

REVISTA Ingeniería

Volumen 21 · Número 3 · Año 2016 · ISSN 0121-750X · E-ISSN 2344-8393

REVISTA CIENTÍFICA CUATRIMESTRAL



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Carrera 7 No. 40-53
Edificio Administrativo
Piso 4 - Facultad de Ingeniería
Bogotá, Colombia
Teléfono: + 57 (1) 323 93 00 ext. 2413
Correo revista:
revista.ing@udistrital.edu.co

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving>

POSTURA EDITORIAL Y AUDIENCIA

Su principal objetivo es difundir y debatir avances en investigación y desarrollo en las diferentes áreas de la ingeniería, con artículos de contenido original e inédito. La revista está dirigida a investigadores, especialistas, docentes, estudiantes de pregrado y posgrado, ingenieros en ejercicio y al sector empresarial

EDITOR

Sergio A. Rojas, PhD.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

COMITÉ EDITORIAL

Sarah Greenfield, PhD.
Faculty of Technology of
Monfort University,
Reino Unido

Diego Cantor, PhD.
University of Western Ontario
Robarts Research Institute, Canadá

Jose Marcio Luna, PhD.
Perelman School of Medicine,
University of Pennsylvania, Estados Unidos

José Luis Villa, PhD.
Universidad Tecnológica de
Bolívar, Colombia

Luz Esperanza Bohórquez, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Carlos Andrés Peña, PhD.
Institute for Information and Commu-
nication- Haute Ecole d'Ingénierie et
de Gestion du Canton de Vaud, Suiza

Iván Santelices Malfanti, PhD.
Universidad del Bio-Bio,
Chile

Carlos Eduardo Moreno, PhD.
Universidad Nacional de
Colombia

Víctor Hugo Grisales, PhD.
Universidad Nacional de
Colombia

Juan Carlos Figueroa, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

COMITÉ CIENTÍFICO

Rodrigo Herrera, MSc.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Marco Aurelio Alzate, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Germán Méndez, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Ana María Peña, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Germán Jairo Hernández, PhD.
Universidad Nacional
de Colombia

Diego Pardo Ayala, PhD.
Agile and Dexterous Robotics
Lab - ETHZ, Suiza

Edwin Rivas, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

Henry Alberto Diosa, PhD.
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas, Colombia

DIRECTIVAS

Carlos Javier Mosquera S.
Rector (E)

Nelson Libardo Forero Chacón, PhD.
Director Centro de Investigación
y Desarrollo Científico

Roberto Ferro Escobar, PhD.
Decano de la Facultad de Ingeniería

PREPARACIÓN EDITORIAL

Carolina Suárez R., MSc.
Gestora Editorial

Jenny Alexandra Jimenez, MSc.
Corrección de Estilo

Julian Arcila-Forero, MSc(e).
Diagramación \LaTeX

Editorial Kimpres
Impresión

INDIZADA EN



CARATULA

La portada alude a la perspectiva de diseño de sistemas artificiales desde la mirada de la auto-similitud, la invariancia a la escala y la emergencia, atributos inherentes a los sistemas naturales complejos.

Idea creativa:
Sergio A. Rojas y Carolina Suárez R.

Diseño:
Liliana Valencia.

