilizan diferentes métodos químicos, físicos y biológicos (Yagub, Sen, Afroze y Ang, 2014). Dentro de los métodos químicos físicos se encuentran: adsorción con carbón activado, filtración con membrana, intercambio iónico y coagulación, que, aunque son factibles, presentan alta concentración de lodos (García, García y De Plaza, 2016). En cuanto a los métodos químicos, se destacan los procesos oxidativos, ozonización, fotoquímica y destrucción electroquímica

que, a pesar de que tienen tiempos de vida cortos, pueden formar subproductos tóxicos además de tener velocidades de flujo cortas que ocasionan una baja remoción. Los métodos biológicos, como bioadsorción, decoloración con hongos y biorremediación, han demostrado no ser eficientes para todos los colorantes, además de producir metano y sulfuro de hidrógeno (Rodríguez, García y Pardo, 2015). Por otro lado, solo recientemente el Gobierno nacional implementó controles para el vertimiento de efluentes coloreados en cuerpos de agua mediante la Resolución 0631 de 2015, en el que se especifican las concentraciones de colorantes máximas que pueden ser vertidas. No obstante, cabe señalar que la vigilancia y cumplimiento de esta norma son mínimos.

Dentro de los productos agrícolas destacados en Colombia por su alta producción, el arroz se posiciona como uno de los más importantes, con una producción estimada de 2,5 millones de toneladas de arroz paddy y 1,7 millones toneladas de arroz blanco por año que dan lugar a 400 mil toneladas de cascarilla de arroz (CA). Este subproducto agrícola no es utilizado en actividades alternas, de tal forma que su disposición representa una grave problemática ambiental para este gremio económico (Fedearroz, 2006). Actualmente, solo una pequeña parte de la cascarilla de arroz generada es utilizada, especialmente en galpones, cultivos de flores y secado de granos en hornos, el resto del volumen producido es quemado a cielo abierto. Recientemente, este residuo se está utilizando como combustible en ladrilleras para aprovechar así todo el calor que produce (Núñez, 2012; Sánchez, 2002).

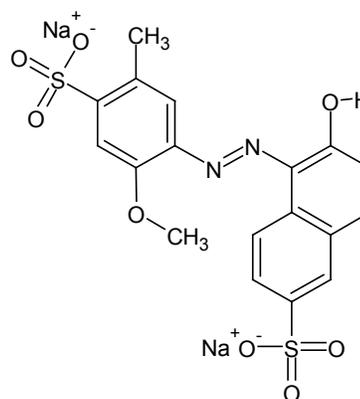
A la fecha, los trabajos relacionados con la remoción de R40 son pocos; cabe señalar la investigación de Sánchez-Duarte, Sánchez-Machado, López-Cervantes y Correa-Murrieta (2012), quienes obtuvieron una remoción del 94 % a pH=3,0 y del 63 % a pH=11,0 sobre quitosán. Este material también ha sido utilizado por Piccin, Dotto, Vieira y Pinto (2011) alcanzando una capacidad máxima de adsorción de 300 mg/g. No obstante, dentro de los residuos agrícolas, solo se ha reportado la

evaluación de la tusa de maíz para este propósito (Hormaza, Moreno y Figueroa, 2013). Así, con el ánimo de contribuir al diseño de alternativas eficientes, económicas y viables para el tratamiento de este colorante azo, en este trabajo se llevó a cabo la evaluación de la capacidad adsorbente del residuo agrícola CA. Un diseño factorial completo 23 fue implementado para determinar las condiciones más propicias del proceso de remoción. Así mismo, la evaluación del equilibrio, la cinética y la termodinámica permitieron describir el proceso. Las expresiones matemáticas de Langmuir y Freundlich fueron seleccionadas para el análisis de las isothermas, en tanto que la cinética fue evaluada a través de las ecuaciones de pseudoprimer orden, segundo orden y Elovich.

## MATERIALES Y METODOS

### Colorante R40

Este colorante, también conocido como FD&C Rojo No. 40, y ha sido designado por la Food and Drugs Administration (FDA) como rojo Allura o rojo alimenticio 17. Según el CI se encuentra clasificado con el número 16035, tiene un peso molecular de 496,42 g/mol, una fórmula molecular  $C_{18}H_{14}N_2O_8S_2Na_2$ , cuya estructura química se presenta en la figura 1. El colorante R40 de grado comercial fue suministrado, para este estudio, por Color Química S.A., con una pureza de 85 %.



**Figura 1.** Estructura química del rojo 40

**Fuente:** elaboración propia.

### Preparación del adsorbente

La cascarilla de arroz natural se obtuvo de las agroindustrias arroceras localizadas en el municipio de Planeta Rica, departamento de Córdoba, Colombia. El muestreo se realizó de forma aleatoria en cinco puntos de recolección durante el primer trimestre del año para evitar la humedad debido a que los sitios de almacenamiento se encuentran a cielo abierto. El tratamiento incluyó tres lavados utilizando agua tipo II, y un posterior secado a 80 °C durante un tiempo de 24 horas en un horno digital HDF-64 Marca A&E, molienda y tamizado para disponer de partículas con un tamaño en un intervalo específico. El adsorbente así preparado fue almacenado en recipientes herméticos. Se prepararon soluciones patrón del R40 a una concentración de 30 mg/L, a partir de las cuales se realizaron las correspondientes diluciones para las curvas de calibración, estas fueron medidas a la longitud de onda de máxima absorbancia, es decir, a  $\lambda_{\text{máx}} = 505 \text{ nm}$ .

### Diseño estadístico de experimentos para la remoción de R40

En este trabajo se implementó un diseño factorial completo  $2^3$  para evaluar la importancia de los factores concentración inicial del colorante (A), dosificación de adsorbente (B), y tiempo de contacto (C) en la remoción del colorante. Los parámetros que permanecieron constantes fueron pH, tamaño de partícula, temperatura y velocidad de agitación. En la tabla 1 se detallan los factores y sus respectivos niveles.

Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado, utilizando 25 mL de la solución de colorante a pH = 2,0, adsorbente con partículas cuyo tamaño oscila entre 0,3 y 0,5 mm, a temperatura ambiente y una velocidad de agitación de 180 rpm.

El porcentaje de remoción del R40 (tabla 2) se calculó según la ecuación (1).

$$\% \text{ de remoción} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

Donde,  $C_o$  es la concentración inicial del colorante y  $C_e$  es la concentración en el equilibrio.

Los efectos de la interacción para cada colorante mediante la ecuación (2).

$$\text{Efecto} = \bar{R}_{+i} - \bar{R}_{-i} \quad (2)$$

Donde,  $\bar{R}_{+i}$  y  $\bar{R}_{-i}$  son los promedios de los porcentajes de remoción para los niveles alto (+) y bajo (-) para cada factor. Los efectos principales se refieren a los promedios de los resultados (+) y (-) del factor cuyo efecto es calculado sin considerar los niveles de los otros factores. Para interacciones binarias,  $\bar{R}_{+,j}$  es el promedio de los resultados de ambos factores a sus niveles (+1) y (-1), mientras  $\bar{R}_{-,j}$  es el promedio de los resultados para los factores, cuando uno de ellos está en el nivel alto y el otro en el nivel bajo (Cestari, Vieira, Tavares y Bruns, 2008).

El análisis de varianza, anova (Bingol, Tekin y Alkan, 2010; Santos y Boaventura, 2010) (tabla 2), donde la importancia de los coeficientes

**Tabla 1.** Factores y niveles del diseño factorial  $2^3$  para R40

Factores	R40	
	Niveles	
	(-1)	(+1)
Concentración inicial de colorante (mg/L) (A)	15	20
Dosificación del adsorbente (g/L) (B)	4	8
Tiempo de contacto (h) (C)	6	24

**Fuente:** elaboración propia.

de regresión fue determinada aplicando la prueba *t Student*, señala que la concentración del colorante, la dosificación del adsorbente y el tiempo de contacto fueron los factores que cumplen con el nivel de confianza del 95 % ( $P < 0,05$ )

#### Estudio de equilibrio del colorante R40

Las isotermas de adsorción son importantes para describir la interacción de los colorantes con el adsorbente y de gran utilidad para determinar la capacidad adsorbente de diferentes materiales. En este trabajo se emplearon en particular las expresiones de Langmuir y Freundlich.

*Isoterma de Langmuir:* este modelo se representa matemáticamente mediante la ecuación (3) (Faria, Orfão y Pereira, 2004).

$$q_e = q_{m\acute{a}x} \frac{bC_e}{1 + bC_e} \quad (3)$$

Donde,  $q_{m\acute{a}x}$  es la capacidad máxima de adsorción del colorante bajo las condiciones dadas, en este caso el colorante [mg/g],  $b$  es la constante de Langmuir que indica la afinidad del adsorbato por el adsorbente,  $q_e$  es la cantidad de adsorbato que se ha trasladado a la superficie del adsorbente y  $C_e$  es la concentración de la solución en el equilibrio.

*Isoterma de Freundlich:* matemáticamente este modelo se describe mediante la ecuación (4) (Deng et al., 2007).

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

Donde, es la constante de *Freundlich* relacionada con la capacidad de adsorción,  $n$  es la constante de *Freundlich* relacionada con la intensidad de la adsorción,  $q_e$  y  $C_e$  son la cantidad de adsorbato que se ha trasladado a la superficie del adsorbente y concentración en el equilibrio.

Para evaluar las isotermas de adsorción se utilizó una solución madre de 30 mg/L en Erlenmeyers de 100 mL a pH=2,0, de la cual se prepararon nueve soluciones diluidas entre 3,0 y 27 mg/L, incrementando la concentración en 3 mg/L en cada solución. De cada solución se tomaron 20 mL en

un Erlenmeyer, a los cuales se adicionó 120 mg de CA. Los Erlenmeyers se sellaron y se dispusieron en un agitador con incubadora con el fin de mantener constante la temperatura durante 24 horas a una velocidad de agitación de 180 rpm. Para la determinación del contaminante residual, se tomaron 2,0 mL de muestra y se midieron en el espectrofotómetro a 505 nm. Todos los análisis se realizaron por triplicado a las temperaturas de 298, 308, 318 y 328 K. Al analizar estas muestras se midió la concentración en equilibrio  $C_e$ . Con este valor, se procedió a calcular la capacidad de adsorción mediante la ecuación (5).

$$q_e = \frac{V(L)(C_o - C_e)\left(\frac{mg}{L}\right)}{m(g)} \quad (5)$$

Luego, podemos graficar  $q_e$  vs  $C_e$  para evaluar las isotermas.

#### Cinética de adsorción de R40

La cinética de adsorción permite determinar la rapidez con la cual el colorante interacciona con la superficie adsorbente para su remoción; es una de las características importantes que definen la eficiencia de un adsorbente. Para la presente investigación, se implementaron tres ecuaciones cinéticas correspondientes al cinética de pseudoprimer orden, pseudosegundo orden y Elovich (Azizian, 2004; Ho y McKay, 1999).

*Ecuación de pseudo primer orden:* es uno de los modelos cinéticos más ampliamente utilizados, puede ser expresado mediante la ecuación (6) (Allen, Gan, Matthews y Johnson, 2005; Yeddou y Bensmaili, 2005).

$$\log \left( \frac{q_e}{q_e - q_t} \right) = \frac{k_1 t}{2.303} \quad (6)$$

Donde,  $q_e$  y  $q_t$  son la cantidad de adsorbato que se ha trasladado a la superficie del adsorbente en el equilibrio y en el tiempo  $t$ , respectivamente. es la constante de velocidad en  $\text{min}^{-1}$ .

*Ecuación de pseudo segundo orden:* esta expresión matemática se basa en la capacidad de adsorción en equilibrio y asume que la velocidad de

adsorción es directamente proporcional al cuadrado de sitios disponibles, como se muestra en la ecuación (7) (Ho y McKay, 1999; Ho, 2006; Halbus, Athab y Hussein, 2013).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k'_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (7)$$

Donde,  $q_t$  es la cantidad de colorante adsorbido sobre la superficie del adsorbente en el tiempo (mg/g),  $t$ : tiempo en (min), cantidad de adsorbato sobre la superficie del adsorbente en el equilibrio (mg/g),  $k'_2$ : constante de velocidad (g/mg\*min).

*Modelo de Elovich*: según este criterio se supone que los sitios activos del adsorbente son heterogéneos y por ello exhiben diferentes energías de activación que se representa mediante la ecuación (8) (Figuroa y Rodríguez, 2008; Yeddou y Bensmaili, 2005).

$$q_e = (1/\beta) \ln \alpha \beta + (1/\beta) \ln t \quad (8)$$

Donde,  $\alpha$  es la velocidad inicial de adsorción ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),  $\beta$  es la energía de activación por quimiadsorción (mg/g).

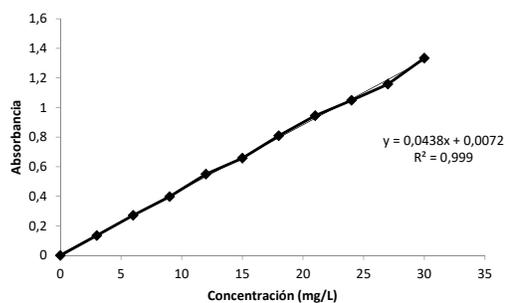
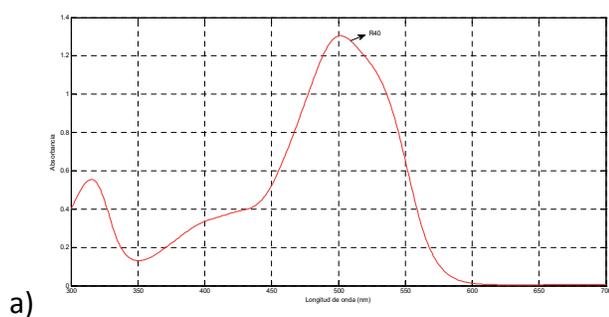
La solución de R40 se preparó a partir de la mejor condición de concentración obtenida del diseño estadístico, es decir, 15 mg/L. En Erlenmeyers de 100 mL, se tomaron 20 mL de cada solución, a los cuales se adicionaron 120 mg de CA.

Los Erlenmeyers se sellaron y se dispusieron en un agitador con incubadora con el fin de mantener constante la temperatura durante el proceso a una velocidad de agitación de 180 rpm. Estas soluciones se evaluaron por 24 horas variando el tiempo de muestreo en 15, 30, 60, 120, 180, 360 y 1440 minutos. Estas muestras fueron medidas a la longitud de onda de máxima absorción para la concentración residual en la muestra. Todos los análisis se realizaron por triplicado a las temperaturas de 298, 308, 318 y 328 K.

Posteriormente, se utilizaron las ecuaciones 6, de la expresión de pseudo primer orden; 7, correspondiente a la cinética de pseudo segundo orden, y 8, de Elovich, para determinar el modelo que mejor se ajusta a los resultados experimentales.

## RESULTADOS

*Diseño de experimentos para la remoción de R40* Inicialmente se llevaron a cabo las respectivas curvas de calibración, su análisis presentó coeficientes de correlación  $R^2$  de 0,999, señalando una adecuada linealidad. A partir de ellas, se estableció que el intervalo adecuado de estudio para el seguimiento por absorbancia de R40, es decir, dentro de la ley de Lambert-Beer, corresponde a 0-30 mg/L que son mostradas en las figuras 2a y 2b.



**Figura 2.** a) Espectro de R40 (concentración inicial 30 mg/L), b) Curva de calibración de R40

**Fuente:** elaboración propia.

El análisis de varianza que se muestra en la tabla 2, determino que los factores concentración, dosificación y tiempo de contacto son los que cumplen con el nivel de confianza del 95% ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 2.** Análisis de varianza para % de remoción – R40

Factor	Valor-p
A: Concentración	0,0006
B: Dosificación	0,0000
C: Tiempo de contacto	0,0062
AB	0,0905
BC	0,0981

Fuente: elaboración propia.

A partir de esta información se determinó la remoción de R40 usando la ecuación (9).

$$\% \text{ de remoción R40} = 37.5 - 6.18A + 11.9B + 4.60C \quad (9)$$

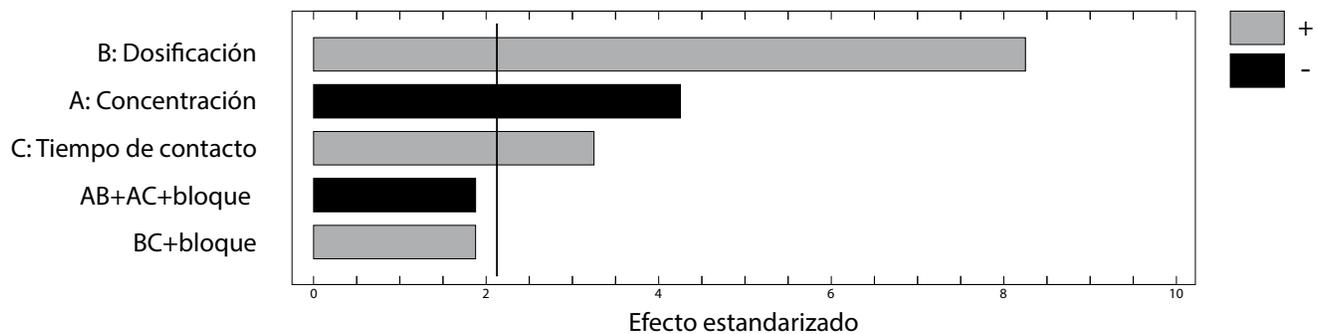
Donde, A, B, C pueden tomar los valores ( $\pm 1$ ) de la concentración, dosificación del adsorbente y tiempo de contacto respectivamente. Con esta ecuación fue posible predecir los porcentajes de remoción del R40 sobre CA. Al comparar los porcentajes de adsorción experimentales con los predichos de la tabla 3, se aprecia una gran similitud, permitiendo sugerir que el modelo matemático establecido es adecuado para la evaluación del proceso de adsorción.

**Tabla 3.** Diseño factorial  $2^3$  de la remoción de R40 en CA experimentales y predichas

Corrido	Co	DA	TC	% de remoción	% de remoción predichos
1	20	8	6	39.8	38.6
2	15	8	6	47.5	50.9
3	15	4	6	27.6	27.2
4	20	4	18	27.9	24.0
5	15	4	18	35.1	36.4
6	20	4	6	22.9	14.8
7	20	8	18	49.5	47.8
8	15	8	18	75.6	60.2

DA = Dosificación del adsorbente  
 Co = Concentración inicial del colorante  
 TC = Tiempo de contacto

Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.** Diagrama de Pareto estandarizado de la remoción de R40 en CA

Fuente: elaboración propia.

En el diseño de experimentos factorial 2<sup>3</sup> para la remoción de R40 en CA, se encontró que la mejor remoción se obtiene con 15 mg/L de concentración, 8 g/L de dosificación de adsorbente y 18 horas de tiempo de contacto para una remoción de 75,6 %.

La importancia de los efectos principales de los factores y sus interacciones en la remoción del colorante R40 sobre CA son presentadas en el diagrama de Pareto de la figura 3. En este caso, la dosificación del adsorbente (B) y tiempo de contacto (C) son factores significativos con un efecto positivo, mientras que la concentración del colorante (A) también es significativa, pero con un efecto negativo sobre el porcentaje de remoción. Por otro lado, las interacciones binarias no superan la línea de referencia, indicando su menor significancia estadística, por lo cual no son considerados en el análisis (Bingol, Tekin y Alkan, 2010).

#### Evaluación del equilibrio de R40

Los resultados del equilibrio del proceso de remoción del R40 son mostrados en la tabla 4. Como es conocido, los coeficientes de correlación, R<sup>2</sup>, permiten determinar el modelo de equilibrio que mejor se ajuste con los datos experimentales. A partir de este criterio, los resultados de la tabla 4 señalan que la isoterma de Langmuir ofrece la mejor representación el proceso de remoción del R40 sobre CA con un valor R<sup>2</sup>=0,987. Las constantes de los modelos de equilibrio de Langmuir  $q_{m\acute{a}x}$  y  $b$ , y de Freundlich  $K_f$  y  $n$  señalan las propiedades de la superficie del adsorbente y la afinidad por ciertos adsorbatos, esto permite comparar las capacidades de adsorción de diferentes adsorbentes.

Los valores del parámetro de Langmuir,  $q_{m\acute{a}x}$  describen la capacidad de saturación de la superficie del material adsorbente en el equilibrio. Así, de la tabla 4, se puede concluir que, en el equilibrio a 328 K, se obtiene la capacidad máxima de adsorción de la superficie R40 con un  $q_{m\acute{a}x}$  de 2,74 mg/g. Es decir, con el incremento de la temperatura se ve favorecido el proceso de adsorción. Se aprecia que la temperatura ejerció una influencia debido a que  $q_{m\acute{a}x}$  muestra un aumento, pasando de 1,55 a 2,74 mg/g al incrementar la temperatura de 298 a 328 K. Cabe señalar que  $b$  es definido en la ecuación (10) como un coeficiente relacionado con la afinidad entre el adsorbente y el adsorbato.

$$b = \frac{1}{K} \tag{10}$$

En donde,  $K$  es la constante de equilibrio que representa la afinidad del adsorbato por el sitio activo del adsorbente, tal como se muestra en la ecuación (11).

$$K = \frac{1}{b} \tag{11}$$

Por tanto,  $b$  representa el inverso de la afinidad (Volesky, 2003). Entonces, de la tabla 4 se puede concluir que, en el equilibrio a 328 K, se presenta la máxima afinidad entre adsorbato y el sitio activo del adsorbente con un  $K$  de 6,99. Estos resultados se explican debido al aumento de la temperatura, es decir, la afinidad se favorece con su incremento, y adicionalmente muestran concordancia con los valores descritos para  $q_{m\acute{a}x}$ . Los valores de R<sup>2</sup> de la expresión de Freundlich permiten establecer que este

**Tabla 4.** Isotermas de Langmuir y Freundlich para R40 a 298, 308, 318 y 328 K

T (K)	$q_{m\acute{a}x}$ [mg/g]	Modelo de Langmuir			Modelo de Freundlich		
		$B$ (L/mg)	$K$	$R^2$	$K_f$ (mg/g)	$N$	$R^2$
298	1,55	0,423	2,36	0,987	0,501	2,61	0,953
308	1,56	0,402	2,49	0,983	0,504	2,59	0,899
318	1,75	0,351	2,85	0,977	0,508	2,37	0,899
328	2,74	0,143	6,99	0,976	0,516	2,30	0,901

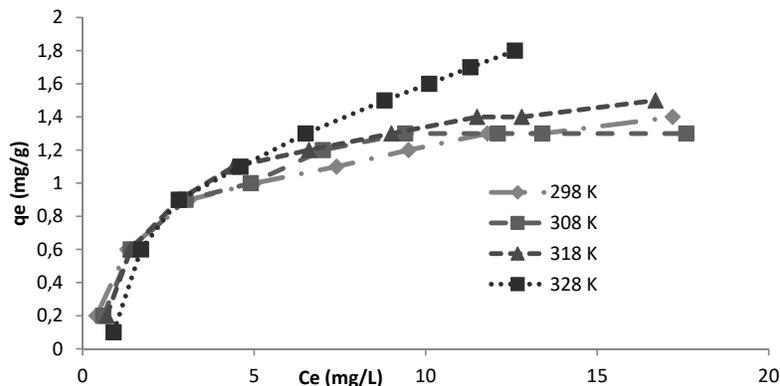
Fuente: elaboración propia.

modelo no ofrece un ajuste satisfactorio ya que los coeficientes de correlación, entre 0,899 y 0,953, tienen un valor menor a los  $R^2$  obtenidos con la isoterma de Langmuir. Las constantes  $K_f$  y  $n$  del modelo de Freundlich denotan la capacidad de adsorción y la intensidad de adsorción respectivamente; cabe señalar que para esta última, cuanto más cercano sea su valor a cero, mayor será la afinidad de la superficie por el colorante (Aksu y Akpinar, 2001). En ese sentido, de esta información se puede establecer que, en el equilibrio a 328 K, con un  $n$  de 2,30 se presenta la mayor afinidad de adsorción.

En cuanto a la capacidad de adsorción, se observa que el valor de  $K_f$  del R40 aumenta de forma

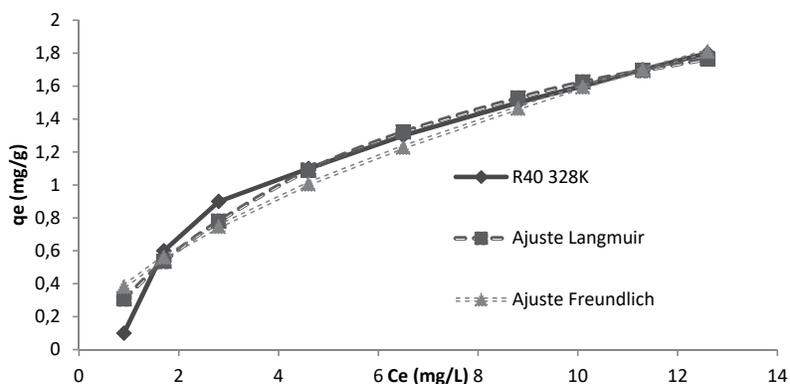
poco significativa con el cambio de temperatura de 298 K a 328 K, pasando de 0,501 a 0,516 respectivamente; es decir, la temperatura ejerce una influencia mínima en dicha capacidad.

