



VOLUMEN 41-1

ENERO / JUNIO DE 2023

# INGENIERÍA y DESARROLLO

REVISTA DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍAS DE LA UNIVERSIDAD DEL NORTE



Editorial



INGENIERÍA Y DESARROLLO es una publicación semestral de la División de Ingeniería de la Universidad del Norte que pone al alcance de los sectores académico y productivo los desarrollos científicos y tecnológicos en las áreas de las ingenierías.

Está incluida en:

- Index Nacional de Publicaciones Seriadadas Científicas y Tecnológicas de Colciencias – Publindex – (<http://www.colciencias.gov.co/scienti/publindex/>).
- Scielo: Scientific Electronic Library Online ([www.scielo.org.co](http://www.scielo.org.co)).
- Inspec: Base de datos bibliográfica administrada por The Institution of Engineering and Technology - IET (<http://www.theiet.org/publishing/inspec/>).
- Latindex: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal ([www.latindex.unam.mx](http://www.latindex.unam.mx)).
- Index Copernicus International ([www.indexcopernicus.com](http://www.indexcopernicus.com))
- Redalyc: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (<http://redalyc.uaemex.mx/>).
- Base de datos EBSCO.
- Directorio Ulrichs.

Se autoriza la reproducción total o parcial de su contenido siempre y cuando se cite la fuente. Los conceptos expresados son de responsabilidad exclusiva de sus autores.

Contacto con el equipo editorial:

[ingydes@uninorte.edu.co](mailto:ingydes@uninorte.edu.co)  
[ingeydesa@gmail.com](mailto:ingeydesa@gmail.com)  
Teléfono: 57 (5) 3509 268

Guía para autores:

<http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/about/submissions#authorGuidelines>



[www.uninorte.edu.co](http://www.uninorte.edu.co)  
Km 5 vía a Puerto Colombia  
A. A. 1569, Barranquilla (Colombia)

EDITORIAL UNIVERSIDAD DEL NORTE

*Coordinación editorial*

María Margarita Mendoza

*Asistente Coordinación editorial*

Leonardo Carvajalino

*Diagramación*

Álvaro Carrillo Barraza

*Procesos técnicos*

Munir Kharfan de los Reyes

*Diseño*

Joaquín Camargo Valle

*Corrección de textos*

Iván Yunis

*Asistente de producción intelectual*  
Marcela Villegas Gallego



# INGENIERÍA

Y D E S A R R O L L O

Revista de la División de Ingenierías  
de la Universidad del Norte

**Rector**

Adolfo Meisel Roca

**Decano División de Ingenierías**

Julián Arellana

**Editora**

Lucy García, Ph. D.

**Asistente editorial**

Jose Santiago

**Comité Científico**

Rensselaer Polytechnic Institute  
(Estados Unidos)

José Holguín-Veras, Ph. D.

Universidad del Norte (Colombia)

Antonio Bula Silvera, Ph. D.

Universidad de La Sabana (Colombia)

Jairo Montoya, Ph. D.

Universitat Jaume I (UJI), España

Antonio Gallardo Izquierdo, Ph. D.

Instituto Tecnológico de Monterrey (México)

José Luis González Velarde, Ph. D.

Universidad de Castilla-La Mancha (España)

Magín Lapuerta Amigo, Ph. D.

Universidad Politécnica de Valencia (España)

Ginés Benet Gilabert, Ph. D.

Alberto Bouzas, Ph. D.

Universidad de Burgos (España)

Joaquín Antonio Pacheco Bonrostro, Ph. D.

**Comité Editorial**

University of Pittsburgh  
(Estados Unidos)

George E. Klinzing, Ph. D.

Pontificia Universidad Católica de Chile

Juan de Dios Ortuzar, Ph. D.

Instituto de Microelectrónica de Barcelona  
(España)

Humberto Campanella, Ph. D.