ÁRBITROS EN ESTA EDICIÓN

Manuel Arana Jiménez, PhD.
Universidad de Cádiz, España

Carolina Suárez Roldan, MSc.
Universidad Cooperativa de
Colombia

Juan Carlos Figueroa, PhD.
Universidad Distrital FJDC, Colombia

Andrés Felipe Cerón Piamba, MSc.
Universidad del Valle, Colombia

Helmuth Trefftz Gómez, PhD.
Universidad EAFTT, Colombia

Henry Carrillo Lindado, PhD.
Universidad Sergio Arboleda,
Colombia

Carlos A. Vargas Isaza, MSc.
Instituto Tecnológico Metropolitano,
Colombia

Walter Hugo Arboleda, MSc.
Corporación Universitaria Adventista,
Colombia

Eddy Janneth Mesa, PhD(c).
Universidad Nacional de Colombia

Libardo Enrique Mendoza, PhD.
Universidad Nacional de Colombia

Henry Arguello Fuentes, PhD.
Universidad Industrial de Santander,
Colombia

Manuel Castañón-Puga, PhD.
Autonomous University of Baja California,
México

Mauricio González Colmenares, MSc.
Universidad Distrital FJDC, Colombia

Jorge Parra Amaris, MSc.(c).
Universidad Nacional de Colombia

Jairo E. Márquez, MSc.
Universidad de Cundinamarca, Colombia

Rocio Redón de la Fuente, PhD.
Centro de Ciencias Aplicadas
y Desarrollo Tecnológico,
UNAM, México

Ángel José Chacón, PhD.
Universidad Pedagógica y Tecnológica,
Colombia

Luz Esperanza Bohórquez, PhD.
Universidad Distrital FJDC, Colombia

José Humberto Serrano Devia, MSc.
Universidad Distrital FJDC, Colombia

Janneth Rocío Secue Roncería, PhD.
Universidad Nacional de San Juan,
Argentina

Diana Ramírez Ríos, MSc.
Fundación FCIMEC, Colombia

Guillermo Aponte, PhD.
Universidad del Valle, Colombia

Gloria Patricia Jaramillo, PhD.
Universidad Nacional de Colombia

Angélica María Gil Pilonieta, PhD(c).
Universidad Pontificia Bolivariana,
Colombia

Beatriz Alexandra Arbeláez, MSc.
Universidad Sergio Arboleda,
Colombia

Javier Antonio Ballesteros, MSc.
Universidad Pedagógica y Tecnológica
de Colombia

Santiago Vargas Domínguez, PhD.
University College London, Inglaterra

Daniel Benenso Vallejo, PhD.
The University of Nottingham, Inglaterra

William Javier Guerrero, PhD.
Escuela Colombiana de Ingeniería,
Colombia

Angel Eustorgio Rivera, PhD.
Instituto Politécnico Nacional,
México

Antonio Aguilera Ontiveros, PhD.
El Colegio San Luis, México

Sergio A. Rojas, PhD.
Universidad Distrital FJDC, Colombia

Marco Alzate Monroy, PhD.
Universidad Distrital FJDC, Colombia

Cesar Cruz Hernandez, PhD.
Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Enseñada,
Baja California, México

José Luis Villa, PhD.
Universidad Tecnológica de
Bolívar, Colombia

Carmenza Moreno Roa, MSc.
Universidad Distrital FJDC, Colombia

Jose Amozurrutia de María y Campos, PhD.
Universidad Nacional Autónoma
de México

PERMISO DE REPRODUCCIÓN

Open access



Los textos de los artículos incluidos en esta edición pueden ser utilizados y reproducidos con fines sin ánimo de lucro y dando crédito a los autores. Está trabajo se distribuye bajo la Licencia de Creative Commons

Reconocimiento - No comercial - Sin Obra Derivada 3.0 Unported.

Ni la Revista INGENIERÍA, Editor, Comité Editorial, Comité Científico, Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital F.J.C., otorgan ninguna garantía, expresa o implícita, a asumen responsabilidad alguna por la exactitud, completitud o utilidad de cualquier información, aparato, producto o proceso divulgado, o que represente que su uso no infrinja derechos privados. La mención o referencia a algún producto, proceso o servicio comercial en específico, por su marca comercial, marca registrada, fabricante o cualquier otra denominación, no implica ni constituye su endoso, recomendación endoso, recomendación o favorecimiento por parte de la Revista INGENIERÍA. Los juicios y opiniones expresadas por los autores en este medio son de su responsabilidad y no establecen, reflejan o comprometen los de la Revista INGENIERÍA.

COSTO DE PROCESAMIENTO DE ARTÍCULOS

La Revista INGENIERÍA no realiza ningún cobro por las postulaciones, evaluación y publicación de los artículos sometidos. La Universidad Distrital Francisco José de Caldas asume los gastos relacionados con el proceso de edición, gestión y publicación. Los Pares Evaluadores realizan su contribución de manera voluntaria y sin retribución económica.