Los resultados experimentales de la capacidad de adsorción en equilibrio  $q_e$  y concentración en equilibrio  $C_e$  a las temperaturas de 298, 308, 318 y 328 K, son mostrados en la figura 4. En la figura 5 se aprecia que a 328 K se alcanza la capacidad máxima de adsorción para este colorante,  $q_{máx}$  (tabla 4), por lo cual dicha temperatura fue seleccionada para llevar a cabo el ajuste a las ecuaciones de equilibrio de Langmuir y Freundlich fue efectuado a dicha temperatura.



**Figura 4.**  $C_e$ (mg/L) frente a  $q_e$ (mg/g) de R40 a diferentes temperaturas

Fuente: elaboración propia.



**Figura 5.**  $C_e$ (mg/L) frente a  $q_e$ (mg/g) de R40 a 328K con los ajustes de Langmuir y Freundlich

Fuente: elaboración propia.

### Evaluación de la cinética de R40

En cuanto a la cinética del proceso de remoción del R40 para los tres modelos evaluados, los valores de  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $q_e$  y  $R^2$  así como  $\beta$  a diferentes temperaturas son presentados en la tabla 5.

Los resultados experimentales de la cinética a las temperaturas de 298, 308, 318 y 328 K, son mostrados en la figura 6. Allí se aprecia que a 328 K se alcanza el mayor valor de la capacidad máxima de adsorción para este colorante,  $q_t$  (tabla 5). La cinética de adsorción de R40 sobre CA señala que el proceso sigue satisfactoriamente el modelo cinético de pseudo segundo orden, con un coeficiente de correlación máximo  $R^2 = 0,970$  a la temperatura de 328 K, señalando, por consiguiente, que la ocurrencia del proceso es función de la concentración inicial del soluto y es representativo de soluciones de baja concentración.

Cabe señalar que estos resultados concuerdan con los reportados por investigadores como Azizian (2004), quien demuestra que concentraciones bajas de distintos colorantes como azul básico 169, azul ácido 25 y rojo ácido 114, presentan mejor ajuste a una cinética de pseudosegundo orden a una concentración inicial baja. Continuando con el modelo cinético de pseudo segundo orden, se puede observar que el parámetro experimental  $qt$ , a cada temperatura evaluada, tiene mayor similitud con el valor del parámetro teórico  $qe$  correspondiente al modelo cinético de pseudo segundo

orden, confirmando que la adsorción de R40 sobre CA transcurre a través de dicho modelo. De forma general, para los tres modelos cinéticos evaluados se puede destacar en dichas tablas que las constantes de velocidad  $k_1$ ,  $k_2$  y  $q_e$  de la adsorción del R40 sobre CA, incrementan su valor cuando la temperatura aumenta, debido al cambio en la concentración de la solución (Ho, 2006). Así, por ejemplo, la  $k_2$  pasa de  $1,78 \times 10^{-4}$  (g/mg\*min) a 298 K a  $2,98 \times 10^{-4}$  (g/mg\*min) a 328 K. El incremento en el valor de la constante de pseudo segundo orden con el aumento en la temperatura obedece a la ecuación de Arrhenius, donde la constante  $k_2$  es expresada en función de la temperatura según la ecuación (12) (Yeddou y Bensmaili, 2007).

$$k_2 = k_o \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (12)$$

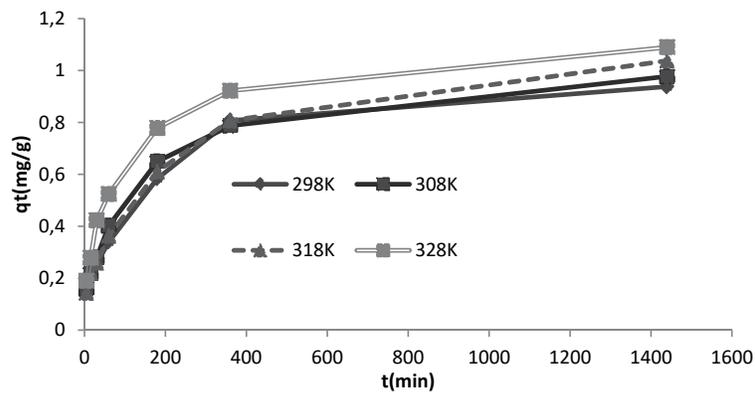
Donde,  $k_o$  es un factor independiente de la temperatura (g/mg\*min).  $E_a$  es la energía de activación (kJ/mol).  $R$  es la constante de los gases (8,314 J/mol\*K).  $T$  es la temperatura de la solución (K).

Para el modelo de Elovich, la constante  $\beta$ , que indica la velocidad de adsorción, aumenta con la temperatura como en los modelos anteriores y la constante  $\beta$ , que indica la energía de adsorción y es inversa a la capacidad de adsorción, muestra de acuerdo con lo previsto, una disminución con el aumento de la temperatura, tal como se reporta en estudios previos realizados con el adsorbente

**Tabla 5.** Modelos cinéticos de pseudo primer orden, pseudo segundo orden y Elovich para la adsorción de R40 sobre CA

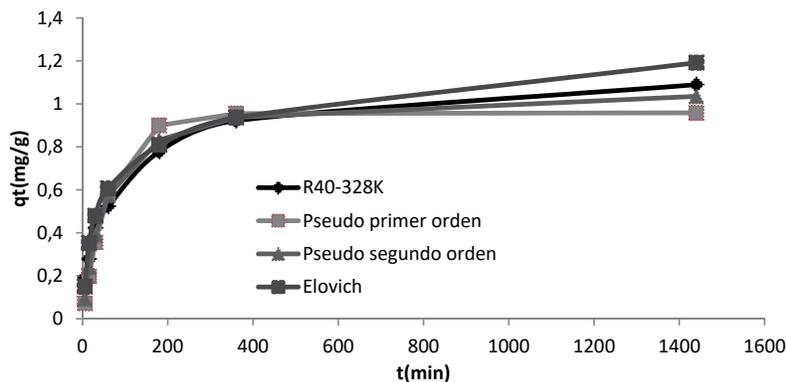
T (K)	$q_t$ (mg/g)	Modelo cinético de pseudoprimer orden			Modelo cinético de pseudosegundo orden			Modelo cinético de Elovich		
		$k_1 \times 10^{-4}$ (g/mg*min)	$q_e$ (mg/g)	$R^2$	$k_2 \times 10^{-4}$ (g/mg*min)	$q_e$ (mg/g)	$R^2$	$\beta$ (g/mg)	A (mg/g*min)	$R^2$
298	0,94	1,30	0,88	0,923	1,78	0,985	0,958	6,49	0,0441	0,941
308	0,98	1,67	0,87	0,920	2,13	0,989	0,969	5,79	0,0447	0,956
318	1,01	2,07	0,88	0,903	2,57	0,998	0,966	5,75	0,1126	0,937
328	1,09	2,60	0,96	0,911	2,98	1,07	0,970	5,43	0,0830	0,958

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 6.**  $t$  frente a  $qt$  de R40 a temperaturas de 298, 308, 318 y 328 K

Fuente: elaboración propia.



**Figura 7.** Cinética de adsorción de pseudo primer orden, pseudo segundo y Elovich del R40 a 328 K

Fuente: elaboración propia.

quitosano y el colorante rojo reactivo 222 como adsorbato (Wu, Tseng y Juang, 2009). Parte de la información anteriormente descrita, también puede apreciarse en la figura 7, donde se confirma que el mejor ajuste fue alcanzado a 328 K y que a esta temperatura, el modelo de Ho presentó la mejor correlación.

#### Parámetros termodinámicos

Los parámetros termodinámicos son de gran importancia dado que señalan las aplicaciones prácticas de un proceso. Así, por ejemplo, valores negativos para la energía libre de Gibbs,  $\Delta G$ , se asocian con procesos que ocurren de forma espontánea (Dotto,

Vieira, Esquerdo y Pinto, 2013; Elkady, Ibrahim y El-Latif, 2011). El cambio en la energía libre de Gibbs  $\Delta G^\circ$  de la adsorción fue calculado de acuerdo con la ecuación (13).

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_{eq} \quad (13)$$

Donde,  $R$  es la constante universal de los gases ( $8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) y  $T$  (K) la temperatura absoluta y  $K_{eq}$ , es la constante de equilibrio, cuyo valor fue calculado a partir de la información de las isotermas de adsorción, mediante la ecuación (14).

$$K_{eq} = \frac{q_e}{C_e} \quad (14)$$

Donde,  $q_e$  es la cantidad del colorante adsorbido sobre el adsorbente, y  $C_e$  es la concentración del adsorbato en solución en el equilibrio considerando la dosificación de adsorbente en  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . De la tabla 6 se observa que la constante de equilibrio  $K_{eq}$  aumenta al incrementar la temperatura, pasando de 1,20 a 298 K a 1,50 a 328 K. Es decir, el proceso de adsorción se ve favorecido a una mayor temperatura.

Como ya se mencionó, la factibilidad de la energía libre de Gibbs  $\Delta G^\circ$  donde valores más negativos señalan una mayor favorabilidad de la remoción, este parámetro está relacionado con la entalpía  $\Delta H^\circ$  (kJ/mol) y la entropía  $\Delta S^\circ$  (J/mol\*K), de acuerdo con la ecuación (15) (Tehrani-Bagha, Nikkar, Mahmoodi, Markazi y Menger, 2011).

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (15)$$

Reemplazando obtenemos la ecuación (16) a partir de la cual se calcula la pendiente  $-\Delta H^\circ$  y el intercepto  $\Delta S^\circ$ :

$$\ln K_{eq} = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (16)$$

Valores positivos de  $\Delta H^\circ$  señalan que la remoción del proceso se ve favorecida cuando se incrementa la temperatura, de igual manera valores positivos de  $\Delta S^\circ$  indican una favorabilidad y ocurrencia espontánea del proceso (Howell y Buckius, 1990; Chong y Volesky, 1996). Los valores de  $\Delta H^\circ$  y  $\Delta S^\circ$  son calculados de la pendiente e intercepto

respectivamente después de graficar  $\ln K_{eq}$  frente a  $1/T$  de la ecuación 15 (figura 8a), estos valores se presentan en la tabla 6. Los valores negativos de la energía libre de Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ) para el R40 indican que la adsorción de este colorante aniónico sobre CA es espontánea a estas temperaturas, y se favorece al aumentar la temperatura pasando de -0,451 kJ/mol a 298 K a -1,11 kJ/mol a 328 K, lo que indica una mayor espontaneidad a esta temperatura. Los valores pequeños de  $\Delta G^\circ$  en la tabla 6 indica que los valores de la constante de equilibrio  $K_{eq}$  son pequeños. La entalpía  $\Delta H^\circ$  de 6,7 kJ/mol (tabla 6) señala que la adsorción de este colorante se ve favorecida a 328 K (Mittal, 2006). Por su parte, el valor positivo de  $\Delta S^\circ$  23,9 kJ/mol\*K (tabla 6), muestra que el proceso experimenta un aumento en la aleatoriedad en la interfase sólido-solución durante el proceso de adsorción (Aksu, Ertuğrul y Dönmez, 2009), y por consiguiente señala un proceso de naturaleza espontánea. Este valor positivo de entropía indica que existe una buena afinidad entre la cascarilla de arroz y el R40 (Mittal, 2006). La magnitud de la energía de activación proporciona una idea del tipo de adsorción. Los dos principales tipos de adsorción pueden ocurrir a través de fisiadsorción o quimiadsorción. El proceso de adsorción física, por lo general, tiene una energía de activación entre 5-40 kJ/mol, mientras que la adsorción química tiene energías de activación entre 40-800 kJ/mol (Nollet *et al.*, 2003). Como ya se describió, la ecuación de pseudo segundo orden es la que ofrece la mejor descripción para la

**Tabla 6.** Parámetros termodinámicos de la adsorción de R40 sobre CA a temperaturas de 298, 308, 318 y 328 K

T (K)	$q_e$ (mg/g)	$C_e$ (mg/L)	$K_{eq}$	$\ln K_{eq}$	$\Delta G$ (kJ/mol)	$\Delta H$ (kJ/mol)	$\Delta S$ (J/mol*K)	$k_2 \times 10^{-4}$ (g/mg*min)	$E_a$ (kJ/mol)
298	1,0	5,0	1,20	0,182	-0,451			1,78	
308	1,0	4,9	1,22	0,203	-0,518	6,71	23,9	2,13	14,1
318	1,1	4,6	1,43	0,361	-0,954			2,57	
328	1,1	44	1,50	0,405	-1,11			2,98	

**Fuente:** elaboración propia.

cinética de adsorción de R40. En consecuencia, la  $k_2$  de pseudosegundo orden fue considerada en el cálculo de la energía de activación  $E_a$  de la adsorción del colorante mediante la ecuación (17), la cual está expresada en función de la temperatura, proveniente de la ecuación (11) (Konicki, Pelech, Mijowska y Jasińska, 2012).

$$\ln k_2 = \ln A - E_a/RT \quad (17)$$

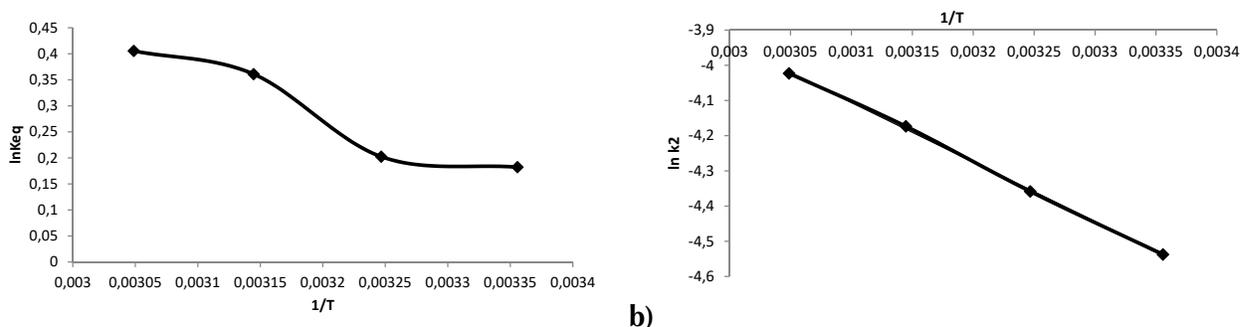
Donde,  $E_a$  es la energía de activación de la adsorción que representa la energía mínima que requieren los reactivos para que ocurra la reacción, A: factor de Arrhenius independiente de la temperatura, R: constante de los gases igual a 8,314 J/mol\*K, T: temperatura absoluta de la solución (K). Así, cuando se gráfica  $\ln k_2$  frente a  $1/T$ , se encuentra que la pendiente es  $-E_a/R$  (figura 8b). Como se observa en la tabla 6, la energía de activación de 14.1 kJ/mol, para la adsorción de R40 sobre CA, indica que este proceso ocurre a través de una adsorción física o fisiadsorción. Resultados similares en cuanto a la  $E_a$  han sido reportados por diversos autores, quienes han encontrado que la adsorción de colorantes aniónicos tiene lugar a través de una fisiadsorción; así, por ejemplo, para el rojo directo 23 se reporta una  $E_a$  de 15,0 kJ/mol (Konicki, Pelech, Mijowska y Jasińska, 2012), de 33,35 kJ/mol para el rojo Procion® MX-5B (Wu, 2007), de 9,62 kJ/mol para el amarillo directo 86

y de 12,13 kJ/mol para el rojo directo 224 (Kuo, Wu y Wu, 2008).

## Conclusiones

La evaluación de equilibrio, cinética y termodinámica en la adsorción del R40 sobre CA, señala que este residuo agrícola exhibe una considerable capacidad de adsorción y que el proceso ocurre en un tiempo adecuado y con liberación de energía; es decir, es espontáneo, y brinda condiciones apropiadas para un futuro escalado. El equilibrio de adsorción presentó mejor ajuste mediante el modelo de Langmuir, dado que muestra coeficientes de correlación cercanos a 1,0, con lo cual es posible establecer que la remoción tiene lugar mediante monocapas sobre la superficie del adsorbente. La cinética de adsorción de este colorante tuvo un mejor ajuste con el modelo cinético de pseudo segundo orden, con un coeficiente de correlación cercano a 1,0, indicando así que la ocurrencia del proceso es función de la concentración inicial del soluto y es representativo de soluciones de baja concentración.

La determinación de los parámetros termodinámicos señala que la remoción del R40 es un proceso espontáneo,  $\Delta G = -1.11$  kJ/mol, en tanto que la entalpía mostró un proceso endotérmico, con valores de  $\Delta H = 6,71$  kJ/mol, por tanto se ve favorecido al incrementar la temperatura. La entropía



**Figura 8.** a)  $1/T$  frente a  $\ln K_{eq}$  en la adsorción de R40 sobre CA b)  $1/T$  frente a  $\ln k_2$  en la adsorción de R40 sobre CA

**Fuente:** elaboración propia.

positiva,  $\Delta S = 23,9 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ , confirma la espontaneidad del proceso de remoción de este colorante. Por su parte, la energía de activación permite sugerir que el R40 sigue un mecanismo de adsorción a través de una fisiadsorción (14,1 kJ/mol).

## Financiamiento

Estudio derivado del Proyecto de Colciencias Código 111871250685 por un monto de \$200.000.000.

## Agradecimientos

Los autores estamos agradecidos con el Departamento de Ciencia y Tecnología de Colombia, Colciencias, por el apoyo con la beca doctoral de la convocatoria 727 de 2015. Así mismo, a esta entidad por el respaldo financiero a través del Proyecto Código 111871250685.

## Referencias

- Aksu, Z. y Akpınar, D. (2001). Competitive biosorption of phenol and chromium(VI) from binary mixtures onto dried anaerobic activated sludge. *Biochemical Engineering Journal*, 7(3), 183–193. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00126-1](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00126-1)
- Aksu, Z., Ertuğrul, S. y Dönmez, G. (2009). Single and binary chromium(VI) and Remazol Black B biosorption properties of *Phormidium* sp. *Journal of Hazardous Materials*, 168(1), 310–8.
- Allen, S.J., Gan, Q., Matthews, R. y Johnson, P.A. (2005). Kinetic modeling of the adsorption of basic dyes by kudzu. *Journal of Colloid and Interface Science*, 286(1), 101–9.
- Azizian, S. (2004). Kinetic models of sorption: a theoretical analysis. *Journal of Colloid and Interface Science*, 276(1), 47–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.03.048>
- Balakrishnan, V.K., Shirin, S., Aman, A.M., De Solla, S.R., Mathieu-Denoncourt, J. y Langlois, V.S. (2016). Genotoxic and carcinogenic products arising from reductive transformations of the azo dye, Disperse Yellow 7. *Chemosphere*, 146, 206–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.119>
- Bingol, D., Tekin, N. y Alkan, M. (2010). Brilliant Yellow dye adsorption onto sepiolite using a full factorial design. *Applied Clay Science*, 50(3), 315–321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.08.015>
- Carneiro, P.A., Umbuzeiro, G.A., Oliveira, D.P. y Zanoni, M.V.B. (2010). Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1–3), 694–699. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.106>
- Cestari, A.R., Vieira, E.F.S., Tavares, A.M.G. y Bruns, R.E. (2008). The removal of the indigo carmine dye from aqueous solutions using cross-linked chitosan: evaluation of adsorption thermodynamics using a full factorial design. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1–2), 566–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.08.092>
- Chong, K.H. y Volesky, B. (1996). Metal biosorption equilibria in a ternary system. *Biotechnology and Bioengineering*, 49(6), 629–38.
- De Aragão Umbuzeiro, G., Freeman, H.S., Warren, S.H., De Oliveira, D.P., Terao, Y., Watanabe, T. y Claxton, L.D. (2005). The contribution of azo dyes to the mutagenic activity of the Cristais River. *Chemosphere*, 60(1), 55–64.
- Deng, L., Su, Y., Su, H., Wang, X. y Zhu, X. (2007). Sorption and desorption of lead (II) from wastewater by green algae *Cladophora fascicularis*. *Journal of Hazardous Materials*, 143(1–2), 220–225.
- Dotto, G.L., Vieira, M.L.G., Esquerdo, V.M. y Pinto, L.A.A. (2013). Equilibrium and thermodynamics of azo dyes biosorption onto *Spirulina platensis*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(1), 13–21.
- Elkady, M.F., Ibrahim, A.M. y El-Latif, M.M.A. (2011). Assessment of the adsorption kinetics, equilibrium and thermodynamic for the potential removal of reactive red dye using eggshell biocomposite beads. *Desalination*, 278(1–3), 412–423.
- Faria, P.C.C., Orfão, J.J.M. y Pereira, M.F.R. (2004). Adsorption of anionic and cationic dyes on activated carbons with different surface chemistries. *Water Research*, 38(8), 2043–52.

- Fedearroz (2006). Índice mensual de producción de arroz. *Revista Arroz*, 54(461), 27.
- Figueroa, M.L.H. y Rodríguez, B.L. (2008). Cinética e isotermas de adsorción de Pb (II) en suelo de Monterrey. *Ingenierías*, XI(41), 24–31.
- García, M.C., García, C.A. y De Plaza, J.S. (2016). Estudio exploratorio del tratamiento de agua de tintas por método de electrocoagulación/electroflotación. *Tecnura*, 20(47), 107–117.
- Halbus, A.F., Athab, Z.H. y Hussein, F.H. (2013). Adsorption of disperse blue dye on iraqi date palm seeds activated carbon. *International Journal of Chemistry Science*, 11(3), 1219–1233.
- Ho, Y.S. (2006). Review of second-order models for adsorption systems. *Journal of Hazardous Materials*, 136(3), 681–9.
- Ho, Y. y McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, 34(5), 451–465.
- Hormaza, A., Moreno, A. y Figueroa, D. (2013). Diseño estadístico para la remoción eficiente del colorante rojo 40 sobre tusa de maíz. *Producción Más Limpia*, 7(2), 9–19. Recuperado de <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/259>
- Howell, J. y Buckius, R. (1990). *Principios de termodinámica para ingenieros*. 1a. ed. México D.F.: McGraw-Hill.
- Jabeen, H.S., Ur Rahman, S., Mahmood, S. y Anwer, S. (2013). Genotoxicity assessment of amaranth and allura red using saccharomyces cerevisiae. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 90(1), 22–26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0870-x>
- Konicki, W., Pelech, I., Mijowska, E. y Jasińska, I. (2012). Adsorption of anionic dye Direct Red 23 onto magnetic multi-walled carbon nanotubes-Fe<sub>3</sub>C nanocomposite: Kinetics, equilibrium and thermodynamics. *Chemical Engineering Journal*, 210, 87–95.
- Kuo, C.Y., Wu, C.H. y Wu, J.Y. (2008). Adsorption of direct dyes from aqueous solutions by carbon nanotubes: determination of equilibrium, kinetics and thermodynamics parameters. *Journal of Colloid and Interface Science*, 327(2), 308–15.
- McCann, D. et al. (2007). Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised, double-blinded, placebo controlled trial. *Lancet*, 370, 1560–1567.
- Mittal, A. (2006). Adsorption kinetics of removal of a toxic dye, Malachite Green, from wastewater by using hen feathers. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1–3), 196–202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.10.017>
- Nollet, H., Roels, M., Lutgen, P., Van der Meeren, P. y Verstraete, W. (2003). Removal of PCBs from wastewater using fly ash. *Chemosphere*, 53(6), 655–65.
- Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Tecnura*, 16(34), 142–156.
- O'Neill, C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L., Esteves, S. y Wilcox, S.J. (2000). Anaerobic-aerobic biotreatment of simulated textile effluent containing varied ratios of starch and azo dye. *Water Research*, 34(8), 2355–2361.
- O'Neill, C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L. y Lourenc, N.D. (1999). Review Colour in textile effluents – sources, measurement, discharge consents and simulation: A review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 74, 1009–1018. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199911\)74](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199911)74).
- Piccin, J.S., Dotto, G.L., Vieira, M.L.G. y Pinto, L.A.A. (2011). Kinetics and Mechanism of the Food Dye FD & C Red 40 Adsorption onto Chitosan. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 56, 3759–3765.
- Rodríguez, J.P., García, C.A. y Pardo, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Tecnura*, 19(46), 149. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12>
- Sánchez, T. (2002). Utilización de la cascarilla de arroz como fuente energética en ladrilleras. *Soluciones Prácticas*, 82, 13–22.
- Sánchez-Duarte, R.G., Sánchez-Machado, D.I., López-Cervantes, J. y Correa-Murrieta, M.A. (2012). Adsorption of allura red dye by cross-linked chitosan from shrimp waste. *Water Science and Technology*, 65(4), 618–623. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2012.900>

- Santos, S.C.R. y Boaventura, R.A.R. (2008). Adsorption modelling of textile dyes by sepiolite. *Applied Clay Science*, 42(1–2), 137–145.
- Tehrani-Bagha, A.R., Nikkar, H., Mahmoodi, N.M., Markazi, M. y Menger, F.M. (2011). The sorption of cationic dyes onto kaolin: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *Desalination*, 266(1–3), 274–280.
- Volesky, B. (2003). *Sorption and biosorption*. Canadá: BV Sorbex, Inc.
- Volmajer, J., Majcen Le Marechal, A. y Vajnhandl, S. (2011). Water in the textile industry. *Treatise on Water Science*, 4, 685–706.
- Wu, C.H. (2007). Adsorption of reactive dye onto carbon nanotubes: equilibrium, kinetics and thermodynamics. *Journal of Hazardous Materials*, 144(1–2), 93–100.
- Wu, F.C., Tseng, R.L. y Juang, R.S. (2009). Characteristics of Elovich equation used for the analysis of adsorption kinetics in dye-chitosan systems. *Chemical Engineering Journal*, 150(2–3), 366–373.
- Yagub, M.T., Sen, T.K., Afroze, S. y Ang, H.M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 209C, 172–184.
- Yeddou, N. y Bensmaili, A. (2005). Kinetic models for the sorption of dye from aqueous solution by clay-wood sawdust mixture. *Desalination*, 185(1–3), 499–508.
- Yeddou, N. y Bensmaili, A. (2007). Equilibrium and kinetic modelling of iron adsorption by eggshells in a batch system: effect of temperature. *Desalination*, 206(1–3), 127–134.





## Aprovechamiento de los tipos de pensamiento matemático en el aprendizaje de la programación funcional

### Types of mathematical thinking implemented in the learn process of functional programming

Omar Iván Trejos Buriticá<sup>1</sup>

**Fecha de recepción:** 3 de diciembre de 2017

**Fecha de aceptación:** 23 de febrero de 2018

**Cómo citar:** Trejos B., O.I. (2018). Aprovechamiento de los tipos de pensamiento matemático en el aprendizaje de la programación funcional. *Revista Tecnura*, 22(56), 29-39. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.12807>

#### Resumen

**Contexto:** En el presente artículo se exponen y analizan los resultados de una investigación realizada en el aula, en el contexto del aprendizaje de la programación funcional a nivel universitario en Ingeniería de Sistemas y Computación, a partir de la aplicación de los tipos de pensamiento matemático y de su uso en el lenguaje de programación DrRacket. El propósito fue establecer nexos entre los tipos de pensamiento matemático y la programación de computadores (para los estudiantes de primer semestre).

**Metodología:** Para el desarrollo de esta investigación se trabajó con un grupo de estudiantes de primer, aplicando la metodología propuesta. Las evaluaciones, basadas en los tipos de pensamiento matemático, se hicieron en otro grupo que estaba recibiendo la asignatura por los métodos convencionales. En este solamente se adelantaron las pruebas evaluativas; no se hizo ningún monitoreo al respecto de su aprendizaje.

**Resultados:** Los resultados muestran grandes ventajas cuando se articulan matemáticas y programación dentro del contexto de una asignatura que les confiere sentido a ambas áreas.

**Conclusiones:** Se concluye que la programación funcional se aprende de una manera más fácil cuando se relaciona con los tipos de pensamiento matemático y viceversa.

**Palabras clave:** aprendizaje, descubrimiento, matemáticas, programación funcional, significado, lógica.

#### Abstract

**Context:** This article presents and analyzes the results of a research carried out in a classroom, in the context of the learning of functional programming at university level in Systems Engineering and Computing program, from the application of the types of mathematical thinking and their use in the DrRacket programming language. The purpose was to establish links between the types of mathematical thinking and computer programming (for first-semester students).

**Methodology:** For the development of the research, we worked with a group of first-year students, applying the proposed methodology of mathematical thinking. The evaluations, based on the types of mathematical thinking, were made in another group that was receiving the subject by conventional methods.

<sup>1</sup> Ingeniero de Sistemas, Especialista en Instrumentación Física, Magister en Comunicación Educativa, Doctor en Ciencias de la Educación. Docente de planta de la Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. Contacto: [omartrejos@utp.edu.co](mailto:omartrejos@utp.edu.co)

In this group only the evaluative tests were carried out; no monitoring of their learning was done.

**Results:** The results show great advantages when articulating mathematics and computer programming within the context of a subject that gives meaning to both areas.

**Conclusions:** It is concluded that functional programming is learned in an easier way when it is related to the types of mathematical thinking and vice versa.

**Keywords:** learning, discovery, mathematics, functional programming, logic, meaning.

## Introducción

Para el desarrollo de esta investigación, se ha planteado como base el problema de saber que a los estudiantes de básica secundaria, de acuerdo con los estándares en formación de competencia matemática, se les imbuye en el concepto de los cinco tipos de pensamiento matemático, pero pocas veces se les permite que este, tan útil en todas las dimensiones del conocimiento humano, sea funcional para otras áreas y, específicamente, otras asignaturas.

Todo el currículo de la básica secundaria está orientado a fortalecer (muchas veces sin lograrlo) la apropiación, asimilación, aplicación y retroalimentación de los cinco tipos de pensamiento matemático. También, existen casos exitosos en los cuales se logra este propósito. Sin embargo, sea que se logre o no, el problema sobreviene en que las matemáticas se conciben como una ínsula académica aparte, y pareciera que no tuviera relación con otras áreas de conocimiento según el desarrollo de los contenidos temáticos de las demás asignaturas.

La programación de computadores es la expresión tecnológica de los modelos matemáticos (Pham *et al.*, 2014) y es, al tiempo, el camino a través del cual el estudiante puede hacer realidad lo que, en el tablero, se le ha explicado. Las simulaciones, los juegos, los escenarios y las vidas virtuales son tan solo algunos ejemplos en donde la programación ha interpretado la realidad, desde su implementación en el computador gracias a las bondades de un lenguaje de programación.

Si bien, es claro que matemáticas y programación de computadores tienen espacios comunes

en más de una escena del mundo académico; también, son pocos los docentes (en ambas áreas) que lo concretan según se deriva de las entrevistas que sustentan este proyecto de investigación. Este artículo es un producto del proyecto de investigación "Análisis de la relación, implicaciones e incidencia del aprendizaje de las ciencias básicas y del conocimiento básico en el proceso de formación de ingenieros de sistemas" tramitado ante el Consejo de Facultad de Ingenierías de la Universidad Tecnológica de Pereira, e inscrito en la Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión.

El tema de investigación se justifica desde tres aspectos: a) se le posibilita, al estudiante, una visión clara y aplicativa de los conceptos vistos en matemáticas; b) se le brinda un sentido al estudio y fortalecimiento de los cinco tipos de pensamiento matemático, y c) se cristaliza, por la vía de la implementación, el entendimiento de los nexos tan cercanos entre las matemáticas y la programación, en la que aquella es fundamento de esta, y gracias a lo que es posible comprender el código de un lenguaje de programación como la manera de hacer efectivo con la tecnología todo aquello que proveen las matemáticas.

Si bien, en muchos escritos emanados por las instituciones educativas tanto de básica secundaria como de nivel universitario, se habla de la gran importancia de las matemáticas como fundamento para el desarrollo del pensamiento lógico; en realidad, tan solo en el aula, la distancia entre esta y las demás áreas es notoria, por ello se pierde el sentido de las matemáticas dificultando la apropiación de su significado. La programación de computadores se ha tomado en esta investigación

como un camino posible para que no se pierda ese significado relevante de las matemáticas; de manera que programación y matemáticas refuercen mutuamente su significado y su sentido dentro del contexto de formación de ingenieros de sistemas.

Para el desarrollo de esta investigación se acudió a teorías del aprendizaje, principalmente, significativo y por descubrimiento. También se recurrió a la consulta de documentos de las instituciones educativas y se confrontaron con la realidad vivida tanto por parte de estudiantes como de profesores y de egresados. El espacio disponible para este artículo impide hacer una relatoría detallada de todos los elementos de juicio que se involucraron y que emergieron del avance de este proyecto, por esta razón se ha optado por centrar el corpus de su contenido en la experiencia en el aula.

¿Es posible establecer nexos entre las matemáticas y otras áreas, de manera que recíprocamente se fortalezcan y que se aproveche la formación intensiva en los cinco tipos de pensamiento matemáticos que se promueven oficialmente con la formación por competencias? La respuesta, en parte, está contenida en este artículo y esta hipótesis abre el camino para pensar que no solo la programación de computadores, en ingeniería de sistemas, sea una solución posible interrogante planteado, sino que otras áreas bien podrían servirse de dichos tipos de pensamiento para hacer efectiva la apropiación y asimilación de su propio corpus de conocimiento por parte de los estudiantes. Esta hipótesis marca el objetivo de esta investigación y, con ello, define el sentido del presente artículo en lo que corresponde a la experiencia en el aula.

La investigación se realizó en el primer semestre de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Tecnológica de Pereira en la asignatura "Programación I", durante los dos periodos académicos de 2015, 2016 y 2017.

## Fundamentos teóricos

Posiblemente no exista un área más formativa tanto en la básica secundaria como en la universidad

que las matemáticas. Es el área que nunca pasa desapercibida pues genera tantos quereres y malquereres que, en muchos casos, termina siendo el puente para que unos estudiantes escojan su camino de formación profesional por la senda de las llamadas ciencias duras o también que para que otros se orienten por las ciencias blandas, en donde esperan no encontrarlas. Sin querer decir que esta sea la única base sobre la cual los estudiantes de secundaria grado 11 toman sus decisiones de cara a su formación profesional, las matemáticas ocupan un lugar importante en dichas decisiones.

Las ingenierías, en general, encuentran en las matemáticas el fundamento para que los estudiantes logren, por lo menos, cinco objetivos: a) sirven como base para que se puedan plantear y resolver problemas de orden lógico que, en muchos casos, tiene un nexo claro con la vida real; b) permite modelar situaciones del mundo real y, con ello, posibilita la aproximación y predicción a sus posibles comportamientos y alteraciones producto de su interacción con su entorno; c) posibilita bases para una comunicación activa entre estudiantes, ya sea por el camino de los elementos formales que proveen las matemáticas, o por el de las razones que estas brindan para que se acuda a las informalidades propias del lenguaje; d) abre las puertas para que los estudiantes conozcan apropien y apliquen razonamientos apoyados en elementos de juicio que sean lógicos desde la perspectiva tanto de las mismas matemáticas como las de la interacción social, cultural y vivencial, y d) facilitar el planteamiento, uso y ejercitación de determinados procedimientos que, de una u otra forma, le presentan al estudiante formas organizadas y sistemáticas de resolverlos a partir de algoritmos preestablecidos (MEN, 2005).

Si bien, en la teoría, estos propósitos son más que necesarios para que el ser humano aproveche su gran capacidad de razonamiento, la sistematice, la ajuste a unas reglas y construya sobre eso procedimientos que faciliten y universalicen la manera de abordar, interpretar y modelar problemas, debe tenerse en cuenta que no siempre se logran en la

proporción en que debían lograrse (Trejos, 2012). En la realidad, los resultados obtenidos en esta investigación, y que se salen del corpus del contenido de este artículo, parecieran evidenciar que, si bien los estudiantes superan y aprueban las asignaturas del área de matemáticas, tanto en los últimos años de formación básica secundaria como en los primeros de formación profesional, no siempre le encuentran el sentido apropiado de aplicación que debieran encontrarle.

Los estándares de competencias en matemáticas, y el análisis científico de esta área, indican que, a partir de las matemáticas, en su apropiación, su asimilación y aplicación, se debe fortalecer el pensamiento lógico que pretende tener un conjunto de reglas y relaciones que permitan modelar situaciones, analizarlas y plantear diferentes caminos para su resolución (Ballester, 2011). Ser matemáticamente competente se concreta de manera específica en el pensamiento lógico y el pensamiento matemático, el cual se subdivide en cinco tipos que inspiran tanto este artículo como la investigación asociada: a) pensamiento numérico y los sistemas numéricos, b) pensamiento espacial y los sistemas geométricos, c) pensamiento métrico y los sistemas métricos o de medidas, d) pensamiento aleatorio y los sistemas de datos y e) pensamiento variacional y los sistemas algebraicos y analíticos (MEN, 2005).

Vale la pena recordar que el estudiante se mueve permanentemente en medio de tres contextos que son los que fundamentan muchas de las reflexiones con las cuales mira el mundo (Díaz y Hernández, 2002): a) el aula, que involucra todo lo que sucede allí dentro, b) el institucional, que concierne a lo que sucede en la institución, pero fuera del aula de clases y c) el extraescolar o extrainstitucional, que incluye lo que sucede por fuera de los linderos de la escuela, colegio o universidad.

Vale la pena resaltar que diferentes estudios han demostrado que, si bien se desea que el contexto que más influya en el alumno sea el del aula, que es (teóricamente) en donde se adquieren los conocimientos, en realidad el contexto que más

influye en la formación de reglas lógicas y su relación con la sociedad y su entorno personal es el extrainstitucional (Bruner, 2009). De allí por qué es tan importante fortalecer el sentido de las matemáticas confiriéndoles significado dentro de estos tres contextos, pero haciendo hincapié en el de mayor influencia tanto para los jóvenes que terminan su formación básica secundaria, como para los que están comenzando su carrera universitaria.

La enseñanza de la programación de computadores se ha convertido, poco a poco, en un área desde la cual el estudiante (sea cual fuere el nivel formativo en el cual se encuentre) puede conocer y apropiarse unas reglas, aplicarlas en la modelación y planteamiento de unas soluciones, y verificar si dicha solución resuelve el problema (Trejos, 2000). La programación de computadores se basa en unos paradigmas para plantear soluciones, y estos no son más que formas de concebir el problema para visualizar la solución por un camino simple, alcanzable, implementable y viable.

Durante mucho tiempo, enseñar programación de computadores se ha convertido en un reto para los docentes –quienes a nivel de colegio corresponden al área de matemáticas y a nivel universitario, a ingenieros–, puesto que se requiere que el alumno conozca, apropie y aplique un sistema similar al que se usa en las matemáticas, solo que esta vez, a partir de una *lógica computacional* (Trejos, 2017) y que dista notoriamente de la lógica deliberativa humana.

Esto implica que la resolución de problemas y su implementación dentro de las posibilidades que ofrece un lenguaje de programación, pasa por el filtro de la lógica computacional que, en palabras sencillas, es la expresión reducida de la lógica matemática llevada a los términos que la tecnología provee (Trejos, 2004) que posibilita la implementación de soluciones a problemas que se clasifican entre los llamados *computables*, es decir, aquellos que pueden ser resueltos con la intervención del computador.

Aunque en la actualidad existen diferentes paradigmas, o formas de ver la solución de un

problema computable y, asimismo, de implementarla (Van Roy y Haridi, 2004), el curso en donde se ha realizado la investigación es el inicial de un programa de ingeniería de sistemas y computación y en él, su contenido se ha orientado hacia el conocimiento, apropiación y aplicación del paradigma funcional que concibe las soluciones desde la perspectiva que ofrece el concepto de *función* y la estrategia *divide y vencerás*.

Una función es la célula de trabajo de un programa funcional que se puede describir como un fragmento de código con independencia e interdependencia (Felleisen *et al.*, 2005), que cumple un objetivo específico y que puede retornar valores. La estrategia *divide y vencerás* consiste en la concepción de una solución a partir del diseño, implementación e interacción de diferentes funciones que, cumpliendo cada una un pequeño objetivo específico, en conjunto e hiladas apropiadamente logran el propósito general que el problema requiere. La programación funcional está basada en la aplicación del cálculo  $\lambda$  propuesto y refinado por Alonzo Church y Stephen Kleene en 1930, para ser usado como mecanismo matemático que permita definir claramente el concepto de *función computable* (Kline, 2012), cuya característica principal es la supresión de tipos de datos y cuya herramienta más fuerte es el concepto de *recursión*.

La teoría del aprendizaje significativo se fundamenta en que todo aprendizaje se hace más efectivo si el conocimiento aprendido tiene significado para quien lo aprende (Ausubel, 2012) y para ello prioriza tres elementos: a) el conocimiento previo, que corresponde al conjunto de teorías, conceptos y modelos que el estudiante tiene en su mente y que pueden haber sido adquiridos en cualquier de los tres contextos de aprendizaje, pero que rigen su manera de ver el mundo; b) el nuevo conocimiento, que corresponde a teorías, conceptos y modelos que modifican, alteran, cuestionan o reemplazan el conocimiento previo y que pueden ser adquiridos en cualquiera de los tres contextos aunque deseablemente debieran ser adquiridos en el aula a partir de un proceso formal de

aprendizaje, y c) la actitud del estudiante que involucra, entre otros factores, la capacidad de establecer nexos entre los saberes previos y los nuevos conocimientos; y la motivación del estudiante.

Es de anotar que la capacidad de relacionar el conocimiento previo con el nuevo es un reto que podría ser, en gran medida, producto del mismo proceso de aprendizaje y de la manera como el docente lo conduzca (Havenge *et al.*, 2013) y la motivación se puede definir como la voluntad indeclinable de aprender en la cual tiene gran incidencia el docente puesto que, en tiempos modernos, este se convierte en acompañante, tutor, coequipeiro y motivador de los procesos de aprendizaje para que en medio de estrategias con acompañamiento y estrategias autónomas, el alumno puede acceder, apropiar, asimilar, aplicar y retroalimentar el conocimiento que se espera que adquiera.

El aprendizaje por descubrimiento se basa en que todo lo que el ser humano descubre lo aprende a largo plazo y, por consiguiente, puede aplicarlo suficientemente bien en el momento en que se requiera (Bruner, 2006). La experimentación, la exploración, el ensayo y el error constituyen los fundamentos de esta teoría de aprendizaje que marca la diferencia con el aprendizaje significativo, en la manera como el estudiante interactúa, en las primeras de cambio, con el conocimiento que se espera que adquiera.

De la misma manera, la fascinación por lo nuevo y lo insólito es una base para que el estudiante se motive a aprender aquello que aún no sabe y que, conducido apropiadamente por el docente, puede formar parte de sus elementos de juicio que le permitan interpretar, modelar, intervenir, optimizar y mejorar el mundo que le rodea.

## Metodología

En esta investigación se abordaron tres grupos de personas que tenían relación con el objetivo: docentes, egresados y estudiantes de primer semestre. Con los primeros se hizo un trabajo de exploración en cuanto a la opinión que estos tenían sobre la

importancia de las matemáticas, la claridad sobre los cinco tipos de pensamiento matemático, sus significados y sus usos, y la puesta en práctica de la lógica matemática y sus vertientes frente a otras áreas de conocimiento.

Con los egresados se indagó acerca de cómo ellos concibieron el área de las matemáticas en su programa de ingeniería de sistemas, y la claridad que observaron en las metodologías de enseñanza para que los docentes les indicaran el camino de aplicación de las matemáticas en relación con otras áreas. Asimismo, se preguntó hasta dónde habían percibido la estrecha relación entre la programación de computadores y los cinco tipos de pensamiento matemático. En este artículo se omiten resultados, análisis y discusión en relación con lo que se obtuvo por parte de los docentes y los egresados, puesto que este es tema de otro artículo. La parte central de la investigación, que inspira este escrito, la constituyen los estudiantes de primer semestre con quienes se procedió de la siguiente manera: en principio, se les explicó el propósito y los alcances de la investigación, es decir, la orientación que iba a tener la asignatura de "Programación I" cuyo contenido se fundamenta en el paradigma de programación funcional y su implementación en DrRacket.

Igualmente, se explicó el sustento teórico, de una forma simple y sencilla, que corresponde a las teorías del aprendizaje significativo y del aprendizaje por descubrimiento, preámbulo sobre el cual

se indicaron las actividades a realizar. Durante la asignatura se iba a hacer hincapié en ejercicios, enunciados y problemas que se fundamentaran en cada tipo de pensamiento matemático, y se señaló que los parciales se harían de manera individual. Se planearon cinco pruebas parciales a lo largo del semestre, sin incluir el examen final que sería sobre todo lo visto en el curso. Dado que el semestre académico cuenta con 16 semanas, las pruebas parciales se realizarían cada 3 semanas con un peso porcentual igual en todas. Cada prueba parcial equivaldría a 15 %; el examen final, a un 30 % y se les concedería una nota apreciativa, a manera de motivación, que constituye el 10 % restante.

Simultáneamente a la explicación de los conceptos propios de la programación funcional, se iban planteando ejercicios que abordaran un tipo de pensamiento específico. La tabla 1 presenta la distribución de los temas en lo que corresponde a programación y su relación con los tipos de pensamiento matemático. Cabe anotar que durante el desarrollo de la asignatura, y sin que formara parte de su contenido –pero considerando que fuera necesario–, se explicaron elementos de cada tipo de pensamiento matemático, relacionados en cuanto a su utilidad, aplicación y uso en diferentes situaciones de la vida real.

De la misma manera, durante las sesiones magistrales se invitó a que los estudiantes propusieran ejercicios y enunciados relacionados con cada tipo de pensamiento matemático. Esto les permitió

**Tabla 1.** Distribución de temas

Parcial	Pensamiento matemático	Tema en programación	Observaciones
I	Numérico	Construcción de funciones simples	Enunciados basados en sistemas numéricos
II	Geométrico	Enlace de funciones y construcción de programas	Enunciados basados en cálculos de áreas y volúmenes
III	Métrico	Condicionales	Enunciados basados en conversiones de sistemas de medida
IV	Aleatorio	Recursividad	Enunciados basados en simulación de eventos aleatorios
V	Variacional	Manejo de listas y vectores	Enunciados basados en manejo de conjuntos datos y en la relación entre ellos

**Fuente:** elaboración propia.

articularse tanto con lo puramente matemático como con lo que correspondía a la programación como tal. Debe anotarse, como detalle curioso, que muchos manifestaban no saber nada acerca de los tipos de pensamiento matemático y, aunque ese detalle no se tuvo en cuenta para las diferentes evaluaciones parciales de conocimiento, vale la pena mencionarlo con beneficio de inventario y posterior análisis.

Como se puede observar en la tabla 1, se buscó que cada tipo de pensamiento matemático se articulara con un tema específico de la programación funcional de manera que, mutuamente, cada uno le concediera un significado al otro. Desde las matemáticas a través de situaciones, ejemplos y enunciados que se enmarcaban en cada tipo de pensamiento y desde la programación de computadores con la implementación de soluciones que resolvieran los problemas planteados. Cada uno de los enunciados, ejercicios y problemas planteados en los exámenes parciales requerían de una respuesta basada en lo puramente matemático y de un programa, apoyado en programación funcional por razones del contenido de la asignatura "Programación I", que permitiera que el computador mostrara la respuesta en pantalla. Todos los parciales se hicieron planteando cada punto en el formato de una pregunta y cuatro distractores. Debe anotarse que, cuando se avanzaba nivel en lo que respecta a la programación, también se iba avanzando en el tipo de pensamiento matemático que, en un sentido que provee la perspectiva histórica, evolucionó desde el pensamiento numérico (como primer pensamiento natural del ser humano) hasta el pensamiento variacional (expresión de las matemáticas que prioriza la abstracción como suprema forma de representación de la realidad). Al finalizar el curso correspondiente, siempre se solicitó una opinión escrita y anónima de cada estudiante al respecto de tres temas: a) la metodología utilizada, b) los cinco tipos de pensamiento matemático y c) la programación de computadores paradigma funcional como mecanismo para implementar las soluciones que, teóricamente, proveen las matemáticas.

## Resultados

La tabla 2 presenta la cantidad de estudiantes que se involucraron en el proyecto bien desde la aplicación directa de la metodología (grupo que se ha identificado con la letra A) o bien desde la perspectiva de la resolución de los exámenes parciales (grupos que se han identificado con las letras B y C) para tener un comparativo con la metodología tradicional.

**Tabla 2.** Estudiantes que participaron

Año	Sem.	Grupo A	Grupo B	Grupo C
2015	I	19	22	21
	II	22	25	25
2016	I	21	23	23
	II	20	24	23
2017	I	23	22	21
	II	22	21	19
Total		127	137	132

**Fuente:** elaboración propia.

Los resultados obtenidos a partir de las entrevistas con docentes y egresados, se han excluido en este artículo para centrar los análisis en lo que se obtuvo con los estudiantes. Dichos resultados serán objeto de otro artículo. Como las pruebas que se realizaron en cada grupo de investigación también se realizaron en otros dos grupos que estaban recibiendo la asignatura "Programación I" con otros docentes y por métodos tradicionales, en la tabla 3 se detalla el promedio de los resultados cuantitativos en cada grupo. En el grupo A se aplicó la metodología que se ha explicado y que inspira este artículo. En los B y C solamente se realizaron las pruebas escritas al margen de cualquier metodología, estrategia o desarrollo que sucediera en su correspondiente grupo de "Programación I". Por considerarse una medida de tendencia central suficiente para los análisis respectivos, se ha acudido al promedio de las notas por grupo.

**Tabla 3.** Promedio de evaluaciones parciales

Año	Sem.	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
		Parte mat.	Parte prog.	Parte mat.	Parte prog.	Parte mat.	Parte prog.
2015	I	4,5	4,3	3,2	3,9	3,2	3,6
	II	4,3	4,3	3,4	3,8	3,4	3,3
2016	I	4,2	4,3	3,1	3,7	3,2	3,4
	II	4,2	4,6	3,6	3,8	3,3	3,5
2017	I	4,2	4,2	3,2	3,6	3,3	3,4
	II	4,3	4,3	3,3	3,6	3,2	3,4
Promedio		4,3	4,3	3,3	3,7	3,3	3,4

**Fuente:** elaboración propia.

Al recolectar las opiniones de los estudiantes, estas se clasificaron en tres grupos: a) opiniones favorables (OF), aquellas que destacaban bondades de la metodología, que expresaban gran identificación de los estudiantes con lo realizado o en donde manifestaban ventajas en la parte matemática o en la de programación; b) opiniones desfavorables (OD), las que no hacían mención a ninguna bondad de la metodología, en las cuales los estudiantes no destacaban nada que les pareciera favorable o en donde el estudiante no destacaba algo diferente a las metodologías tradicionales; c) opiniones neutras (ON), aquellas que no pudieron clasificarse ni como favorables o desfavorables (tabla 4).

**Tabla 4.** Clasificación de opiniones

Año	Sem.	Grupo A		
		OF	OD	ON
2015	I	17	2	0
	II	19	2	1
2016	I	19	1	1
	II	18	1	1
2017	I	22	1	0
	II	22	0	0
Total		117	7	3

**Fuente:** elaboración propia.

Las opiniones favorables por parte de los estudiantes destacan elementos como la relación entre las matemáticas y la programación, la utilidad de

las matemáticas, el significado que adquieren estas cuando se articulan con otras áreas y la facilidad que proveen para expresar de manera universal la posible solución a un determinado problema. Por su parte, entre las OD se destaca la necesidad de profundizar un poco más en la relación entre matemáticas y otras áreas, no solo programación; la necesidad de incrementar el tiempo para estudiar un poco más el vínculo entre matemáticas y programación, y la utilidad que podría tener conformar grupos de trabajo para resolver los problemas, enunciados y ejercicios que se presentaron en las diferentes pruebas parciales.

En cuanto a las ON, se recogieron conceptos como que la universidad era un excelente espacio para la formación profesional, que era muy bueno poder tener contacto con docentes investigadores y que cuando había pasión por las matemáticas o por la programación todo se hacía muy interesante. Como se puede observar, opiniones de este tipo no se pueden clasificar claramente como favorables o desfavorables, por ello se han ubicado en el grupo de las ON.

## Discusión

Si bien es cierto que podrían encontrarse diferentes caminos para formar la lógica concibiéndola como el conjunto de reglas y relaciones entre ellas que permiten tomar las decisiones apropiadas dentro de un contexto determinado, posiblemente

sean las matemáticas las que mejor ejemplifican esto, por lo cual el objetivo de su estudio intensivo, tanto en la básica secundaria como en los primeros semestres de los programas universitarios, radica en que proporcione las bases para que, a la luz de un lenguaje universal, los estudiantes puedan interpretar, modelar, intervenir, optimizar, mejorar y evaluar el entorno que les rodea, así como simular situaciones que, de otra forma, sería imposible hacerlo. El fortalecimiento de las matemáticas posibilita el desarrollo de un pensamiento científico fundamentado en unos principios y en una forma de escribirlos que son aceptados universalmente.

En un sentido más amplio, las ciencias básicas posibilitan tener más herramientas para aproximarse a la realidad a través del estudio y profundización de áreas de conocimiento como biología, química, física y matemáticas en lo que corresponde a las ciencias duras, y también a través de humanidades, ciencias sociales, estadística y el estudio del arte en lo que corresponde a las ciencias blandas. Todas ellas conforman un corpus académico que le permite al estudiante entender el mundo que lo rodea, intentar modelarlo, intervenirlo y mejorarlo sobre unas bases que posibiliten avizorar situaciones y escenarios futuros sin que se afecte el sistema actual. La inclusión del estudio de las ciencias básicas, y particularmente de las matemáticas, permite que estudiantes de ingeniería entren en contacto con el gran fundamento del conocimiento disciplinar. La pregunta que surge es: ¿Qué tanto sentido tiene para los estudiantes de ingeniería un estudio tan intensivo de las matemáticas si, normalmente, se sumergen más en los procedimientos que en la aplicación y uso de las teorías, modelos y conceptos? Allí la realidad es contundente y efectivamente tanto a nivel de los últimos años de la básica secundaria como los primeros semestres de los programas de ingeniería se encuentra que los estudiantes son conducidos por los caminos de la profundización de procedimientos y muy pocas veces son llevados por la adquisición de sentido a través de la aplicación que esos conocimientos pudieran tener en la vida práctica

y en cualquiera de los tres contextos en donde se desenvuelve.

La relación entre los conceptos, teorías y modelos que se adquieren en un aula en el área de las matemáticas y su aplicación en el mundo real es una tarea que, en tiempos modernos, permite que el estudiante puede llegar a ser competente al saber no solo cuáles son los saberes que requiere sino también al manejarlos con experticia y aplicarlos en diferentes situaciones, incluso en aquellas en las cuales no se ha entrenado. El concepto de *competencia* abre el camino para que los docentes de hoy busquen estrategias que aproximen a los estudiantes, de una parte, al conocimiento específico y, de otra, a su aplicación y sentido que se traduce en su significado. Entre tanto, la programación de computadores se ha ido convirtiendo en una necesidad en todos los programas de ingenierías, pues esta área es un excelente ejemplo de aplicación de lo que puede heredarse de las matemáticas. En su más simple definición, la programación de computadores consiste en el uso de unas reglas lógicas y una sintaxis específica para implementar una solución a un problema determina que puede ser resuelto con la utilización del computador.

La dupla matemáticas/programación, puesta en escena en el desarrollo de una misma asignatura, permite fortalecer cada una de las áreas involucradas y, al tiempo, que ambas se complementen a través de las matemáticas, brindando situaciones y enunciados problémicos que deben ser resueltos bajo la óptica de los cinco tipos de pensamiento matemático, y a través de la programación, implementando todo aquello que se puede resolver con un computador y que, en muchos casos, los incluye. En este sentido, debe anotarse que una experiencia investigativa similar vale la pena tenerla en las asignaturas cuyo contenido temático incluye otros paradigmas, como el paradigma imperativo y el orientado a objetos. De la misma manera, podría pensarse en que se establezcan criterios comparativos en relación con los logros alcanzados en cada asignatura para poder dejar que los datos

hablen y llegar a inferencias que orienten el buen uso de los cinco tipos de pensamiento matemáticos en un rango más amplio de análisis.

Particularmente, la experiencia de la programación a la luz del paradigma funcional y su relación con los tipos de pensamiento matemático ha resultado ser de alto beneficio para los estudiantes pues a través de esta estrategia no solo han encontrado mucho sentido a cada situación que se presentan y que pueden ser resueltas con las matemáticas, sino que, escalando de nivel, pueden advertir la presencia de un problema computable y la posibilidad de implementar su solución en un lenguaje funcional como DrScheme.

Otra situación interesante a evaluar desde la perspectiva de la investigación educativa podría ser la relación posible entre los cinco tipos de pensamiento matemáticos y otras áreas de conocimiento, como las ciencias sociales o la biología, por citar apenas dos de ellas, dado que son áreas en donde las matemáticas han aportado mucho y todavía tienen mucho que decir. Para los estudiantes, estas son áreas muy distantes de las matemáticas y valdría la pena investigar si su comprensión puede fortalecerse, como ha sucedido con la programación de computadores, a partir de los nexos que se pueden establecer con las matemáticas.

En cuanto a los resultados obtenidos en las pruebas parciales, al entrar a analizar los promedios presentados en la tabla 3, la valoración cuantitativa es mucho más alta en el grupo con el cual se aplicó la metodología que con los otros dos, a los cuales solo se les solicitó la presentación de las pruebas parciales. Internamente, en el grupo A (sobre el cual se realizó la investigación) siempre se mantuvieron notas muy similares tanto en la parte de las matemáticas como en la parte de la programación teniendo en cuenta que en las pruebas parciales era requerido que se resolvieran ambas partes por diferentes métodos, la parte matemática por métodos puramente matemáticos y la parte de programación a través de la solución implementada en código DrScheme.

De otra parte, puede observarse que los promedios en ambas áreas, con el grupo investigado, son muy similares mientras que en los otros pareciera ser más alcanzable lo que correspondió a la parte de programación de computadores que a la de matemáticas. Aunque no necesariamente esto obedece a que los tipos de pensamiento matemático no estén claros, puede inferirse que es un factor que influye en estos resultados y que, por tanto, debe tenerse en cuenta, pues con ello se confirma el mutuo beneficio entre las dos áreas y el beneficio tanto para el estudiante que es quien está en el proceso de aprendizaje como para el docente que es quien está conduciendo dicho proceso.

## Conclusiones

Los resultados tanto cuantitativos y como cualitativos de esta investigación permiten concluir que el buen aprovechamiento de los cinco tipos de pensamiento matemático posibilita el fortalecimiento tanto de otras áreas como de la misma matemática. La programación de computadores, en los primeros cursos, tiene un sentido muy práctico si se relaciona con las matemáticas y se fundamenta en el paradigma de programación funcional que, en últimas, es simplemente una expresión tecnológica del cálculo lambda.

Involucrar a los estudiantes en este tipo de estudios se hace mucho más efectivo y productivo, toda vez que se les dé a conocer todo el proceso, de los logros que se quieren alcanzar y de la manera como ellos mismos pueden verse beneficiados si se alcanzan dichos logros. La comparación con otros grupos y otras metodologías siempre será un mecanismo de validar, corregir y mejorar las estrategias que se estén utilizando dentro de un curso determinado sea que se esté desarrollando una investigación o no.

En este tipo de estudios, abrir espacios de opinión anónimos permite conocer lo que piensan los estudiantes desde una óptica abierta y franca.

Si bien los resultados cualitativos no se han presentado en este artículo, por razones de espacio, la cuantificación que se ha hecho de ellos valida lo positivo que fue para los estudiantes la participación en este tipo de investigaciones, los réditos académicos que le quedan y la perspectiva que puede abrirse en otras áreas, si se aprovechan los cinco tipos de pensamiento matemático.

## Referencias

- Ausubel, D. (2012). *The acquisition and retention of knowledge*. Washington, EE. UU.: Springer.
- Ballester, A. (2011). *Meaningful Learning in practice*. Islas Canarias: Universitat de les Illes Balears.
- Bruner, J. (2006). *Hacia una teoría de la instrucción*. México: Editorial Limusa.
- Bruner, J. (2009). *Actos de significado*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- Díaz, F. y Hernández, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. México: McGraw-Hill.
- Felleisen, M. et al. (2005). *How to design programs*. Boston: MIT Press.
- Havenge, M. et al. (2013). Metacognitive and problem solving skills to promote self directed learning in computer programming. *SA-eDUC Journal*, 10(2), 11-25.
- Kline, M. (2012). *El pensamiento matemático. De la antigüedad a nuestros días*. Madrid: Alianza Editorial.
- Ministerio de Educación Nacional (MEN) (2005). *Estándares básicos de competencias matemáticas*. Bogotá.
- Pham, P. et al. (junio de 2014). Learning computer programming in CDIOs teams. *10th Annual International CDIO Conference*, 7(2), 40-52.
- Trejos, O. (2000). *La esencia de la lógica de programación*. Pereira, Colombia: Centro Editorial Universidad de Caldas.
- Trejos, O. (2004). *Fundamentos de programación*. Pereira, Colombia: Editorial Papiro.
- Trejos, O. (2012). *Significado y competencias*. Pereira, Colombia: Editorial Papiro.
- Trejos, O. (2017). *Programación imperativa con lenguaje C*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Van Roy, P. y Haridi, S. (2004). *Concepts, Techniques, and Models of computer programming*. Boston, EE. UU.: MIT Press.





## 8-bit softcore microprocessor with dual accumulator designed to be used in FPGA

### Microprocesador softcore de 8 bits con doble acumulador diseñado para ser usado en FPGA

William Sáenz Rodríguez<sup>1</sup>, Fernando Rivera Sánchez<sup>2</sup>, Fernando Martínez Santa<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 3 de octubre de 2017

**Fecha de aceptación:** 23 de febrero de 2018

**Cómo citar:** Sáenz R., W., Rivera S., F. y Martínez S., F. (2018). Dual-accumulator softcore 8-bit microprocessor designed to be used on FPGAs. *Revista Tecnura*, 22(56), 40-50. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.12976>

#### Abstract

**Context:** This paper presents the design and implementation of an 8-bit softcore RISC microprocessor able to be run on space-optimized FPGA, in order to be used for embedded applications.

**Method:** The design of this microprocessor was developed in Verilog hardware description language and can be implemented in FPGA from different manufacturers; therefore, the user has only to define the input and output ports according to the type of FPGA. This is an accumulator-type processor, but it has two different accumulators that can be used as pointers for indirect addressing. The processor is Harvard with a RAM of 8x256 bits, and a ROM that can be resized from 17x252 bits to 17x8K bits. Additionally, it has one 8-bit input port, one 8-bit output port, and one 8-bit address port, which means that the processor can address more than 256 8-bit output and input ports/devices.

**Results:** The developed processor, named "ZASUA," was compared with PICOBLAZE softcore and other three similar processors of free distribution in the Web, and some improvements over those were

found. Criteria such as the Flip Flops used, occupied LUTs, Slices in use, and maximum delay of each processor were analyzed, all these results were obtained from the implementation of the processors in the Xilinx FPGAs.

**Conclusions:** The designed architecture is composed by two accumulators, which can be used either as source or destination for the operation of the ALU. This fact gives some flexibility to the design, doing it better than a single-accumulator processor, and getting it closer to the register-based processors.

**Keywords:** Embedded microprocessor, Harvard Architecture, RISC, Softcore, FPGA, Verilog, Dual Accumulator.

#### Resumen

**Contexto:** Se diseñó e implementó un microprocesador softcore RISC de 8 bits para que funcionara sobre dispositivos FPGA, y que estuviera optimizado en espacio con el fin de usarlo en aplicaciones embebidas.

**Método:** El diseño de este microprocesador se desarrolló en el lenguaje de descripción de hardware Verilog, y puede ser implementado en FPGA de

1 Ingeniero Electricista, ElectroSanchez & Cía. Ingeniería Eléctrica S.A.S., ingeniero de diseño. Bogotá, Colombia. Contacto: [proyectos1@electrosanchez.com.co](mailto:proyectos1@electrosanchez.com.co)

2 Ingeniero Electricista, Alcaldía de Soacha, Ingeniero Alumbrado Público. Bogotá, Colombia. Contacto: [hrivera.cto@alcaldiasoacha.gov.co](mailto:hrivera.cto@alcaldiasoacha.gov.co)

3 Magíster en Ingeniería Electrónica y de Computadores, ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación. Profesor asistente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [fmartinezs@udistrital.edu.co](mailto:fmartinezs@udistrital.edu.co)

diferentes fabricantes, de tal forma que el usuario solo tenga que definir los puertos de entrada y de salida, según el FPGA utilizado. El procesador desarrollado es de tipo acumulador, pero tiene dos diferentes acumuladores que pueden ser usados como apuntador para direccionamiento indirecto. El procesador es Harvard, con una RAM de 8x256 bits y una ROM que puede ser redimensionada desde 17x252 bits hasta 17x8K bits. También, tiene un puerto de entrada de 8 bits, uno de salida de 8 bits y otro de direcciones de 8 bits, lo que significa que puede direccionar hasta 256x8 bits puertos o dispositivos de salida y la misma cantidad de entrada.

**Resultados:** El procesador, denominado *ZA-SUA*, fue comparado con el *softcore Picoblaze* y con otros tres procesadores similares de libre distribución

en la Web, y se alcanzaron algunas mejoras sobre ellos. Se analizaron criterios como número de *flip flops* usados, LUT ocupadas, *slices* en uso y retardo máximo de cada procesador, todos estos resultados fueron obtenidos de la implementación de los procesadores en FPGA de Xilinx.

**Conclusiones:** La arquitectura diseñada está compuesta por dos acumuladores, los cuales pueden ser usados como fuente o destino de las operaciones de la ALU. Este hecho da cierta flexibilidad al diseño, haciéndolo mejor que un procesador con un solo acumulador, y acercándolo más a un procesador basado en registros.

**Palabras clave:** procesador embebido, arquitectura Harvard, RISC, *softcore*, FPGA, Verilog, acumulador dual.

## INTRODUCTION

At present time, more than 95% of the electronic chips produced are used for embedded systems (Narayanan and Xie 2006). Most electronic devices that surround us such as televisions, radios, cars, and aircraft, among others, contain embedded systems. In general, embedded systems are characterized by being subject to size requirements, having low power consumption, and being economically cheap. Embedded systems have a hardware and software part, which are used to create specific applications (Henzinger and Sifakis 2006; Plavec 2004). In the market you can get embedded systems, such as: FPGAs, CPLDs, microcontrollers, microprocessors, DSP, and others; and all these electronic devices are designed to be programmed by the user. FPGAs and CPLD have shown a huge flexibility for designing custom applications (Garzón, Bareño, and Jacinto 2010; Gómez, Plazas, and Restrepo 2015; Martínez Sarmiento and Giral Ramírez 2017; Riaño, Ladino, and Martínez 2012).

The creation of FPGAs and CPLDs started the term “soft-core processor,” which consists of writing a processor in a hardware description language

(HDL), and can be adapted to fulfill a certain function. These types of processors offer several advantages, such as reducing the cost, improving flexibility, and more immunity to the obsolescence (Tong, Anderson, and Khalid 2006).

In FPGAs, any type of processor can be implemented regardless of the type of architecture and instructions, whether it is CISC (Complex Instruction Set Computer) (Appel and George 2001) or RISC (Reduced Instruction Set computer) (Hu et al. 2009). On the other hand, these architectures can be implemented according to the distribution of memory: they can be Harvard (Trivedi and Tripathi 2015) or Von Newman (Pastor and Sánchez 1997). The RISC processors have been implemented as Design and Performance Analysis of 8-bit RISC Processor using Xilinx Tool (Uma 2012), designing a low power 8-bit Application Specific Processor (Samal and Samal 2014), and FPGA Implementation of MIPS RISC Processor (Kelgaonkar and Kodgire n.d.), FPGA Implementation of an 8-bit Simple Processor (Aye et al. 2008), Asynchronous 8-Bit Processor Mapped into an FPGA Device (Herrera and Viveros 2014). Regarding CISC processors, the design of an 8-bit CISC CPU based on FPGA has

been developed (Zhang and Bao 2011). It is important to note that only the number of logical gates the developed processor occupies determines the capacity of the FPGA to be implemented.

Today several soft-core 8-bit processors have been developed as mentioned above, and there are 8-bit processors that have public or commercial domain, such as Picoblaze (Xilinx 2011), V8-uRISC, and Free-RISC8 (Santana Hernandez 2004), among others. There is limited information that can be found on the Internet on free code of softcore processors with enough information to reproduce them. Besides, they are fully functional and can be implemented in any FPGA without importing the manufacturer.

One of the best known 8-bit softcore processors with reproducible code is PICOBLAZE. Its documentation can be downloaded from the Xilinx Website. This processor was developed in a high-level language, which can only be run on Xilinx devices, and it is developed in Verilog and VHDL. It contains 16 data records, 64-position data memory, 8-bit ALU, and has 1Kbits ROM (Xilinx 2011).

Another processor is the Free-RISC8, which is a model designed in Verilog synthesizable in a simple 8-bit microcontroller and is compatible with the code of the controller 16C57 Microchip company. It has a variety of software development tools making this processor attractive for educational purposes or even to use in an FPGA.

Regarding the V8-uRISC, it is a general-purpose processor designed and optimized specifically for programmable logic. It combines a small number of gates with execution to a single cycle of clock for many instructions; its objective is to deliver high performance of the 8-bit microprocessor while occupying very little space in its implementation. It was developed in VHDL and Verilog (Hays and Jshamlet 2016).

A more general solution for open source processors is the OpenCores.org Web page. It is the world's largest community site for the development of open source hardware cores. OpenCores.

org takes the source code for different digital projects and supports users with different tools, platforms, forums, and other useful information. The drawback with this information is that most projects are not fully functional and therefore cannot be reproduced. Or sometimes they are reproducible but do not present the respective documentation to be understood.

The following is the design and results of the implementation of an 8-bit softcore processor optimized in size, which work with devices of many manufacturers, and will be published in the Web for free: the code will be left open with the respective guide information so that it can be reproduced and modified by any user. (Clayton 2014; Crabtree 2009; Guzman 2012; Hays and Jshamlet 2016; Riedel 2009).

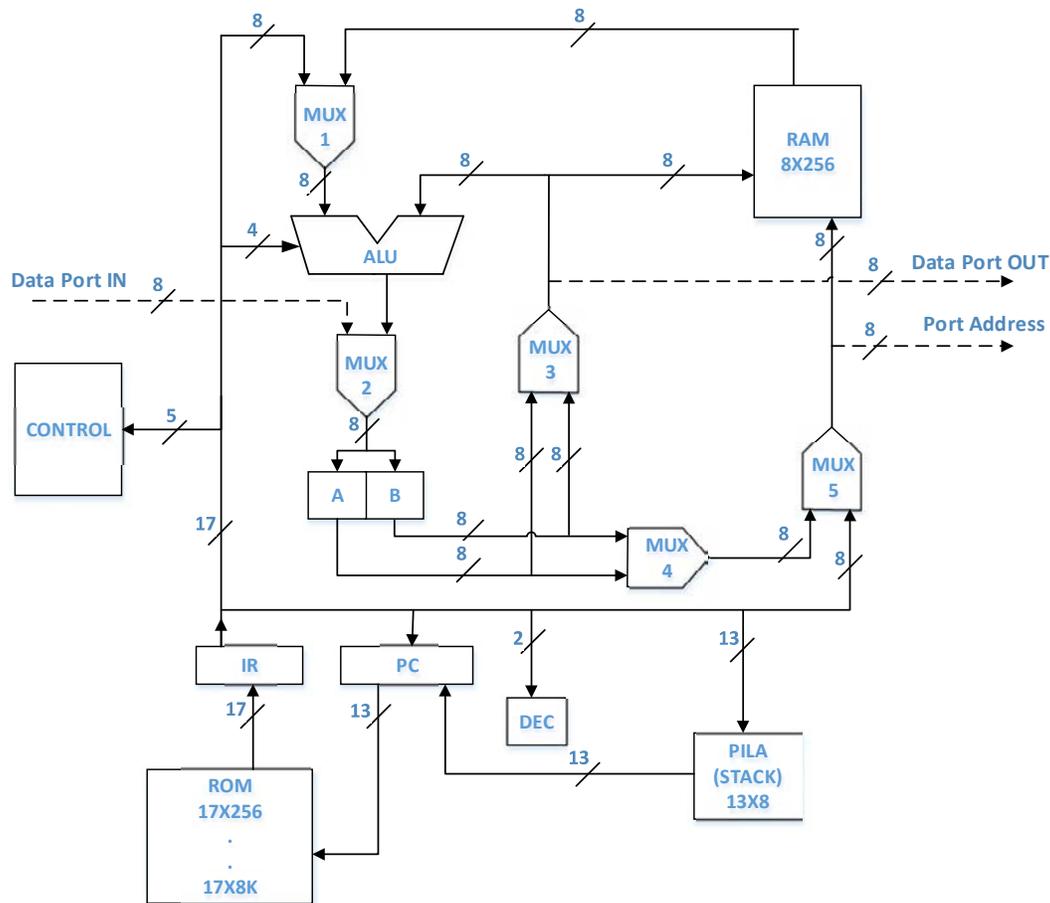
## Methodology

### *General Description*

The softcore 8-bit processor ZA-SUA is a Harvard RISC processor, featuring a new dual-accumulator design; This processor contains 28 instructions which can be used to perform direct, indirect, or immediate addressing; it also has the ability to develop external interruption. ZA-SUA means "night or day," referring to both accumulators used in the design, which can be used as simple accumulators or as index registers indifferently. The name ZA-SUA was taken from the dead language Muyscubun, in homage to the Muisca (usually called Chibcha) indigenous community of the central region of Colombia.

The double accumulator is represented by the letters A and B (See Figure 1), which allows to save the results that come from the Arithmetic Logic Unit (ALU) or the reading data of a port. They allow to select the operand of the ALU if A or B is desired, and these two accumulators can also be used like pointers for instructions with indirect addressing.

On the other hand, the instruction encoding is 17 bits length, which is stored in the instruction



**Figure 1.** Block diagram of the ZA-SUA 8-bit soft-core processor

**Source:** own work.

register (IR-Instruction Register); the ROM (Read Only Memory) is scalable and can be varied from 256, 512, 1024, 2048, 4096 and 8192 positions; it also contains a stack (STACK) of 13 bits and 8 positions. Finally, the RAM (Random Access Memory) is 8-bits length and has 256 positions.

The “DEC” is a decoder to control three “MUX” multiplexers, which are: MUX 1, MUX 4 and MUX 5. The others are controlled by the IR. The “PC” (Program Counter) is the program counter. The continuous cables shown in Figure 1 are the internal connections of the processor, whereas non-continuous cables are some of the main input and output ports. The MUX 1 performs the function of letting the instruction register data pass if an instruction that handles an immediate or literal addressing

is activated and if it does not let the read data of the RAM pass; this occurs when an instruction has an address direct. With respect to MUX 4, it works when an instruction has an indirect addressing and it discovers with which it wants to develop it with A or B. MUX 5 is used to let the output data of the multiplexer 4 (MUX 4) pass if there is indirect addressing; if it does not, the multiplexer lets the data of the instruction register go through to develop a task directly. MUX 2 selects whether to store the ALU or the value that is present on the processor input port. If a task is performed with the ALU using the MUX 3, the operand is either A or B. Regarding the ALU, it has 16 instructions, which are linked to variables of ZERO and CARRY; this allows the accumulation and storage of data in the operations it performs.

### Instruction Set

The processor has a total of 28 instructions. Table 1 shows the instructions that the ALU handles. A brief description is given to explain what each instruction does, its respective encoding, and mnemonic. Also, if the instruction affects carry (C) and zero (Z), it is represented with '1', and if it does not modify, it is represented with '0'. Table 2 shows the instructions not handled by the ALU, a brief description of them, and their respective coding and mnemonic.

### Coding instructions

The instruction encoding is 17 bits (detailed in Table 3). The most significant bits are those containing the instruction, the following 8 bits of "General", point to a Constant, a RAM address, or a port address, which vary according to the type of instruction. The 2 bits of "Address" refer to the type of address that has the instruction. The

"Source" bit selects the value of the accumulator A or B with which you want to develop an operation of the ALU or write a data in a position of the RAM. The least significant bit is the "Destination", which is where you want to save the data, which can be stored in the accumulator A or in the accumulator B. The instruction encoding is defined for all instructions as indicated in Table 3, minus the jump instructions. JFIZ, JFIC, JUMP and CALL are organized as shown in Table 4. As evidenced by the 4 most significant bits is the instruction and the least significant is the number that replaces increasing or decrementing the PC, which refers to the number of lines you want to skip. Table 5 shows other instructions and the bits needed to define them, as well as the not needed bits, which are crossed out. The OUTPUT and INPUT instructions can support 256 input and output ports; this is used to connect different modules in the ZA-SUA processor.

**Table 1.** ALU Instructions

Description	Mnemonic	Coding	Affects	
			Z	C
Addition	ADD	00000	1	1
Addition with carry	ADDC	00001	1	1
Subtraction	SUB	00010	1	1
Subtraction with carry	SUBC	00011	1	1
Increment	INC	00100	1	1
Decrement	DEC	00101	1	1
Shift left (without carry)	SHL	00110	1	0
Shift right (without carry)	SHR	00111	1	0
Rotate left (with carry)	ROL	01000	1	1
Rotate right (with carry)	ROR	01001	1	1
Logic operations	AND	01010	1	0
	OR	01011	1	0
	XOR	01100	1	0
	NOT	01101	1	0
Load a value in an accumulator	LOAD	01110	1	0
Move values between accumulators	MOVE	01111	1	0

**Source:** own work.

**Table 2.** Non-ALU Instructions

Description	Mnemonic	Coding
Jump if Zero flag is true	JIFZ	1000
Jump if Carry flag is true	JIFC	1001
Unconditional jump	JUMP	1010
Subroutine calling	CALL	1011
Stores an accumulator in RAM	STORE	11000
Subroutine return	RETURN	11001
Port reading	INPUT	11010
Port writing	OUTPUT	11011
Enable interrupts	EINT	11100
Disable interrupts	DINT	11101
Interrupt return	RETI	11110
Relative jump	JUMPR	11111

**Source:** own work.

**Table 3.** Instructions coding

Instructions Coding				
5 bits	8 bits	2 bits	1 bit	1 bit
Instruction	General	Addressing	Source	Destination

**Source:** own work.

**Table 4.** Jump Instruction coding

Jump Instruction coding	
4 bits	13 bits
Instruction	Absolute program memory address (PC)

**Source:** own work.

**Table 5.** Coding for all the instructions

ALU				
5 bits	8 bits	2 bits	1 bit	1 bit
Instruction	General	Addressing	Source	Destination
JIFZ, JIFC, JUMP y CALL				
4 bits	13 bits			
Instruction	Absolute program memory address (PC)			
OUTPUT				
5 bits	8 bits	2 bits	1 bit	1 bit
Instruction	General	Addressing	Source	Destination
STORE				
5 bits	8 bits	2 bits	1 bit	1 bit
Instruction	General	Addressing	Source	Destination
RETURN y RETI				
5 bits	8 bits	2 bits	1 bit	1 bit
Instruction	General	Addressing	Source	Destination
INPUT				
5 bits	8 bits	2 bits	1 bit	1 bit
Instruction	General	Addressing	Source	Destination
JUMPR				
5 bits	8 bits	2 bits	1 bit	1 bit
Instruction	General	Addressing	Source	Destination
EINT y DINT				
5 bits	8 bits	2 bits	1 bit	1 bit
Instruction	General	Addressing	Source	Destination

**Source:** own work

### Addressing modes

The 8-bit soft-core processor has 3 addressing modes: direct, indirect, and immediate. The following are the modes of addressing, associated with their correspondent instructions:

- Indirect addressing: the instructions that develop it are STORE, OUTPUT, and all the ALU instructions.
- Immediate addressing: they are developed by the instructions found in the ALU and by the instructions RETI and RETURN.
- Direct addressing: the instructions that develop it are STORE, INPUT, OUTPUT, and all the instructions handled by the ALU.

The 2 bits of "Address" are decoded as shown in Table 6. As for the coding of "Source" and "Destination", both of them present a homogeneous organization: the 0 directs to the accumulator A and the 1 directs to the accumulator B.

**Table 6.** Addressing bits coding

Coding	Description
00	Direct addressing
01	Immediate addressing
10	Indirect addressing with the accumulator A as index
11	Indirect addressing with the accumulator B as index

**Source:** own work.

### Processor state machine

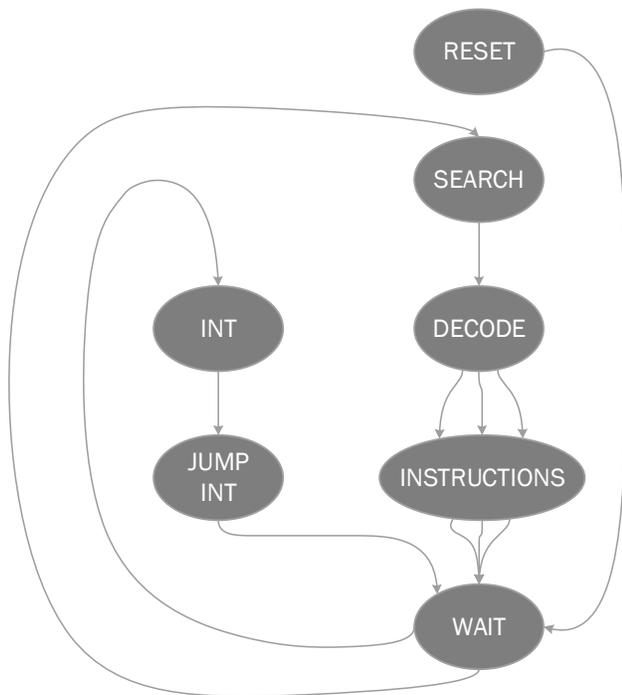
Figure 2 shows the state machine of the Softcore 8-bit Processor "ZA-SUA". The first state is the RESET. In each clock cycle it is checked to know if it is active; if it is, reset all the main registers as: program counter, stack address counter, and the accumulators. In the state of SEARCH, the instruction to be executed is read. In DECODE, each instruction is decoded to enable and disable the processes that need to be executed for each instruction. INSTRUCTIONS state executes the instruction

process. The processes that are enabled and disabled during the DECODE state must remain active during the INSTRUCTIONS state because there is a delay in the clock cycle.

The delay occurs because the processor executes tasks in parallel in each cycle of clock. If a process like saving a value in the pile is activated in the first cycle of a clock, this process cannot be executed. This happens because the pile was not active at the beginning of the first clock cycle, it will only be executed in the second clock cycle if this process is still active during this clock cycle, for this reason each task activated or deactivated has to be enabled the state before it will be used.

In the INSTRUCTIONS state (see Figure 2) the following instructions are executed: all ALU's, JFIZ, JFIC, JUMP, CALL, STORE, RETURN, INPUT, OUTPUT, EINT, DINT, RETI and JUMPR.

In the DECODE state (Figure 2) three lines emerge. These represent the thirteen states mentioned above (for practical purposes).



**Figure 2.** Finite state machine of the control unit

Source: own work.

It should be noted that the thirteen states emerge from the INSTRUCTIONS state but converge in the WAIT state (Figure 2) since it is mandatory that these states pass through the state to initiate the next state.

As noted in the above listing, all ALU instructions (Table 1) are controlled by this state. It is worth mentioning that it is not necessary to develop a decoder to select the instructions presented by the ALU since the instructions that arrive at DECODE are the same delivered by it at the end, for which it does not perform decoding.

The WAIT state is the state of waiting for the instructions to be executed, which enables the reading of the following instruction (ROM). After exiting the WAIT state, it is checked whether or not there was an interruption (INT). If there is no interruption, the program will go to the SEARCH state. On the contrary, if an interruption occurs, the task of storing the program counter value in the stack is enabled during this state. In the JUMP INT state, it jumps to the memory location of the ROM, where the tasks that are performed during the interruption started.

In order for the interruption to develop (INT), it must have passed the state of EINT and will only be executed when the instruction is finished. During this process the CARRY is temporarily archived. If the user wishes to save the value of the accumulators, he must store them at the beginning of the interruption (INT) at the desired RAM position. When the RETI instruction is executed, the CARRY returns to the value it had prior the interrupt.

JUMPR is used to perform relative jumps for selecting a value from a records table, which is designed at will of the user, who will have to use the RETURN instruction to achieve implementation. Each state is executed in a clock cycle, all internal processor instructions are developed in 4 clock cycles, except the external ones as shown in Figure 2, the RESET is executed in two clock cycles and the interrupt (INT) is executed in 3 clock cycles.

## RESULTS

### Comparison of Technical Criteria

To make an appropriate comparison, five criteria were chosen for four processors: one is PICOBLAZE and the other three were taken from the OpenCores.org page (see Table 7).

### Comparative of the results

The following are the results obtained from the implementation of the “ZA-SUA” processor and the other chosen processors. It is noteworthy that the processors were implemented in a SPARTAN-3AN Starter Kit FPGA card, and the results below are obtained from the “Design Summary” of the Xilinx 14.7 software. On the other hand, the ROM, RAM, ALU, STACK, IR, and Control, in the processors PICOBLAZE, Tiny 8, and NATALIUS, are divided into blocks; while in the ZA-SUA and TISC

processors all parts are integrated in a single code, which helps to give a better idea of the total space occupied by the processor. The information obtained in the tables described above is summarized below (Table 8).

It can be observed that the processor that occupies less resources is the TISC (in terms of flip-flops used), but it should be clarified that it does not have RAM and is the processor with less instructions.

Regarding LUTs (LOOKUP TABLE), or search tables used, it was found that the processor that uses less resources is the PICOBLAZE, using only 1.49% of the total of the available tables because it is written in a language of High level, which ensures that it can only be used in Xilinx devices.

By analyzing the occupied SLICES, it is found that the processor that occupies less resources is the PICOBLAZE again and the one with the most resources is the TINY8 (See Figure 3).

**Table 7.** Technical specifications of the compared processors

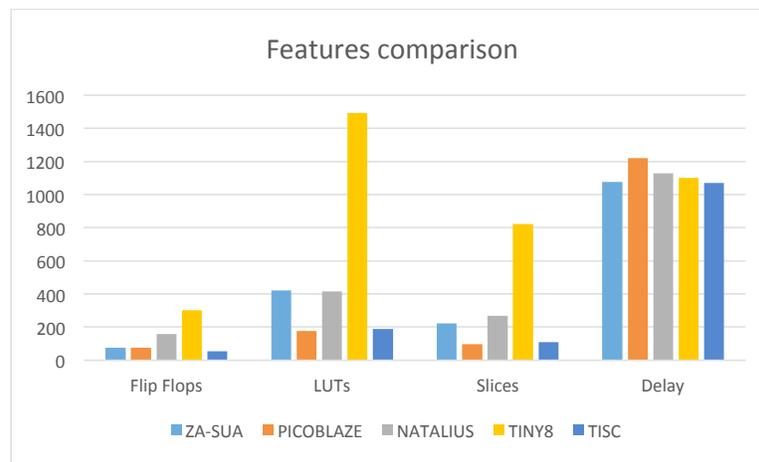
	ZA-SUA	PICOBLAZE <sup>15</sup>	NATALIUS <sup>21</sup>	TINY8 <sup>20</sup>	TISC <sup>19</sup>
Bus size [Bits]	8	8	8	8	8
RAM [Bytes]	32	64	4	32	-
Instructions number	28	57	29	-	14
Bits per instruction	17	18	16	16	12
ROM [Words]	256-8K	1K	-	-	-

**Source:** own work.

**Table 8.** General comparative results

Processor	Flip-Flops		LUTs		Slices		Frequency	
	Used	[%]	Used	[%]	Used	[%]	Maximum delay [us]	Maximum freq. [MHz]
ZA-SUA	75	0,64	421	3,58	223	3,79	1076	929
PICOBLAZE	76	0,65	176	1,49	98	1,66	1220	817
NATALIUS	158	1,34	416	3,53	270	4,58	1130	888
TINY8	301	2,55	1493	12,67	823	13,97	1100	910
TISC	54	0,46	189	1,61	111	1,88	1070	936

**Source:** own work.



**Figure 3.** Size and performance criteria comparison among processors

**Source:** own work.

Finally, by comparing the maximum execution frequencies of the processor, it was obtained that the one with the highest performance is the TISC and, in contrast, the one with the lowest performance is the PICOBLAZE (Figure 3).

## CONCLUSION

According to Figure 3, it can be concluded that the ZA-SUA processor occupies less flip-flops than NATALIUS and TINY8, but it presents almost the same number of flip-flops as the PICOBLAZE, which affirms that the ZA-SUA processor is optimized in size compared to these processors.

On the other hand, the ZA-SUA processor occupies less LUTs than TINY8, fewer SLICES than NATALIUS and TINY8, and has higher performance than the PICOBLAZE, NATALIUS, and TINY8 processors (see Figure 3). ZA-SUA guarantees the superiority in the design of the processor in comparison to these processors.

Although the results indicate that the PICOBLAZE processor has better performance in general terms, it can only be implemented in Xilinx devices; contrary to the ZA-SUA processor, which is more versatile because it can be reproduced in FPGAs from different manufacturers.

Although the TISC processor provides favorable results regarding the use of resources, it should be clarified that it has no RAM and has 14 instructions less than the ZA-SUA processor.

Finally, it is analyzed that the NATALIUS processor, although having an instruction more than the ZA-SUA, does not have INTERRUPT instruction, which limits the possibility of executing basic tasks as this is a fundamental requirement for the development.

## Future work

In first instance, a C-language compiler is to be developed for the 8-bit softcore processor ZA-SUA, with the aim that the user needing the processor can program it easily without having to resort to the source code of the processor. Secondly, various applications will be implemented with the compiler to experiment with all available processor resources. Performance benchmarking software (Benchmark) will be performed to study the maximum capacities of the ZA-SUA processor. Finally, it is possible to modify the code so that the capacity of the processor can be increased to 16 bits.

## References

- Appel, Andrew W. and Lal George. 2001. "Optimal Spilling for CISC Machines with Few Registers." Pp. 243–53 in *ACM SIGPLAN Notices*, vol. 36. ACM.
- Ayeh, E., K. Agbedanu, Y. Morita, O. Adamo, and P. Guturu. 2008. "FPGA Implementation of an 8-Bit Simple Processor." Pp. 1–5 in *Region 5 Conference, 2008 IEEE*. IEEE.
- Clayton, Jhon. 2014. "risc16f84 :: Overview." *OpenCores*. Retrieved (<http://opencores.org/project,risc16f84>).
- Crabtree, Vincent. 2009. "Tiny Instruction Set Computer :: Overview." *OpenCores*. Retrieved (<https://opencores.org/project,tisc>).
- Garzón, Víctor Alonso Bravo, Jesús Jair Navarro Bareño, and Edwar Jacinto. 2010. "Diseño E Implementación de Un Codec Digital de Audio Con FPGA, En Formato PCM, de 2 Canales Con Interfaz Para Usuario." *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento* 14(26):56–68. Retrieved (<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/6687/8270>).
- Gómez, Edwar Jacinto, Donovan Camilo Platero Plazas, and Mario Fernando Robayo Restrepo. 2015. "Voltmetro True-Rms Sobre Fpga Basado En Algoritmo Cordic." *Revista Tecnura* 19:129–36. Retrieved (<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/9619/10827>).
- Guzman, Fabio. 2012. "Natalius 8 Bit RISC :: Overview." *OpenCores*. Retrieved ([http://opencores.org/project,natalius\\_8bit\\_risc](http://opencores.org/project,natalius_8bit_risc)).
- Hays, Kirk and Jshamlet. 2016. "Open8 uRISC :: Overview." *OpenCores*. Retrieved ([http://opencores.org/project,open8\\_urisc](http://opencores.org/project,open8_urisc)).
- Henzinger, Thomas A. and Joseph Sifakis. 2006. "The Embedded Systems Design Challenge." Pp. 1–15 in *International Symposium on Formal Methods*. Springer.
- Herrera, Moises and Francisco Viveros. 2014. "Asynchronous 8-Bit Processor Mapped into an FPGA Device." Pp. 1–7 in *Communications and Computing (COLCOM), 2014 IEEE Colombian Conference on*. IEEE.
- Hu, Weiwu et al. 2009. "Godson-3: A Scalable Multi-core RISC Processor with x86 Emulation." *IEEE micro* 29(2).
- Kelgaonkar, Pranjali S. and Shilpa Kodgire. n.d. "Pipelined 32bit RISC MIPS Processor on Spartan-6 FPGA." *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, ISSN 2278–7798.
- Martínez Sarmiento, Fredy Hernán and Diego Armando Giral Ramírez. 2017. "OpenRRArch: Una Arquitectura Abierta, Robusta Y Confiable Para El Control de Robots Autónomos." *tecnura* 21(51):96–104.
- Narayanan, Vijaykrishnan and Yuan Xie. 2006. "Reliability Concerns in Embedded System Designs." *Computer* 39(1):118–20.
- Pastor, Enric and Fermín Sánchez. 1997. "La Máquina Rudimentaria: Un Procesador Pedagógico." *III Jornadas de Enseñanza Universitaria sobre Informática (JENUI'97)*, Madrid, Spain 395–402.
- Plavec, Franjo. 2004. *Soft-Core Processor Design*. University of Toronto.
- Riaño, José, César Ladino, and Fredy Martínez. 2012. "Implementación de La Transformada FFT Sobre Una FPGA Orientada a Su Aplicación En Convertidores Electrónicos de Potencia." *Tekhnê* 9:21–32. Retrieved (<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tekhne/article/view/8925/10297>).
- Riedel, Ulrich. 2009. "tiny8 :: Overview." *OpenCores*. Retrieved (<http://opencores.org/project,tiny8>).
- Samal, Lopamudra and Chiranjibi Samal. 2014. "Designing a Low Power 8-Bit Application Specific Processor." Pp. 1–5 in *Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), 2014 International Conference on*. IEEE.
- Santana Hernandez, Gladis Elizabeth. 2004. "Diseño de Un Procesador Usando Lenguajes de Descripción de Hardware." Instituto Politécnico Nacional, Mexico DF.
- Tong, Jason G., Ian D. L. Anderson, and Mohammed A. S. Khalid. 2006. "Soft-Core Processors for Embedded Systems." Pp. 170–73 in *Microelectronics, 2006. ICM'06. International Conference on*. IEEE.
- Trivedi, Priyanka and Rajan Prasad Tripathi. 2015. "Design & Analysis of 16 Bit RISC Processor Using Low Power Pipelining." Pp. 1294–97 in *Computing*,

*Communication & Automation (ICCCA), 2015 International Conference on. IEEE.*

Uma, R. 2012. "Design and Performance Analysis of 8-bit RISC Processor Using Xilinx Tool." *International Journal of Engineering Research and Applications* 2(2):53–58.

Xilinx. 2011. "PicoBlaze 8-Bit Embedded Microcontroller User Guide." *IP documentation* 1–120.

Retrieved ([http://www.xilinx.com/support/documentation/ip\\_documentation/ug129.pdf](http://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/ug129.pdf)).

Zhang, Yunjie and Lei Bao. 2011. "The Design of an 8-Bit CISC CPU Based on FPGA." Pp. 1–4 in *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011 7th International Conference on. IEEE.*





## Evaluación de impacto ambiental de la cantera “La Represa”, en la provincia de San Luis, Argentina

### Environmental impact assessment of the quarry “La Represa” in San Luis province, Argentina

Natalia Judith Marchevsky<sup>1</sup>, Andrea Alejandra Giubergia<sup>2</sup>  
Néstor Hugo Ponce<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 22 de diciembre de 2017

**Fecha de aceptación:** 9 de marzo de 2018

**Cómo citar:** Marchevsky, N.J., Giubergia, A.A. y Ponce, N.H. (2018) Evaluación de impacto ambiental de la cantera "La Represa" en la provincia de San Luis, Argentina. *Revista Tecnura*, 22(56), 51-61. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.12907>

#### Resumen

**Contexto:** Los estudios de impacto ambiental (EIA) constituyen herramientas importantes puesto que permiten pronosticar las consecuencias que tiene el desarrollo de una actividad extractiva en el entorno donde se localiza. El objetivo de este trabajo es adelantar la evaluación ambiental de la cantera de piedra laja La Represa, ubicada en la provincia de San Luis, Argentina.

**Método:** Se utilizó una matriz de doble entrada que permite estimar los impactos ambientales en el medio receptor. Dicha matriz considera determinadas cualidades de los pasivos ambientales que se introducen en una función para generar un índice denominado *importancia del pasivo ambiental* (IM). Mediante la comparación de estos índices es posible determinar los impactos ambientales que resultan críticos para el entorno estudiado.

**Resultados:** El análisis efectuado permitió determinar que el paisaje es el único elemento ambiental

que tiene una afectación negativa crítica en inmediaciones de la explotación de la cantera. No obstante, se evidenció un importante mejoramiento en la calidad de vida de los pobladores de la zona a partir de este emprendimiento minero.

**Conclusiones:** La explotación de piedra laja es primordial para la manutención de varias familias en la localidad de Riocito. Sin embargo, es conveniente tomar medidas que puedan amortizar la afectación paisajística en el lugar. Este trabajo propone algunas opciones de remediación y restauración que podrían implementarse durante y al finalizar la operación.

**Palabras clave:** cantera, evaluación de impacto ambiental, piedra laja.

#### Abstract

**Context:** Environmental impact studies (EIS) are important tools since they allow forecasting the consequences of the development of an extractive activity in the environment that surrounds it. The objective of

1 Ingeniera en Minas con orientación en metalurgia, doctora en el Área de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Nordeste. Profesor adjunto del departamento de minería, facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales de la Universidad Nacional de San Luis. Chacabuco 917, (5700). San Luis, Argentina. Contacto: [nmarchevsky@unsl.edu.ar](mailto:nmarchevsky@unsl.edu.ar)

2 Ingeniera en Minería, magíster en Ingeniería del Software. Profesora adjunta del departamento de minería, facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales de la Universidad Nacional de San Luis. Chacabuco 917, (5700). San Luis, Argentina. Contacto: [aagiuber@unsl.edu.ar](mailto:aagiuber@unsl.edu.ar)

3 Ingeniero en Minería, profesor adjunto del departamento de minería, facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales de la Universidad Nacional de San Luis. Chacabuco 917, (5700). San Luis, Argentina. Contacto: [nhponce@unsl.edu.ar](mailto:nhponce@unsl.edu.ar)

this work is to perform the environmental impact assessment of "La Represa," a flagstone quarry located in San Luis Province, Argentina.

**Method:** A double-entry matrix was used to assess the environmental impacts in the environment affected by extractive activities. This matrix considers certain qualities of environmental liabilities that are introduced in a function to generate an index called "Importance of Environmental Liability" (IM). By comparing these indices, it is possible to determine the environmental impacts that are critical for the studied environment.

**Results:** The analysis allowed to determine that the landscape is the only environmental element that

has a critical negative impact in the vicinity of the exploitation of the quarry. However, there was evidence of an important improvement in the quality of life of the inhabitants of the area from this mining undertaking.

**Conclusions:** The exploitation of flagstone is essential for the maintenance of several families in the village of Riocito. However, it is advisable to take measures that can amortize the negative effect on the landscape of the place. This paper proposes some remediation and restoration options that could be implemented during and at the end of the operation.

**Keywords:** environmental impact assessment, flagstone, quarry.

---

## Introducción

En Argentina, los emprendimientos mineros que surgen muchas veces son centro de debate por la sustentabilidad ambiental de las condiciones en las cuales se desarrollan. En consecuencia, la falta de información ambiental, la escasa o nula participación ciudadana, y la falta de transparencia en el manejo de los beneficios de la industria, sumado a los impactos negativos documentados (accidentes y derrames), han generado una percepción desfavorable de la actividad en términos ambientales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2016).

En gran medida, el panorama descrito deriva del escaso grado de aplicación de la normativa ambiental que tiene esta actividad extractiva en el país. Los inicios de la legislación ambiental minera se remontan al año 1886, cuando se sancionó el Código de Minería de la Nación. Muchos años pasaron hasta que se implementaron nuevas medidas en torno a este tema. En 1994 se realizó la reforma de la Constitución Nacional, en la cual se incorporaron muchos instrumentos de política ambiental, como el ordenamiento ambiental del territorio, la información pública, la información ciudadana y la evaluación de impacto ambiental. En 1995,

se incorporó al Código de Minería la Ley 24.585, como título complementario sobre "Protección Ambiental para la Actividad Minera". Estos dos últimos sucesos han sido significativos, dado que han instado al sector público y privado a redoblar los esfuerzos para conseguir un mejor desempeño ambiental en la actividad minera (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte, 2014).

La Ley 24.585 establece la obligatoriedad de realizar estudios de impacto ambiental (EIA) a todo emprendimiento minero de baja, mediana o gran producción, y en cualquier etapa del ciclo minero (prospección, exploración, explotación, cierre y abandono) (Ley 24.585, 1996). Los EIA brindan información detallada de la geología, hidrogeología, vegetación, fauna, fisonomía, clima y otras características ambientales de la zona de estudio (Careddu y Siotto, 2011). Asimismo, constituyen herramientas que permiten predecir las consecuencias que tienen la ejecución y posterior desarrollo de esta actividad, en el entorno donde se localizan de modo que permiten visualizar los efectos desencadenantes y, en consecuencia establecer medidas preventivas y de control que hagan posible el desarrollo de esta actividad con la menor incidencia en el medio ambiente (IGME, 1999). No obstante, la legislación nacional aún presenta un

vacío en términos metodológicos acerca de cómo deben realizarse estos EIA.

Este trabajo propone efectuar el estudio de impacto ambiental de una cantera ubicada en Riocito, donde se lleva a cabo la explotación de piedra laja pizarra. El conocimiento de esta información podría ser relevante para tomar medidas tendientes a minimizar los impactos negativos que causa la explotación de estos recursos en el ambiente.

## Antecedentes del lugar

Desde mediados del siglo XX, la provincia de San Luis se distingue por el auge adquirido en materia de explotación de rocas ornamentales (lajas, granitos y mármoles). Las piedras lajas pizarras son un recurso de gran potencial y con un número significativo de pequeños productores que se localizan principalmente en Riocito. Se estima que allí existen al menos 29 canteras de piedra laja registradas (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte, 2014), pero solo 10 se encuentran en producción. La cantera más representativa en cuanto a su producción es La Represa y ha sido seleccionada para desarrollar el presente trabajo.

### *Ubicación y acceso*

La cantera de piedra laja pizarra La Represa se encuentra ubicada en el Partido del Totoral, departamento Pringles de la provincia de San Luis, Argentina. A este lugar se accede desde la ciudad capital de San Luis, a través de la ruta provincial No. 20 hasta la localidad de El Volcán, allí se toma la ruta provincial No. 9 hasta la bifurcación con la localidad de El Trapiche, donde se continúa algunos kilómetros más por la ruta provincial No. 39. La distancia desde la ciudad capital es de 50 km aproximadamente.

### *Geología*

La cantera La Represa se encuentra emplazada sobre rocas del basamento cristalino, del cual forman parte las filitas y pizarras. Estas constituyen una faja de longitud aproximada de 50 km, ancho

variable que alcanza hasta 2 km, dirección de aproximadamente N-S e inclinación casi vertical.

En general, la piedra laja pizarra se compone por material clorítico-sericitico (54 %), cuarzo (40 %), calcita (3 %) y minerales opacos (3 %), de grano muy fino (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte, 2014). Se presenta en varias tonalidades de gris, negro y verde.

### *Ciclo de explotación de la cantera*

La Represa produce piedra laja azulina y negra, y es la cantera de mayor producción de la provincia de San Luis (5000 toneladas/mes), con reservas que superan las 300.000 t. No obstante, se estima que entre el 50 % y 60 % del volumen que se extrae constituye material de descarte (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte, 2014). La figura 1 muestra una imagen de *Google Earth* de dicha cantera.

La zona donde está emplazado el yacimiento presenta una cubierta vegetal escasa de pocos centímetros de espesor. La operación de destape para extraer este material se realiza por medio de una topadora o cargador frontal, más voladuras de apertura de cantera. Los volúmenes extraídos de este material son acumulados sobre los sectores linderos del yacimiento de manera que no afecte la explotación futura, ni las reservas.

El laboreo del yacimiento se realiza como cantera a cielo abierto. Actualmente, tiene frentes de extracción, con bancos que superan en algunos casos los 20 m de altura, lo que permite tener varias alternativas de extracción. La figura 2 muestra una imagen panorámica de la cantera La Represa, se observan accesos a diferentes frentes de explotación como también material estéril acumulado.

La explotación es selectiva. Cuando el frente lo permite, se realizan perforaciones con *wagon drill*. En caso de aparecer venillas, vetas de otros minerales u algún otro inconveniente en el frente, se recurre a martillos neumáticos. El material se extrae por medio de voladuras con perforaciones en una malla conveniente de acuerdo con el rendimiento de los explosivos para alcanzar la máxima eficiencia.



**Figura 1.** Vista aérea de la cantera La Represa

**Fuente:** google earth.

Las voladuras principales se complementan con voladuras secundarias para reducir el tamaño de los bloques grandes desprendidos del banco y que por su tamaño dificultan el proceso; en un futuro se prevé la incorporación de un martillo picador para realizar este trabajo.

En la cantera se utiliza relativamente poco equipamiento, este consiste en: cargador frontal sobre ruedas, retroexcavadora sobre orugas, compresor, martillos neumáticos, camiones con capacidad de 12 a 15 m<sup>3</sup>.

### **Metodología**

La metodología que se utilizó en este trabajo es la descrita por García, García y Agudelo (2014), quienes han efectuado una adaptación de la propuesta por Gómez (1999). Consiste en elaborar una matriz de doble entrada, la cual identifica y caracteriza los impactos en las casillas de cruce. Según la naturaleza de los efectos causados en el medio receptor se asigna un valor de importancia al pasivo ambiental analizado. Esta metodología posibilita una estimación cualitativa y cuantitativa de los elementos, e identifica el impacto ambiental originado por una actividad específica sobre un factor ambiental.

La importancia del pasivo ambiental sobre el ambiente receptor queda determinada a través de ciertas cualidades de este, que se introducen en una función. A partir de allí, se genera un índice único denominado *importancia del pasivo ambiental* (IM). La ecuación (1) describe la relación entre los componentes del indicador IM.



**Figura 2.** Foto panorámica de la cantera La Represa donde se observan accesos a diferentes frentes de explotación

**Fuente:** Dolcemascolo (2016).

$$IM = NA (3 MG + 2 EX + DR + PE + RC + RV + PO + TD + TI) \quad (1)$$

Donde:

*NA*: naturaleza del impacto, si este es beneficioso (+) o dañino (-).

*MG*: magnitud. Cuantifica el grado de incidencia. Su rango comprende valores entre 1 (afectación mínima) y 8 (afectación máxima).

*EX*: extensión. Calcula el área de influencia teórica del impacto respecto al medio circundante al emprendimiento. Admite valores entre 1 (efecto localizado) y 8 (efecto generalizado en todo el entorno).

*DR*: duración. Pondera la persistencia del efecto desde su aparición y el momento en el cual el factor afectado retornaría a las condiciones originales previas a la acción. El rango de valoración del impacto puede ser fugaz (valor 1 = duración del impacto < 1 año) a permanente (valor 12 = > 10 años).

*PE*: periodicidad. Establece la regularidad de manifestación del efecto. Puede ser irregular valor = 1 (forma impredecible) hasta continua, valor = 12 (constante a través del tiempo).

*RC*: recuperabilidad. Se refiere a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales, por medio de la intervención humana. En función de cuando es posible realizar las actividades de recuperación del impacto se establece el rango de valoración que oscila entre 1 (cuando es posible realizarlo en la fase del proyecto) y 12 (cuando estas tareas no son posibles).

*RV*: reversibilidad. Indica la posibilidad de que el factor afectado pueda regresar a las condiciones iniciales por medios naturales. Su clasificación se asigna en función del tiempo que demande este proceso; puede ser a corto plazo (valor 1 = <1 año) o irreversible (imposibilidad de retomar por medios naturales a las condiciones naturales, o hacerlo en un periodo mayor de 10 años).

*PO*: probabilidad de ocurrencia. Describe el tiempo que acontece entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el medio. En

este caso la valoración va desde 1 (cuando el efecto demora más de 5 años en manifestarse) hasta 4 (cuando sucede en el término de 1 año). En caso que suceda algún evento crítico en el momento del impacto se añaden 4 unidades.

*TD*: tendencia. Se refiere al aumento paulatino de la manifestación del efecto cuando la acción que lo genera persiste de forma extendida o reiterada. Se le asigna un valor = 1 cuando el impacto es concreto y no induce nuevos efectos; o bien un valor = 2 cuando el efecto puede prolongarse en el tiempo y aumentar paulatinamente su peligro.

*TI*: tipo. Establece la relación causa/efecto. Se interpreta como la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción. Adquiere el valor = 1 cuando la manifestación es indirecta en relación a la acción; o bien, valor = 2 cuando el efecto repercute inmediatamente en algún componente ambiental.

Un mayor detalle, así como las valoraciones intermedias de estos componentes, pueden encontrarse en el trabajo de García, García y Agudelo (2014).

Una vez obtenido el IM (ecuación 1), la importancia de un impacto, ya sea de naturaleza negativa o positiva, se determina teniendo en cuenta los criterios de calificación que se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Valores para clasificación de impactos (negativos/positivos)

Impactos irrelevantes	Impactos con valores de importancia menor a -25 (<-25)
Impactos moderados	Impactos con valores de importancia entre -25 y menor a -50 (-25 y <-50)
Impactos severos	Impactos con valores de importancia entre -50 y -75
Impactos críticos	Impactos con valores de importancia mayor a -75 (>-75)

**Fuente:** elaboración propia.

## Resultados y discusión

La tabla 2 muestra los resultados de la evaluación de impacto ambiental para la cantera La Represa en fase de explotación.

### Componente atmosférico

El masivo tráfico vehicular en las ciudades y los desechos generados por las industrias, como la minería, son los principales responsables de la contaminación atmosférica. Esto se debe a que ambos factores desempeñan un rol esencial en la generación de partículas y participan de manera directa e indirecta en la formación de aerosoles secundarios (Zafra, Peña y Álvarez, 2013). Si bien la contaminación atmosférica es un fenómeno que se presenta a escala microscópica, en muchas ocasiones es posible su detección a simple vista. Según el estado físico de las sustancias que contaminan, estas pueden clasificarse en partículas sólidas o líquidas; o bien en gases y vapores (IGME, 1999).

En nuestro caso de estudio, es posible visualizar que el componente ambiental atmosférico tuvo un valor máximo de -19, y según la tabla 2, la importancia del pasivo es *irrelevante*. Este resultado podría atribuirse principalmente al tamaño pequeño de la explotación. La presencia en el aire de material particulado liberado durante las voladuras

es muy escaso, dado que estas se realizan exclusivamente para llevar a cabo la operación de recorte, las demás tareas extractivas son efectuadas mediante equipamiento en forma mecanizada (retroexcavadora y pala). La frecuencia de voladuras es discontinua, de todos modos, se estima que se realiza, como mucho, una vez por semana.

Otro factor que constituye el componente ambiental atmosférico es la afectación por ruidos. Estudios recientes señalan que hay una incidencia negativa en la salud de los operarios de empresas manufactureras que permanecen a diario cerca de las máquinas en las plantas de producción. Se estima que las personas expuestas a ruidos en niveles superiores a los 85 decibeles ponderados sufren pérdida de la audición (Romero, Acero y Jaimes, 2016).

En nuestro caso de estudio, la principal fuente de emisión de ruidos está ubicada justamente en el interior de la planta de corte. Si bien no se pudo establecer una medida cuantitativa de los mismos, se vio que los operarios están expuestos a elevados niveles de ruidos. No obstante, a escasos metros de la planta, estos se atenúan considerablemente y en principio no perturban a las poblaciones más cercanas. Por tal motivo, las acciones de mitigación y remediación no resultan prioritarias para este componente.

**Tabla 2.** Matriz de calificación cuantitativa de pasivos ambientales de la cantera La Represa en fase de explotación

		Cantera de piedra laja La Represa													
Componente ambiental	Elemento ambiental	Etapa			Explotación							IM	Clasificación		
		Criterios			NA	MG	EX	DR	RV	RC	PE	TD		TI	PO
		Factor Ambiental													
Atmosférico	Aire	Afectación por emisión de material particulado			(-)	1	1	1	1	8	1	1	1	19	Irrelevante
		Afectación por emisión de gases de combustión			(-)	1	1	1	1	8	1	1	1	19	Irrelevante
		Afectación por la generación de ruido			(-)	1	1	1	1	8	1	1	1	19	Irrelevante

Cantera de piedra laja La Represa															
Componente ambiental	Elemento ambiental	Etapa		Explotación								IM	Clasificación		
		Criterios		NA	MG	EX	DR	RV	RC	PE	TD	TI		PO	
		Factor Ambiental													
Físico	Suelo	Afectación por remoción de la capa orgánica		(-)	4	4	12	12	8	12	2	2	1	69	Severo
		Afectación por procesos erosivos		(-)	8	4	12	12	8	1	2	2	4	73	Severo
		Afectación por el cambio de drenaje superficial		(-)	4	2	4	4	8	1	1	2	2	38	Moderado
		Afectación por movimiento en masa		(-)	4	2	12	8	8	4	2	2	2	54	Severo
		Afectación por la generación de residuos		(-)	4	2	1	8	8	1	2	2	2	40	Moderado
	Agua	Variación de la dinámica fluvial		(-)	2	2	4	4	8	8	1	1	4	40	Moderado
		Variación en las características fisicoquímicas (calidad) o sedimentación		(-)	2	2	4	4	8	4	1	1	2	34	Moderado
	Paisaje	Variación de las geoformas iniciales		(-)	8	8	12	12	12	1	1	1	4	83	Crítico
		Cambio en la percepción paisajística por la presencia de elementos extraños		(-)	8	8	12	12	8	1	1	1	2	77	Crítico
	Biótico	Flora	Presencia de especies invasoras		(-)	2	1	1	4	8	8	1	1	4	35
Disminución o muerte de individuos			(-)	2	2	1	8	8	1	1	2	4	35	Moderado	
Remoción de la cobertura vegetal		(-)	4	4	8	8	8	8	1	2	4	59	Severo		
Fauna		Migración de especies		(-)	4	2	4	1	8	4	1	1	4	39	Moderado
		Disminución o muerte de individuos		(-)	2	1	1	4	8	1	1	2	4	29	Moderado
Socioeconómico	Económico	Generación de empleo		(+)	2	1	12	12	8	1	1	1	2	45	Moderado
		Aumento del ingreso familiar		(+)	4	4	12	12	8	4	1	2	1	60	Severo
	Social	Mejoramiento de la calidad de vida		(+)	8	8	12	8	8	1	1	2	4	76	Crítico
		Afectación de las vías públicas		(-)	1	1	1	1	8	1	1	2	4	23	Irrelevante
		Generación de expectativas		(+)	4	1	1	1	8	1	1	2	2	30	Moderado

Fuente: elaboración propia.

## Componente físico

### Elemento suelo

La minería es una industria que produce un impacto negativo en la calidad de los suelos (Ballesteros *et al.*, 2014). La degradación de este elemento puede causar la reducción de la función ecológica, debido a la alteración de ciertas características como el bajo contenido de materia orgánica,

compactación, insuficiente profundidad, disminución de la resistencia a la erosión, entre otros (Chaudhuri, McDonald, Skousen y Pena-Yewtukhiw, 2015; Tizado y Núñez-Pérez, 2016).

Los resultados obtenidos para este elemento muestran valores dominantes entre -50 y -75, lo que significa que los impactos son de importancia severa para la mayoría de los factores ambientales evaluados. La remoción de la capa superior del

suelo y el arranque de las rocas son una afectación directa de las labores realizadas en una explotación a cielo abierto. Sin embargo, en la mayoría de los casos se recurre a efectuar la preservación de la cubierta orgánica del suelo durante esta etapa del ciclo extractivo.

La erosión del suelo se evidencia notablemente en toda el área de estudio, fenómeno que podría atribuirse principalmente a dos factores: por un lado, a la alteración del relieve; y por otro, al despojo de la cubierta vegetal causado por la explotación de estos recursos. Por lo descrito anteriormente, resulta necesario prever medidas tendientes a mitigar y restaurar este componente físico.

#### *Elemento agua*

La explotación minera afecta de forma *moderada* a este recurso. En el proceso industrial, el agua se utiliza únicamente en las plantas para refrigerar el elemento cortante (disco). En estos lugares se realiza el acabado de las piedras para su comercialización. El agua se compra y se transporta hasta las plantas en camiones cisternas, luego de ser utilizada pasa por un sistema constituido por piletas de decantación que permite la separación sólido-líquido; esta operación se realiza sin el agregado de reactivos químicos. Las aguas de rebalse (tratadas) son nuevamente utilizadas en la planta y los sólidos decantados son removidos cada un cierto tiempo. Se estima que cerca del 90 % del agua es reutilizada en la planta y no se producen vertidos a cuerpos de aguas naturales.

El nivel piezométrico sufre alteraciones cuando se realizan operaciones extractivas en un lugar. Ante precipitaciones de intensidad inusual, las condiciones de inundación llegan a modificarse parcialmente, ya que las canteras actúan como receptores y amortiguadores locales (IGME, 1999). La acumulación de aguas (subterráneas) en los huecos producidos por la explotación ocurre frecuentemente; por lo que es necesario realizar maniobras (bombeo) tendientes a producir el desagote de estas, de los frentes de producción. En la

figura 3 puede observarse la acumulación de agua en la cantera La Represa, cuando el ciclo de producción es interrumpido.



**Figura 3.** Acumulación de agua en la cantera La Represa cuando ocurre la interrupción de la operación

**Fuente:** elaboración propia.

#### *Elemento paisaje*

La explotación de la cantera de piedra laja produce un efecto negativo en el paisaje de importancia crítica en el lugar. La explotación se realiza en bancos de 25-30 m; estas alturas son ligeramente superiores a los recomendados por algunos países (15 m) en pos de la restauración y tratamiento de los taludes finales (IGME, 1999). No obstante, no existen urbes en las cercanías que puedan apreciar en forma directa dicha modificación paisajística. Se estima que el área afectada por la explotación es cercana a los 0,7 km<sup>2</sup>. Las escombreras, constituidas por valores próximos a 1.200.000 t, ocupan volúmenes próximos a 600.000 m<sup>3</sup> (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte, 2014), se han situado al oeste de las canteras en puntos cercanos a la ruta provincial No. 39, lugar observable desde las proximidades del murallón del dique La Florida. En este punto, es imperioso mencionar que La Florida es una localidad turística que suele ser muy concurrida en épocas estivales por ofrecer

una amplia variedad de atractivos turísticos y recreativos. No obstante, la diferencia cromática observable entre el paisaje y las escombreras, desde dicho murallón, es relativamente poca; dado que las mismas se integran en cierta manera al entorno, debido a la escasez que existe en la cubierta vegetal del lugar. En general, las observaciones realizadas en este estudio son similares a las que habitualmente se describen para explotaciones a cielo abierto; donde las alteraciones más notables son aquellas producidas por los cambios en la fisonomía de la zona, generados por los huecos propios de la explotación y escombreras asociadas (IGME, 1999).

### Componente biótico

#### Elemento flora

Este elemento de acuerdo a su IM es considerado una afectación severa. Un informe realizado por el Gobierno Provincial en 2014, da cuenta que en la zona que rodea al dique La Florida, se encuentran predominantemente pastizales y bosques serranos. La vegetación de la zona varía en función de la altitud, exposición y humedad disponible. En general se puede decir que en las quebradas la vegetación está compuesta, en el estrato superior, por especies arbóreas y arbustivas y en el estrato inferior por gramíneas y latifoliadas, situación común sobre los 850 m hasta los 1.300 m en las Sierras Centrales de San Luis (Ministerio de Medioambiente, 2014). Las tareas extractivas que se realizan han ocasionado la pérdida de gran parte de la flora autóctona en el área de trabajo, como se observa en la figura 2. Este aspecto deberá ser tenido en cuenta a futuro para llevar a cabo las tareas de restauración pertinentes.

#### Elemento fauna

La fauna del lugar probablemente emigró de la zona de las canteras por las tareas extractivas realizadas; en consecuencia, la afectación de este elemento es moderado. Según un informe realizado por el Gobierno de la Provincia de San Luis en

2014, los principales mamíferos en la zona son: laucha de campo (*Calomys laucha*), zorrino (*Conepatus chinga*), vizcacha (*Lagostomus maximus*), pichiciego (*Chlamiphorus truncatus*), iguana (*Tupinambis sp.*), iguanas (*lagarto colorado* y *overo*), mara (*Dolichotis patagonum*), cuis chico (*Microcavia australis*). Estudios realizados en la misma zona demuestran además la presencia de tuco-tuco (*Ctenomys validus*), cuis (*Microcavia australis* o *Galea musteloides*), hurón menor (*Galactis cuja*), gato del pajonal (*Lynchailurus pajeros*) e indicios de presencia de jabalí (*Sus scrofa*), especialmente en las laderas inferiores de las Sierras. Otras especies también detectadas son: ciervo colorado (*Cervus elafus*), perdices, liebre europea (*Lepus cãpense*), armadillos y murciélagos (diferentes especies). En esta zona se han identificado mamíferos correspondientes a especies nativas y exóticas. Entre los reptiles se mencionan lagartijas de los géneros *Liolaemus*, *Homonota* y *Phymaturus*, matuastos (*Diplolaemus*, *Leiosaurus* y *Pristidactylus*), iguana colorada (*Tupinambis rufescens*). Los ofidios se hacen presentes con la boa de las vizcacheras *Boa constrictor occidentali*, los colúbridos de los géneros *Pseudoboa*, *Philodryas* y *Pseudotomodon* y las víboras (Ministerio de Medioambiente, 2014).

### Componente socioeconómico

Las principales actividades socioeconómicas de la zona son: ganadería, agricultura y minería, aunque en los últimos años la actividad turística desempeña un papel económico emergente en la región. Como parte de la ganadería, se desarrolla cría de bovinos, caprinos y porcinos y, en menor medida, equinos. Respecto a los cultivos se producen maíz, soja, alfalfa y sorgo, entre otros. A su vez la actividad minera se lleva a cabo principalmente en torno a los minerales de laja y mármol (Ministerio de Medioambiente, 2014).

No obstante, los 83 habitantes de la localidad de Riocito (Indec, 2010) viven casi exclusivamente de los réditos que la actividad minera; y en especial la extracción de piedra laja, les deja. De este

modo, el impacto generado en el progreso socioeconómico de sus habitantes resulta positivo como crítico para este lugar.

## Conclusiones

La información relevada en la zona de las canteras de piedra laja en la localidad de Riocito permitió concluir que los componentes ambientales con afectación crítica son el físico y el socioeconómico.

El elemento paisaje tuvo esta valoración debido a la modificación paisajística causada por la presencia de elementos extraños y la variación de las geoformas naturales del lugar. Cuando finalice la operación deberán realizarse trabajos tendientes a restaurar este componente ambiental. Sin embargo, es recomendable tomar medidas durante la operación, que puedan amortiguar dicha afectación. Una de ellas podría ser disminuir la altura de los bancos de explotación actuales (en algunos casos superan los 20 m), esto facilitará el trabajo posterior de la atenuación de taludes.

En el presente trabajo se evidenció que la actividad minera en la zona tiene una afectación crítica positiva, dado que es una fuente económica primordial para el progreso socioeconómico de los habitantes de Riocito.

Los elementos ambientales suelo y flora tuvieron una afectación negativa severa. Al finalizar la explotación, el suelo primero deberá reacondicionarse para luego propiciar la revegetación del lugar. Entre las principales tareas se debería contemplar: realizar la integración de la morfología del terreno con el paisaje circundante, conseguir un buen drenaje, reducir o eliminar la alcalinidad o acidez de los suelos y descompactar el terreno para permitir el correcto enraizamiento de las especies vegetales. En cuanto a la flora, antes de realizar la revegetación del lugar será necesario establecer el futuro uso, o usos, que se les dará a estos terrenos. En general se seleccionan especies que puedan insertarse y subsistir según las condiciones propias del lugar.

Todas las tareas propuestas para el poscierre de la cantera deberán ser examinadas no solo desde un enfoque técnico sino también económico. Los elementos ambientales que posean afectaciones negativas críticas al finalizar las tareas extractivas deben considerarse prioritarias cuando se implementen los trabajos de remediación del lugar.

## Financiamiento

El trabajo presentado se enmarca en el proyecto de investigación "Análisis medioambiental de operaciones mineras" (PROIPO 32416) de la Universidad Nacional de San Luis, Argentina.

## Referencias

- Ballesteros, M., Cañadas, E.M., Foronda, A., Peñas, J., Valle, F. y Lorite, J. (2014). Central role of bedding materials for gypsum-quarry restoration: An experimental planting of gypsophile species. *Ecological Engineering*, 70, 470-476.
- Careddu, N. y Siotto, G. (2011). Promoting ecological sustainable planning for natural stone quarrying. The case of the Orosei Marble Producing Area in Eastern Sardinia. *Resources Policy*, 36(4), 304-314.
- Chaudhuri, S., McDonald, L. M., Skousen, J. y Penayewtukhiw, E.M. (2015). Soil organic carbon molecular properties: effects of time since reclamation in a mine soil chronosequence. *Land Degradation & Development*, 26(3), 237-248.
- Dolcemascolo, M. (2016). *Estudio de pasivos ambientales en la provincia de San Luis para la generación de hormigones*. (Tesis de grado). Carrera Ingeniería en Minas, Universidad Nacional de San Luis. San Luis, Argentina.
- García U., C.A., García V., M.C., y Agudelo R., C.F. (2014). Evaluación y diagnóstico de pasivos ambientales mineros en la Cantera Villa Gloria en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá DC. *Tecnura*, 18(42), 90-102.
- Gómez, D. (1999). *Evaluación del impacto ambiental*. Barcelona, España: Editorial Aedos.

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina (Indec) (2010). *Base de datos REDATAM, cuestionario básico*. Recuperado de <https://redatam.indec.gob.ar/argbin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV-2010B&MAIN=WebServerMain.inl>
- Instituto Tecnológico Geominero de España (IGME) (1999). *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. Vol. 2. Madrid: Ministerio de Industria y Energía.
- Ley 24.585. Código de Minería de la República Argentina, Leyes Complementarias (1996). 6a. ed. Buenos Aires, Argentina.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2016). *Informe del estado del ambiente*. Recuperado de [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mayds\\_informe\\_estado\\_ambiente\\_2016\\_baja\\_1\\_0.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mayds_informe_estado_ambiente_2016_baja_1_0.pdf)
- Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Transporte (2014). *Plan Maestro de Minería 2014/2020*. *Tratado de paz entre progreso y medio ambiente*. San Luis, Argentina: Gobierno de la Provincia de San Luis.
- Ministerio de Medioambiente (2014). *Informe de manejo ambiental del Perilago La Florida*. San Luis, Argentina: Gobierno de la Provincia de San Luis.
- Romero D., G.A., Acero C., J. y Jaimes B, M. (2016). Generación de mapas de ruido (industrial) desde sistemas de información geográfica. Un acercamiento desde la literatura. *Tecnura*, 20(49), 152-166.
- Tizado, E.J. y Núñez-Pérez, E. (2016). Terrestrial arthropods in the initial restoration stages of anthracite coal mine spoil heaps in northwestern Spain: potential usefulness of higher taxa as restoration indicators. *Land Degradation & Development*, 27(4), 1131-1140.
- Zafra M., C.A., Peña V., N.A. y Álvarez P., S. (2013). Contaminación por metales pesados en los sedimentos acumulados sobre el corredor vial Bogotá – Soacha. *Tecnura*, 17(37), 99-108.





## Diagnóstico de los efectos generados por el tráfico de largo destino en la malla vial del municipio de Cachipay, Cundinamarca

### Diagnosis of the effects generated by long-distance traffic in the road network of the municipality of Cachipay, Cundinamarca

Espinel Duarte Luis Eduardo<sup>1</sup>, Ladino Chaves Oswaldo<sup>2</sup>, Iguarán Salinas Lauren Diane<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 22 de noviembre de 2017

**Fecha de aceptación:** 9 de marzo de 2018

**Cómo citar:** Espinel D., L.E., Ladino C., O. e Iguarán S., L.D. (2018). Diagnóstico de los efectos generados por el tráfico de largo destino en la malla vial del municipio de Cachipay. *Revista Tecnura*, 22(56), 62-75. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.13761>

#### Resumen

**Contexto:** Este estudio presenta la débil infraestructura que existe en las carreteras de largo destino. Se muestra, como estudio de caso, el municipio de Cachipay el cual no escapa a una serie de inconvenientes en materia de movilidad debido a las fallas de la malla vial.

**Método:** La investigación se desarrolló en la línea de investigación de la modelación y simulación de problemas; con el planteamiento de un estudio de caso mediante el análisis e inventario de daños, por medio de dos alternativas, escogiendo la más apropiada.

**Resultados:** La búsqueda de soluciones a los problemas de movilidad en el municipio de Cachipay ha generado un incremento de circulación vehicular por las calles del municipio, que oscila entre un 67 % a un 46 %, según los conteos de tráfico registrados en los días entre semana contra días festivos.

**Conclusiones:** Cachipay, por ser un municipio cercano a la capital, debe contar con propuestas que

contribuyan a solucionar el deterioro de las calles y vías alternas, y a fortalecer el parque automotor del municipio.

**Palabras clave:** Cachipay, inventario de daños, malla vial, movilidad vehicular, tráfico de largo alcance.

#### Abstract:

**Context:** This study presents the weak infrastructure that exists on long-haul roads. The municipality of Cachipay, Cundinamarca, is taken as a case study, which does not escape a series of mobility inconveniences due to the failures of the road network.

**Method:** The research was developed in the line of investigation of modeling and simulation of problems, with the approach of a case study through inventory and damage analysis, developing two alternatives, and choosing the most appropriate one.

**Results:** The search for solutions to mobility problems in the municipality of Cachipay has generated an increase in vehicular traffic through the streets of the municipality, ranging from 67% to 46%, according

1 Ingeniero Civil, especialista en Diseño y Construcción de Vías y Aeropistas, candidato a magíster en Infraestructura Vial. Director de obra Latínco S.A. Bogotá, Colombia. Contacto: [ingeniero1espinel@hotmail.com](mailto:ingeniero1espinel@hotmail.com)

2 Ingeniero Civil, especialista en Diseño y Construcción de Vías y Aeropistas, especialista en Gerencia de Proyectos, candidato a magíster en Infraestructura Vial, director de Proyectos en Silva Carreño y Asociados S.A.S. Bogotá, Colombia. Contacto: [oslacha@gmail.com](mailto:oslacha@gmail.com)

3 Directora del proyecto, ingeniera Civil, magíster en Ingeniería Civil, MBA. Líder del equipo de Supervisión Agencia Nacional de Infraestructura. Bogotá, Colombia. Contacto: [lauren\\_iguaran@hotmail.com](mailto:lauren_iguaran@hotmail.com)

to traffic counts recorded on weekdays against the holidays.

**Conclusions:** Because it is a municipality near the capital, Cachipay ought to have proposals that contribute

to solve the deterioration of the streets and alternate roads, and to strengthen the municipal vehicle fleet.

**Keywords:** Cachipay, damage inventory, road network, vehicular mobility, Long-range traffic.

## Introducción

El Estado colombiano, con el fin de agilizar la movilidad, ha implementado planes retorno en todo el territorio Nacional, que inicialmente solo eran para los puentes festivos, pero se han extendido para fines de semana normales. Por otra parte, se han convertido, de alguna manera, en rutas permanentes y agradables para los turistas, gracias a los atractivos que ofrecen las regiones: flores, frutas, artesanías, gastronomía, clima, etc. En ese sentido, se ha incrementado el paso de vehículos de largo destino por pequeños municipios que no cuentan con una infraestructura vial diseñada e implementada en sus planes de ordenamiento territorial (POT) que permita soportar un elevado número de repeticiones de carga.

Uno de estos planes retorno es el par vial que implementa el Ministerio de Obras Públicas y Transporte, entre el municipio de La Mesa (Cundinamarca) y Bogotá D.C., cuyo flujo vehicular, en el sentido Bogotá-La Mesa, es desviado por las poblaciones de Bogotá-Mosquera-Madrid-Cartagenita (Facatativá)-Zipacón-Cachipay-La Gran Vía-Tena.

Al respecto, es importante establecer que la problemática radica en la infraestructura vial de Cachipay, la cual se desarrolló en torno a tres ejes viales significativos: vía Bogotá-La Mesa, vía Bojacá-Peña Negra y la vía Férrea Bogotá-Girardot, que hacen de su distribución e implantación urbana algo muy orgánico, y causan algunos obstáculos en la circulación y movilidad vial.

Muchos problemas de movilidad intermunicipal se presentan porque no existen horarios estrictamente establecidos en las empresas de transporte; no se tienen espacios adecuados ni suficientes para el peatón, no existe el control de velocidad tanto en

el sector rural como en el urbano, hay un déficit en el sistema de señalización y movilidad del tránsito vehicular y peatonal, existe un gran desorden en el sistema de bahías de parqueo en el casco urbano e infracciones de tránsito. (Concejo Municipal, 2008)

Adicionalmente, Cachipay presenta grandes problemas de movilización por la falta de mantenimiento y terminación de vías, como es el caso de los 7 km existentes para llegar a la inspección de Peña Negra, y muchas otras que se conectan con las regiones vecinas y que a su vez permiten el intercambio de productos de una a otra región del municipio.

En total el municipio cuenta con sesenta y cuatro (64) km de vía terciaria sin pavimentar, dieciséis y medio (16,5) km de vía terciaria pavimentada y aproximadamente cuatro (4) km de vías urbanas de las cuales un 80 % de las mismas se encuentran en mal estado. (Concejo Municipal, 2008)

Dentro de este contexto, la implementación de los planes de retorno para agilizar la movilidad de los corredores viales nacionales ha ocasionado la desviación de un alto volumen de tráfico vehicular compuesto por todo tipo de vehículos livianos, buses, camiones y tractomulas. Esto, a su vez, ha generado un alto grado de deterioro en las vías internas de los municipios, incrementos en los índices de accidentalidad, afectaciones en la movilidad, incremento en los niveles de ruido y polución, afectaciones a la comodidad, a la economía y el confort de los locales y de los turistas en los municipios.

El municipio de Cachipay no es ajeno a esta problemática por el paso del tráfico de largo destino, generado por la implementación de una ruta vehicular sentido Bogotá-Cachipay. Así, las vías internas del municipio presentan una serie de daños como:

- Fisuras: longitudinales y transversales en juntas de construcción, por reflexión de juntas o grietas en placas de concreto, en medialuna, de borde, en bloque, piel de cocodrilo, por deslizamiento de capas y fisuración incipiente.
- Deformaciones: ondulaciones, abultamientos, hundimientos y ahuellamiento.
- Pérdida de las capas de la estructura: descascaramientos, baches y parches.
- Daños superficiales: desgastes superficiales, pérdida de agregado, exudación y surcos.
- Otros: afloramiento de finos y afloramiento de agua.

Todos estos daños afectan la movilidad vehicular en el municipio. Adicionalmente, se presenta afectación las zonas de circulación peatonal; razón por la cual, tal deterioro exige una pronta solución acorde con lo propuesto por el gobierno, en la utilización de las vías de Cachipay que en un comienzo se habilitaron para el plan retorno, pero que en la actualidad son paso obligado de los vehículos que van hacia los municipios aledaños, departamentos o la capital.

En ese sentido, la eficiencia de los medios de transporte define en gran medida la competitividad de una región, “la cual se traduce en una mayor circulación de bienes y servicios y a su vez en un menor costo de fletes y demás factores relacionados directa e indirectamente sobre el valor y disponibilidad de los productos ofrecidos y demandados” (Gobernación de Cundinamarca, 2009, p. 88).

En este contexto, “una región que posee modos de transporte eficientes tendrá en el actual mercado global una mayor ventaja competitiva” (Gobernación de Cundinamarca, 2009, p. 89). Pues, dentro de la descripción de la red vial del departamento

de Cundinamarca, al que pertenece el municipio de Cachipay, se encuentra que este forma parte de la *red vial secundaria* que tiene una longitud total de

[...] 4997 kilómetros, de los cuales 1670 kilómetros están en pavimento y 3297 kilómetros están en material de afirmado y 30 kilómetros están en tierra. Del total de la red secundaria se puede analizar que el 33,4 % se encuentra en pavimento y el 66,0 % en afirmado. (Gobernación de Cundinamarca, 2009, p. 94)

Como se puede observar, el mayor porcentaje de kilómetros de la red vial departamental es el afirmado, situación que afecta la integración, conectividad, productividad y agroturismo en aquellas provincias donde se concentran dichos tramos viales, a los cuales esporádicamente se les realiza mantenimiento rutinario, sobre todo en épocas de verano, originando incomunicación entre los municipios del departamento y de estos con las arterias principales.

La red secundaria favorece el desarrollo económico en aquellos municipios donde no se tiene acceso directo a las carreteras principales, pero que generan un gran porcentaje de la producción agrícola del departamento, tal es el caso de los municipios ubicados en las provincias especialmente de Sumapaz, Medina y Rionegro. (Gobernación de Cundinamarca, 2009, p. 88).

De modo que, dentro de la descripción de la red vial secundaria a cargo del departamento de Cundinamarca, la situación del municipio de Cachipay se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1.** Red vial secundaria – Cundinamarca / Cachipay

Código de la vía	Tramo desde/hasta	Pavimentado	Afirmado	Tierra	Longitud total
47CN11	La Gran Vía-Cachipay-Petaluma-Anolaima-Corralejas	35	0	0	35
47CN11-3-1	Cachipay-Peña Negra-Anolaima	2	17	0	19
	Cachipay-Calandaima-Anolaima	3	2	0	5
TOTAL		40	19	0	59

**Fuente:** Gobernación de Cundinamarca (2009, p. 88).

A cargo del Instituto Nacional de Vías (Invías) no hay en la actualidad ninguna vía de Cachipay. Así, de lo expuesto se deduce que las vías a cargo del departamento se encuentran en buen estado; sin embargo, se debe tener en cuenta que estas no están pavimentadas, aspecto fundamental para desarrollo del proyecto que antecede el presente artículo; pues independientemente que estén o no en buen estado, las vías deben estar todas pavimentadas, máximo si se tiene en cuenta que se han convertido en vías de alto flujo vehicular. De otra parte, resulta trascendental hacer alusión a los 67 kilómetros sin pavimentar a cargo del municipio, los cuales se encuentran en regular y mal estado, lo que significa que se hace indispensable una propuesta conducente a solucionar esta situación, que puede partir de una iniciativa que integre a Invías.

Para lo anterior, se debe considerar que la movilidad ha generado un espacio de disertaciones académicas que buscan comprender lo que significa el desplazamiento de las personas, con ocasión de sus diferentes actividades dentro y fuera de la ciudad. De este modo, la movilidad se ve reflejada en el consumo de espacio ocasionado por las personas y toda clase de vehículo –automóviles, buses, motos, camiones, ciclas, entre otros–, hecho que genera una serie de problemáticas sociales, económicas y ambientales relacionadas con el desplazamiento de sus habitantes.

Por consiguiente, el uso de diversas formas de transporte “está frecuentemente influenciado por el nivel de ingreso. Personas con bajos ingresos desempeñan mucho más el papel de peatones, ciclistas y usuarios de transporte público; personas con ingresos más altos suelen desempeñarse como motoristas o pasajeros de automóviles” (Alcántara, 2010, p. 36). Así, la circulación de personas tiene diversas consecuencias para quienes habitan un mismo ambiente, entre ellas: el consumo de recursos y los impactos ambientales.

El primero integra el consumo de distintos bienes inmateriales y materiales. El inmaterial hace referencia “al tiempo de desplazamiento, ya que este es un recurso escaso para todos. Disminuir

el consumo de tiempo al mínimo posible siempre es el objetivo final para que quienes se desplazan puedan usarlo también en la realización de otras actividades” (Alcántara, 2010, p. 51). El consumo material se orienta al espacio que requiere la construcción de “aceras, autopistas, terminales de autobuses, estaciones de trenes y ferrocarriles metropolitanos, a los que se suman las personas, la energía y los recursos financieros” (p. 51).

Como se observa, el factor inmaterial resulta determinante en la movilidad, debido a que, de este depende *el tiempo* que las personas necesitan para desplazarse de un lado a otro, el cual se ve afectado por el número de personas y por cómo está construida la ciudad, de cuya construcción emergen anomalías que repercuten en los tiempos de desplazamiento. Este hecho, día tras día, es más complejo, debido al número de habitantes que tiene Colombia.

En cuanto a *los impactos ambientales*, estos se clasifican en el uso de los recursos escasos o raros,

[...] como el hierro, el látex y el plástico utilizados para construir vehículos, y los minerales, piedras y asfalto, para pavimentar caminos. Lo desechos de materiales como automóviles viejos, aceites lubricantes, neumáticos y los relacionados a las externalidades que hacen referencia a los accidentes por el tráfico vehicular, la contaminación del aire, el ruido y la congestión. (Alcántara, 2010, p. 52).

Un derrotero de la movilidad lo constituyen los impactos ambientales, que con el pasar del tiempo se han multiplicado; y que también, por ser una constante en la vida de los seres humanos, requieren de una especial atención. En este sentido, los retos y apuestas para la región Centro Oriente al 2018 es “descongestionar y articular la red primaria de transporte y desconcentrar centros logísticos, que potencien la productividad y la infraestructura estratégica” (Gaviria, 2016, p. 13), teniendo en cuenta que de los recursos del plan plurianual de inversiones 2015-2108 sobresale el sector del transporte. De ese modo,

[...] un pilar para construir ventajas competitivas y aprovechar las ventajas comparativas de Cundinamarca está en la infraestructura y los sistemas de transporte y movilidad. En este escenario, el departamento cuenta con aproximadamente 21.164 km de carreteras de los cuales 890 corresponden a la red nacional o primaria, 6.881 a la red secundaria y 11.758 de la red terciaria. (Rey, 2016, p. 133)

Además, hay que considerar que uno de los problemas que más afecta a la competitividad del departamento es su elevado porcentaje de vías, que se encuentran en regular o mal estado. Del total de la red vial departamental, solo 13 % se encuentra "pavimentado y el 87 % en afirmado. De la malla vial, el 40 % se encuentra en mal estado, el 30 % presenta un regular estado y el 30 % restante está en buen estado, principalmente en las vías de la sabana de Bogotá" (Rey, 2016, p. 136). Por tanto, la actual malla vial es insuficiente para atender la demanda de carga y pasajeros que deben movilizarse por el territorio cundinamarqués.

La infraestructura vial es de vital importancia en el desarrollo y crecimiento de un país, mueve la economía y vincula las regiones aisladas.

[...] [Además,] la infraestructura vial de cualquier país del mundo es diseñada para incorporar todo el territorio a la economía nacional, trenes, carreteras y aeropuertos, tienen este fin y cumplen un papel fundamental, en el desarrollo y crecimiento económico de los países. (Zamora, 2012, p. 16)

Cabe anotar que en la actualidad la inversión por parte del Estado colombiano en la mejora de la infraestructura vial

[...] es un tema de gran importancia para la economía y la sociedad en general; por lo tanto, Colombia presenta un rezago significativo en lo referente al desarrollo de las vías terrestres nacionales, cuyo progreso a lo largo de la historia se ha dado a través de cuatro generaciones diferentes, cada una con

sus características propias, errores y aciertos que se han tratado de perfeccionar con el pasar de los años. (Rojas, 2016, p. 3)

Por otra parte, el país se encuentra en las vías de cuarta generación las cuales forman parte

[...] de un programa de infraestructura vial establecido en Colombia desde el año 2013, que surge a partir de la asociación entre el sector público y el sector privado, creando agrupaciones contractuales denominadas concesiones, para vincular recursos privados y cuyo objetivo proyecta la construcción, innovación y ampliación de la malla vial del país. (Rojas, 2016, 2016, p. 5)

En cuanto a la malla vial en los municipios,

[...] se utiliza una regla diferente para estimar la brecha, esta depende del tamaño poblacional del municipio. Se busca que las ciudades de más de un millón de habitantes alcancen la proporción de kilómetros de vías principales y troncales del total de kilómetros de la malla vial de Bogotá, que tiene el mayor valor del indicador. (Yepes, Martínez y Aguiar, 2014, p. 11)

Existe una clara necesidad de concretar los planes y acciones en aras de priorizar, de la malla vial, la inmediatez de los requerimientos que exigen la adecuación de las vías, sin importar si son de orden nacional, departamental o municipal.

## Materiales y métodos

La línea de investigación fue la de modelación y simulación de problemas complejos y minería de datos en ingeniería civil. El campo de acción fueron los problemas de movilidad en el municipio de Cachipay y la tipología fue un *estudio de caso*, que se realizó mediante el análisis e inventario de daños, el planteamiento de mínimo dos alternativas, la selección de la mejor, y el estudio a nivel de fase II de la seleccionada.

La metodología desarrollada en este trabajo se compone de seis fases:

**1. Fase 1.** Caracterización del contexto de la situación de la malla vial del municipio de Cachipay en Cundinamarca.

**2. Fase 2.** Planificación. Se adelantó la programación y se establecieron los recursos directos e indirectos que deparaba el proyecto, en cada una de sus actividades.

**3. Fase 3.** Adquisición de información primaria y secundaria.

**a.** De la información primaria. Corresponde a toda aquella información que se requiere levantar o generar de actividades directas en campo:

- Estudio de tráfico. Se establecieron las estaciones de conteo de tráfico; se realizaron los aforos de tráfico vehicular según la normatividad vigente; se establecieron los porcentajes de crecimiento de tráfico para los diferentes tipos de vehículos.
- Se estableció el volumen de tráfico promedio diario anual (TPDA) para el periodo de diseño a 20 años.
- Estudio topográfico. Se realizó con la utilización de equipos de última tecnología que facilitan y agilizan los procesos de modelaciones topográficas, las actividades que requirieron estos trabajos fueron: vuelo fotogramétrico para el mosaico del área de influencia del proyecto; levantamiento topográfico –por sistema convencional, lo que permitió determinar las condiciones topográficas de los corredores existentes, de tal forma se pudo establecer el modelo digital (superficie del terreno tridimensionalmente)–, y la generación de curvas de nivel de la solución escogida.
- Estudio de geotecnia. Requirió de la investigación del subsuelo mediante apiques en zonas del proyecto, y de los ensayos de laboratorio que permitieron determinar la capacidad de soporte del suelo.
- Inventario de afectaciones a la malla vial del municipio. Involucró el levantamiento de los diferentes tipos de fisuras, deformaciones, pérdida de las capas de la estructura, daños superficiales y otros daños; se determinaron los espesores de las estructuras de pavimentos existentes; se demostró

que las vías existentes no estaban diseñadas para el tráfico inesperado de los planes de retorno.

**b.** De la fuente secundaria. Esta etapa permitió la consulta de información secundaria de la que disponía el municipio de Cachipay, la Gobernación de Cundinamarca, Planeación Nacional, Ministerio de Transporte y todas las entidades oficiales al momento de desarrollar la investigación y las demás que dispongan de información de la normatividad y de estadísticas que puedan relacionarse con este proyecto.

Adicionalmente, se realizó la consecución de información secundaria como cartografía, certificaciones de placas georreferenciadas y de puntos de elevación (NP) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), cartografía existente en el municipio de acuerdo con el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), levantamientos topográficos existentes del municipio, GPS materializados y posicionados, información de volúmenes de tráfico, etc.

**4. Fase 4.** Procesamiento y análisis de la información primaria. Dentro de las actividades relevantes de esta etapa se pueden mencionar el planteamiento de mínimo dos alternativas de solución para el municipio de Cachipay, a partir de la información secundaria y primaria establecida; realización de la evaluación y selección de la mejor alternativa para el proyecto, a partir, de la matriz de evaluación.

**5. Fase 5.** Propuesta de solución. Las alternativas de solución ofrecidas por los investigadores son dos, de las cuales se desarrolló la óptima para la solución del problema:

**a.** *Diseños de pavimentos:* se diseñó la estructura de pavimento en concreto flexible y en concreto rígido; se hizo la evaluación económica de cada tipo de estructura con precios de referencia o de mercado, y se planteó una recomendación para la estructura apropiada para el proyecto.

**b.** *Diseños geométricos definitivos fase II:* se adelantaron los estudios y diseños geométricos definitivos fase II de la solución escogida, lo cual se trazó mediante la utilización del *software* de *AutoCAD Civil 3D 2014*.

**6. Fase 6.** Documento y socialización.

## Resultados

El desarrollo de las actividades definidas en la metodología permite diagnosticar los efectos generados en la malla vial del municipio de Cachipay, por el tráfico de largo destino generado por los planes retornos impuestos por el Estado. De ese modo, en lo relacionado al estudio de tráfico, los efectos a la malla vial del casco urbano en el municipio de Cachipay, es indispensable desarrollar uno de los alcances del trabajo consistente en la determinación de los volúmenes de tráfico actuales en la zona del proyecto. Por lo anterior, para los conteos de estos se dispuso de cinco cámaras con las que se adelantaron los registros fílmicos durante un periodo de siete días, según la normatividad, y se realizaron los conteos de tráfico, mediante los registros de los tipos de vehículos que circularon durante dicho periodo.

El objetivo general del estudio de tránsito es el realizar los prediseños de las estructuras de pavimento de las vías urbanas, en función de las demandas de tránsito, de manera que garantice el mejoramiento de los niveles de servicio y facilite la

movilidad de los usuarios. La información que se recopiló en campo permitió diagnosticar las condiciones actuales de movilidad del municipio, las proyecciones de tránsito y el cálculo de número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas, con las metodologías y factores establecidos por Invías.

Conforme a la información recogida, la distribución vehicular porcentual de los vehículos que transitaron en la semana es la que se observa en la tabla 2. Los vehículos de mayor tránsito registraron el 79,7 %, seguido por los buses y busetas con 10,2 %, y camiones, con el restante 10,1 %. Entre los camiones, se identificó que el 5,91 % corresponden a C2-P, seguidos por los C2-G con el 3,97 %, se evidenció muy bajo volumen vehicular de los C3 con el 0,02 %, C4 con 0,01 %, C5 con 0,02 %. No se evidencia el paso de vehículos de más de cinco ejes.

La tasa de crecimiento establecida para el municipio de Cachipay es del orden del 3 %. Por lo anterior, en la tabla 3 se registran en resumen el TPD proyectado desde el año base, a los 10 y 20 años.

**Tabla 2.** Volumen vehicular por día de la semana

Día	Autos	Busetas-Buses	Camiones	Total
Lunes	1139	160	160	1459
Martes	1154	181	187	1522
Miércoles	1074	178	195	1447
Jueves	1182	158	157	1497
Viernes	1368	150	154	1672
Sábado	1646	185	190	2021
Domingo	2044	219	180	2443
TOTAL	9607	1231	1223	12061

**Fuente:** elaboración propia .

**Tabla 3.** TPD Proyectados de Cachipay

Periodo	Año	Livianos	Buses	C 2P	C 2G	C 3	C 4	C 5	>C 5	TOTAL
Año base	2016	1 372	176	102	68	4	0,14	0,43	0	1 723
10 años	2026	1 844	236	137	92	5	0	1	0	2 316
20 años	2036	2 479	318	184	124	7	0	1	0	3,112

**Fuente:** elaboración propia.

Teniendo el estudio de tránsito, se realizó el diseño para la estructura de pavimento flexible con la metodología AASHTO 1993 y su verificación por el método racional. Los resultados de los diseños de estructura del pavimento flexible para el tráfico actual y para los periodos de diseño de 10 y 20 años se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4.** Resumen estructuras de pavimento flexible

N <sub>80KN de diseño</sub>	Estructura			
	CA	BG	SBG	Mejoramiento
Periodo de diseño	Cm	cm	cm	cm
Actual	5	15	30	30
10 años	15	15	30	30
20 años	20	15	30	30

**Fuente:** elaboración propia.

Se desarrolló la alternativa de diseño en pavimento rígido, por medio del método de la Portland Cement Association (PCA). Los resultados de los diseños de estructura del pavimento rígido para el tráfico actual y para un periodo de diseño de 20 años se presentan en la tabla 5.

Entre las actividades realizadas, se establecieron los espesores de las estructuras de los pavimentos flexibles y rígidos existentes, mediante apiques en algunas calles del municipio de Cachipay, estableciendo los espesores y características de los materiales que conforman cada estructura

**Tabla 5.** Resumen estructuras de pavimento rígido

Periodo de diseño	Estructura		
	CH	SBG	Mejoramiento
	cm	cm	cm
Actual	20	30	30
20 años	21	22.5	30

**Fuente:** elaboración propia.

y la calidad del suelo de la subrasante. Luego, se elaboró un cuadro comparativo entre estos resultados y las estructuras diseñadas para el tráfico y las condiciones de suelos actuales, cuyos resultados permitieron determinar que las estructuras de pavimento existentes no estaban diseñadas o construidas para el tráfico actual, de acuerdo con los ejes equivalentes establecidos en el estudio de pavimentos mediante la información de los conteos de tráfico realizados para el proyecto. A partir del esquema vial del municipio se establecieron desde un diagnóstico inicial una serie de alternativas probables que solucionarían el problema de movilidad que actualmente presenta el municipio de Cachipay, desde dos criterios: manteniendo el paso actual y proyectando una solución que se realizara por vías existentes que implicaran una menor intervención predial, con el fin de lograr una solución inmediata a corto plazo.

Por lo anterior, inicialmente se plantearon cuatro alternativas posibles de solución, pero desde

**Tabla 6.** Características de las alternativas elegidas para el paso del tráfico de largo destino por el municipio

Criterio	Alternativa	Descripción
Mantener el tráfico pesado y de largo destino por la vía actualmente aprobada, paso por el centro del casco urbano	Primera alternativa (trazado color negro)	Vía actual que cruza el municipio de Cachipay de norte a sur por la carrera 3, sector desde El Progreso hasta Puerto López. Longitud 2,20 km.
Proyectar una alternativa para el tráfico pesado y de largo destino que no cruce por el centro del casco urbano del municipio de Cachipay	Segunda alternativa (trazado color rojo)	Esta alternativa transcurre por el costado oriental del municipio de Cachipay, desde el sitio El Progreso hasta el sitio Puerto López, con una longitud de 1,74 km.

**Fuente:** elaboración propia.

el análisis de los criterios básicos indicados, finalmente se eligieron dos: la primera, manteniendo el paso actual por el centro del municipio, y la segunda, por el costado oriental del casco urbano.

Posteriormente, se realizaron los diseños geométricos de las dos alternativas seleccionadas, a partir de los criterios y recomendaciones del Instituto Nacional de Vías en el *Manual de diseño geométrico de carreteras* (2008); las condiciones actuales de la malla vial del municipio y los parámetros definidos en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio, todos como elementos primordiales para los trazados realizados. Los diseños geométricos sobre planta y perfil se integraron mediante el diagrama de peraltes en las secciones transversales, en las cuales se aplicaron los espesores del diseño de pavimento flexible diseñado para el proyecto. El perfil vial utilizado en los diseños geométricos para cada alternativa elegida está acorde con lo establecido en dicho EOT.

Una vez elaborados los diseños geométricos, y a partir de la información suministrada en el municipio, se hizo una evaluación comparativa a través de una metodología multicriterio, por medio de la cual se escogieron cuatro alternativas para la solución de la movilidad en el municipio de Cachipay, siguiendo los lineamientos de los criterios de evaluación.

Cada criterio seleccionados contempla subcriterios que lo fortalecen, según se indica a continuación: criterio de diseño geométrico, volúmenes

de corte, volúmenes de materiales de construcción y longitud total de la alternativa; criterio del medio físico o abiótico, geología y geotecnia, amenazas por remoción en masa, e hidrología cantidad de cruces de quebradas y ríos; criterios del medio biótico: coberturas vegetales y especies faunísticas, y criterio del medio socioeconómico y cultural: población beneficiada por el proyecto, costos alternativos, adquisición predial, dificultad movilidad vehicular y funcionalidad peatonal.

Por cada uno de los subcriterios se realizó la comparación según las cantidades obtenidas en cada alternativa y para calcular el valor ponderal; se sumaron ambos valores y se estableció el porcentaje que cada alternativa representaba sobre dicho total; posteriormente se estableció el mayor puntaje a la alternativa más deseable para el proyecto.

El análisis jerárquico se realizó mediante la construcción de una matriz pareada de criterios (tabla 7). Cada celda superior a la diagonal dio lugar a la valoración de cada par de criterios: el de la fila versus el de la columna. Se emitió juicio de valor respecto a la contundencia entre uno y otro criterio, respecto al estudio y selección de alternativa en especial.

Efectuada la valoración a través de la expresión de juicios de valor, se obtuvo una matriz normalizada (tabla 8). En consecuencia, se sumaron las columnas de la matriz anterior (matriz de comparación pareada) y cada valor de celda fue dividido

**Tabla 7.** Comparación pareada de criterios

Criterios	Diseño geométrico	Medio físico	Medio biótico	Medio socioeconómico y cultural	Promedio de fila
Diseño geométrico	1,00	0,25	0,20	3,00	1,113
Medio físico	4,00	1,00	0,50	5,00	2,625
Medio biótico	5,00	2,00	1,00	4,00	3,000
Medio socioeconómico y cultural	0,33	0,20	0,25	1,00	0,446
Suma de columna	10,33	3,45	1,95	13,00	-

**Fuente:** elaboración propia.

por el total obtenido (suma de columnas). Esto se repitió para cada columna, obteniendo un promedio por fila.

En la tabla 9 se presenta la comparación por pares de los criterios del diseño geométrico y en la tabla 10 se presenta la normalización de los valores.

**Tabla 8.** Matriz principal normalizada

<b>Criterios</b>	<b>Diseño geométrico</b>	<b>Medio físico</b>	<b>Medio biótico</b>	<b>Medio socioeconómico y cultural</b>	<b>Promedio de fila</b>
Diseño geométrico	0,097	0,072	0,103	0,231	0,126
Medio físico	0,387	0,290	0,256	0,385	0,329
Medio biótico	0,484	0,580	0,513	0,308	0,471
Medio socioeconómico y cultural	0,032	0,058	0,128	0,077	0,074
Suma de columna	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 9.** Comparación pareada de criterios del diseño geométrico

<b>Criterios</b>	<b>Volúmenes de corte</b>	<b>Volúmenes de materiales de construcción</b>	<b>Longitud total de la alternativa</b>	<b>Promedio de fila</b>
Volúmenes de corte	1,00	2,00	3,00	2,000
Volúmenes de materiales de construcción	0,50	1,00	4,00	1,833
Longitud total de la alternativa	0,33	0,25	1,00	0,527
Suma de columna	1,83	3,25	8,00	-

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 10.** Matriz normalizada para los criterios del diseño geométrico

<b>Criterios</b>	<b>Volúmenes de corte</b>	<b>Volúmenes de materiales de construcción</b>	<b>Longitud total de la alternativa</b>	<b>Promedio de fila</b>
Volúmenes de corte	0,546	0,615	0,375	0,512
Volúmenes de materiales de construcción	0,273	0,308	0,500	0,541
Longitud total de la alternativa	0,181	0,077	0,125	0,128
Suma de columna	1,00	1,00	1,00	-

**Fuente:** elaboración propia.

En la tabla 11 se presenta la comparación por pares de los criterios del medio físico, y en la tabla 12, la normalización de los valores.

En la tabla 13 se presenta la comparación por pares de los criterios del medio biótico y en la tabla 14, la normalización de los valores.

**Tabla 11.** Comparación pareada de criterios del medio físico

<b>Criterios</b>	<b>Vulnerabilidad de la vía a procesos de inestabilidad</b>	<b>Cruces de quebradas y ríos</b>	<b>Promedio de fila</b>
Vulnerabilidad de la vía a procesos de inestabilidad	1,00	5,00	3,000
Cruces de quebradas y ríos	0,20	1,00	0,600
Suma de Columna	1,20	6,00	-

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 12.** Matriz normalizada para los criterios del medio físico

<b>Criterios</b>	<b>Vulnerabilidad de la vía a procesos de inestabilidad</b>	<b>Cruces de quebradas y ríos</b>	<b>Promedio de fila</b>
Vulnerabilidad de la vía a procesos de inestabilidad	0,833	0,833	0,833
Cruces de quebradas y ríos	0,167	0,167	0,167
Suma de Columna	1,00	1,00	-

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 13.** Comparación pareada de criterios del medio biótico

<b>Criterios</b>	<b>Coberturas vegetales</b>	<b>Especies faunísticas</b>	<b>Promedio de fila</b>
Coberturas vegetales	1,00	4,00	2,50
Especies faunísticas	0,25	1,00	0,625
Suma de columna	1,25	5,00	-

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 14.** Matriz normalizada para los criterios del medio biótico

<b>Criterios</b>	<b>Coberturas vegetales</b>	<b>Especies faunísticas</b>	<b>Promedio de fila</b>
Coberturas vegetales	0,800	0,800	0,800
Especies faunísticas	0,200	0,200	0,200
Suma de columna	1,00	1,00	-

**Fuente:** elaboración propia.

Posteriormente se realizó la comparación por pares de los criterios del medio socioeconómico y cultural, a través de la normalización de los valores, llevando a la ponderación por componentes y criterios, para fijar la opción más apropiada para el municipio de Cachipay.

## Discusión

La búsqueda de soluciones a los problemas de movilidad en el municipio de Cachipay por los planes de retorno que el Estado ha venido implementando para agilizar la movilidad vehicular entre el municipio de La Mesa y la ciudad de Bogotá D.C., ha generado un incremento de circulación vehicular por las calles del municipio, lo cual se pudo establecer según los conteos de tráfico registrados en los días entre semana contra el día festivo, cuyo aumento oscila entre un 67 % a un 46 %, como se registra en la tabla 15.

Los efectos generados por el tráfico de largo destino en la malla vial del municipio de Cachipay son el evidente incremento de volúmenes de tráfico en las vías del municipio, en los fines de semana; incremento del orden del 52 % en la ocupación de las vías del municipio autorizadas para el tráfico de largo destino.

El inventario de daños, realizado sobre las vías ocupadas por tráfico de largo destino, evidenció una serie de daños: fisuras, deformaciones, pérdidas de las capas de las estructuras de los pavimentos,

daños superficiales y afloramientos de materiales y de agua; todos estos afectan la movilidad vehicular.

Se estableció, a partir de los conteos de tráfico, que las estructuras de pavimento flexible y rígido existentes no eran apropiadas para los volúmenes de tráfico actuales. Estas estaban previstas para solo un 50 % en el caso de pavimentos flexibles y un 75 % para el caso de pavimentos rígidos.

Otros aspectos evidenciados, y que afectan la movilidad en el municipio, fueron: el desorden en el comportamiento de los usuarios en las vías y de los espacios públicos –como parquear a lado y lado de estas–, ocupación de los espacios públicos para actividades comerciales, movilización peatonal por las calzadas de las vías producto de la ocupación de los espacios públicos.

## Conclusiones y recomendaciones

Se carece de una infraestructura adecuada que garantice una trazabilidad apropiada, como zonas o espacios adecuados para el servicio de parqueo y una señalización conveniente en las áreas de vías municipales.

El problema de movilidad en el interior del municipio requiere de una solución pronta y efectiva, de lo cual se deriva una clara necesidad de reformar la malla vial de largo destino en el municipio de Cachipay. Así, se logrará una mayor conectividad intermunicipal y se generará un crecimiento dentro del municipio.

**Tabla 15.** Planes de retorno

Día	Autos	Busetas-Buses	Camiones	Total	Tráfico Domingo vs. Tráfico día de la semana	Incremento (%)
Lunes	1139	160	160	1459	167 %	67 %
Martes	1154	181	187	1522	161 %	61 %
Miércoles	1074	178	195	1447	169 %	69 %
Jueves	1182	158	157	1497	163 %	63 %
Viernes	1368	150	154	1672	146 %	46 %
Sábado	1646	185	190	2021	121 %	
Domingo	2044	219	180	2443	100 %	

**Fuente:** elaboración propia.

Teniendo claro que la reforma de la malla vial debe ser inminente, el estudio realizado planteó inicialmente cuatro alternativas por rutas que ofrecieran una implementación con las menores intervenciones. De estas, se establecieron dos alternativas viables que ofrecen una panorámica completa de las posibilidades que se pueden o no tener en cuenta, seleccionando la más apropiada mediante una matriz multicriterio. Se puede señalar, entonces, que la más apropiada es aquella que transcurre por área urbana por el costado oriental del municipio.

La situación actual de la malla vial en el municipio de Cachipay constituye un derrotero para el país, en materia de infraestructura de transporte y movilidad; razón por la cual, estudios como el este resultan pertinentes y apropiados en la consecución de alternativas de solución vial.

Cachipay, por ser un municipio cercano a la capital, debe contar con propuestas que contribuyan a solucionar la problemática en el deterioro de las calles y vías alternas para fortalecer el parque automotor del municipio.

Del trabajo realizado es importante indicar una serie de recomendaciones que deben ser implementadas y que pueden contribuir a soluciones en otros municipios afectados por las mismas circunstancias establecidas en este trabajo, entre estas podemos indicar:

- Implementar zonas o espacios apropiados para parqueaderos, con planes de recaudo que permitan la obtención de recursos que sirvan a las inversiones requeridas.
- Implementar planes o programas de capacitaciones, o educación vial, de tal forma que se establezcan las estrategias en pro del control eficiente del tráfico vehicular de motorizados que fluyen por las vías, así como sincronizar dicho tráfico junto con el de transeúntes (no motorizados y sin placas de circulación) cuyos desplazamientos coinciden inevitablemente y hacen necesario un proceso permanente de aprendizaje

e instrucción en materia de seguridad vial y cultura vial.

- Proceder con la recuperación del espacio público, que actualmente se encuentra afectado por el comercio de los negocios aledaños a las vías.
- Continuar con el desarrollo de estudios similares que permitan lograr una cultura vial, por lo menos de carácter departamental, dado que gran número de municipios aledaños a la capital presentan los mismos problemas.
- Tener en cuenta el presente estudio para desarrollarlo.
- Continuar con esta clase de investigaciones como una forma de contribuir con la responsabilidad social.

## Referencias

- Alcántara, V. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogotá, D.C.: Corporación Andina de Fomento.
- Concejo Municipal de Cachipay. Acuerdo 04 del 4 de abril de 2008. Por el cual se adopta el plan de desarrollo para el municipio de Cachipay “sembrando desarrollo social” para la vigencia 2008-2012 y se dictan otras disposiciones. Cachipay.
- Gaviria M., S. (2016). *Diálogos regionales para la planeación de un nuevo país*. Bogotá, D.C.: Departamento Nacional de Planeación.
- Gobernación de Cundinamarca (2009). *Plan Vial del Departamento de Cundinamarca*. Bogotá, D.C.: Secretaría de Transporte y Movilidad.
- Instituto Nacional de Vías (Invías) (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá, D.C.
- Pachón, A y Ramírez, M. (2006). *La infraestructura de transporte en Colombia durante el siglo XX*. Bogotá, D.C.: Fondo de Cultura Económica.
- Rey, A. (2016). *Plan de desarrollo Cundinamarca “Unidos podemos más 2016-2020”*. Recuperado de <http://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/2a9dd7d1-d693-414a-94cd-37fe5f901e7d/PLAN+DE+DESARROLLO+VERSION+FINAL.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IDIW39U>

Rojas, D. (2016). *Desarrollo vial en Colombia y el impacto de las vías de cuarta generación*. Bogotá, D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.

Yepes, T., Martínez, S. y Aguilar, J. (2014). *Financiación de la infraestructura en los municipios del*

*sistema de ciudades de Colombia*. Bogotá, D.C.: Fedesarrollo.

Zamora, N. (2012). *Diagnóstico de la infraestructura vial actual en Colombia*. Bogotá, D.C.: Universidad EAN.





UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista *TECNURA*  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

### 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

### 1. 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>

## 2. 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.

**Artículos de reflexión:** documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales.

**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.

## 3. FORMATO DEL ARTÍCULO

### 3.1 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.

### 3.2 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 incluyen las referencias bibliográficas.

### 3.3 Del formato de presentación

Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés y deben digitalizarse 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.

### 3.4 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://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 Jaimes, 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.xxxxxxxx  
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.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](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

## **4. 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.

### **4.1 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.

#### 4.2 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.

#### 4.3 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.

### 5. 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.

### 6. 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.

## 6. CONTACTO

Para cualquier solicitud de información adicional puede comunicarse a través del correo electrónico de la revista *Tecnura*: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto: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](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Página web:  
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

### *Tecnura journal* District francisco José de caldas university Faculty of technology

#### CONTENT

- **Scope and editorial policy of the journal**
- **Type of accepted articles**
- **Article format**
- **Article submission**
- **Publication procedure**
- **Article arbitration**
- **Contact**

#### SCOPE AND EDITORIAL POLICY OF THE JOURNAL

*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://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf)

<http://multites.net/mtsql/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 Jaimes, 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](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 to 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](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto: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](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Web page:  
<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## SUSCRIPCIÓN

### Revista *Tecnura*

Nombre completo: \_\_\_\_\_

Institución u organización: \_\_\_\_\_

Factura a nombre de: \_\_\_\_\_

Dirección de envío: \_\_\_\_\_

Ciudad: \_\_\_\_\_ Departamento, Estado o provincia: \_\_\_\_\_

Código postal: \_\_\_\_\_ Apartado aéreo / P.O. Box: \_\_\_\_\_

País: \_\_\_\_\_ Correo electrónico: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Tabla de costos de suscripción:

Región	1 Año	2 Años
Bogotá	40 000 COP	70 000 COP
Colombia	45 000 COP	80 000 COP
América Latina y el Caribe	40 USD	70 USD
Estados Unidos y Canadá	40 USD	70 USD
Otras regiones	60 USD	100 USD

**Nota:** los precios tanto en dólares como en pesos incluyen el valor del envío.

Diligenciar el formato de suscripción y enviarlo por correo junto con la copia del recibo de consignación a la dirección postal que aparece en el parte inferior de esta página o escaneado a los correos electrónicos [tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co) y [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com). La consignación nacional se realiza en el Banco de Occidente a nombre de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la cuenta de ahorros número 230-81461-8.

### Canje y suscripciones

Enviar a Ing. César Augusto García Ubaque, PhD.

Director y Editor Revista *Tecnura*

### Biblioteca

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70B No. 73A - 35 sur

Teléfono: +57 - 1 - 7311542

Celular: +57 - 3153614852

Bogotá, D.C., Colombia

Correo electrónico: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co) [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)

Tecnura en internet: <http://tecnura.udistrital.edu.co>



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## SIGN UP

### *Tecnura journal*

Full name: \_\_\_\_\_  
Institution or organization: \_\_\_\_\_  
Invoice name: \_\_\_\_\_  
Mailing address/address: \_\_\_\_\_  
City: \_\_\_\_\_ Department, state or province: \_\_\_\_\_  
Zip code: \_\_\_\_\_ P.O. Box: \_\_\_\_\_  
Country: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_  
Phone number: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ Signature: \_\_\_\_\_

Table of subscription costs:

Región	1 year	2 year
Bogotá	23 USD	40 USD
Colombia	26 USD	46USD
Latin America and The Caribbean	40 USD	70 USD
The United States of America and Canada	40 USD	70 USD
Other regions	60 USD	100 USD

**Note:** prices in both dollars and pesos include the value of the shipment.

Fill out the subscription form and mail it along with a copy of the receipt of consignment to the e-mail address that appears in the bottom of this page or scanned to the following E-mails: [tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co) and [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com). The national bank deposit is done in Banco de Occidente in the name of Universidad Distrital Francisco José de Caldas in the savings account number 230-81461-8.

#### **Exchange and Subscription**

Send Ing Cesar Augusto Garcia Ubaque PhD.  
Editor and Publisher Tecnura Journal

#### **Library**

Technology Faculty  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 73A No. 70B-35 Sur  
Phone: +57 - 1 - 7311542  
Mobile: +57-3153614852  
E-mail: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)