

INGENIARE

Año 18 • N.º 33 • JULIO - DICIEMBRE 2022 • Barranquilla - Colombia • ISSN 2390-0504



UNIVERSIDAD LIBRE
Facultad de Ingenierías
Seccional Barranquilla



INGENIARE

Año 18 • N.º 33 • Diciembre 2022 • Barranquilla - Colombia • ISSN 2390-0504



UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
Seccional Barranquilla



DIRECTIVAS

Presidente Nacional:	<i>JORGE ALARCÓN NIÑO</i>
Rector Nacional:	<i>ÉDGAR SANDOVAL ROMERO</i>
Censor Nacional:	<i>RICARDO ZOPÓ MÉNDEZ</i>
Director Nacional de Investigaciones:	<i>GABRIEL ARÉVALO ROBLES</i>
Presidente Delegado:	<i>BEATRIZ TOVAR CARRASQUILLA</i>
Rector Seccional:	<i>BEATRIZ TOVAR CARRASQUILLA</i>
Director Seccional de Investigaciones:	<i>WENDY ROSALES RADA</i>
Decano Facultad de Ingeniería:	<i>DIEGO SUERO PÉREZ</i>

INGENIARE

EDITOR: M.Sc. Ricardo De La Hoz Lara

ASISTENTE EDITORIAL: Stefany Limas de Ávila

COMITÉ EDITORIAL

Ph.D. REYNALDO VELÁZQUEZ ZALDÍVAR
Universidad Óscar Lucero Moya - Holguín, Cuba

Ph.D. LILIA MENDOZA VEGA
Universidad Libre - Seccional Barranquilla

M.Sc. LUIS ORTIZ OSPINO
Universidad Simón Bolívar

M.Sc. GLORIA NARANJO AFRICANO
Universidad del Atlántico

COMITÉ CIENTÍFICO

Ph.D. ARISTIDES BARAYA
Southeastern Louisiana University, USA.

Ph.D. JAIDER VEGA JURADO
Universidad del Norte, Colombia

Ph.D. RICARDO SILVEIRA MARTINS
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Ph.D. RODOLFO GARCÍA FLORES
Commonwealth Scientific and Industrial
Research Organisation – CSIRO, Australia

PhD. CECILIA MONTT VEAS
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
Chile

Revista

INGENIARE

Año 18 N.º 33 Diciembre 2022

Ediciones

Universidad Libre Seccional Barranquilla

Apartado Aéreo 1752 Sede Principal de Barranquilla

Km. 7 antigua carretera a Puerto Colombia

Comunica a todas las dependencias PBX: 57 (605) 367 3800

revistaingeniare@unilibre.edu.co - <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ingeniare/>

www.unilibrebaq.edu.co



La revista *Ingeniare* es editada bajo una licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Se autoriza la citación, uso y reproducción parcial o total de los contenidos, para lo cual se deberá citar la fuente.



Imagen de portada: https://www.freepik.com/free-vector/business-adviser-analyzing-financial-figures-denoting-the-progress-in-the-work-of-the-company_1202220.htm

Producción - Diseño y diagramación:

AF&M Producción Gráfica S.A.S. - afmproducciongrafica@gmail.com

PBX: 57(601) 250 1584

Bogotá, D.C. - Colombia

Contenido

Content

EDITORIAL	9
<i>Ricardo De la Hoz L.</i> <i>Editor</i>	
Análisis computacional del comportamiento agroclimático en la producción de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) cultivado en el municipio de Sibundoy, Putumayo	13
<i>Computational analysis of agroclimatic behavior in the production of beans (<i>Phaseolus vulgaris</i>) generated in the Sibundoy city-Putumayo</i> <i>Brayan Alexis Parra-Orobio</i> <i>María Camila Carrera-Venegas</i> <i>Luisa Fernanda Villacres-Valencia</i>	
Diseño del sistema de compras aeronáuticas para consolidar los canales de suministro en la Fuerza Aérea Colombiana	29
<i>Design of the aeronautical procurement system to consolidate supply channels in the Colombian Air Force.</i> <i>Julio-Mario Daza-Escorcia</i> <i>Jeimmy Nataly Buitrago Leiva</i> <i>Yeisson Alexánder Rincón Cuta</i> <i>Ricardo Rafael Varela Castillejo</i>	
Sistemas interfaces cerebro-computador (BCI): amenazas y ataques cibernéticos	41
<i>Brain-Computer Interfaces (BCIs): Threats and Cyber Attacks</i> <i>Juan Camilo Ospina-Cuervo</i> <i>Héctor Fernando Vargas Montoya</i>	
Sistema automático para un uso adecuado de los botes de basura controlados por voz	53
<i>Voice controlled automatic system for the correct use of trash cans</i> <i>Yeimar Palacios Maturana</i> <i>Julián Andrés Román Franco</i>	

Sistemas de radio sobre fibra y redes 5G: perspectiva y aplicaciones	73
<i>Radio over Fiber (RoF) Systems and 5G networks: Perspective and applications</i>	
<i>Valentina Peñaranda Villalba</i>	
<i>Karla Cecilia Puerto López</i>	
<i>Jhon Jairo Ramírez Mateus</i>	
Sistema de inferencia difuso para determinar el perfil de riesgo de los inversionistas en el sistema financiero colombiano	89
<i>Fuzzy inference system for determining the risk profile of investors in the Colombian financial system</i>	
<i>Milton Samuel Camelo Rincón</i>	
<i>Mónica Patricia Enciso Pulido</i>	

EDITORIAL

La *Revista Ingeniare* publica trabajos originales en el ámbito de la ingeniería y sus ciencias afines, relacionados con la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación para el desarrollo de la ciencia y la tecnología. Los artículos publicados en nuestro OJS (*Open Journal System*), indexados en reconocidas bases de datos y sistemas de resumen, se encuentran disponibles de manera gratuita y abierta para su acceso por parte de la comunidad científica y académica.

En esta edición 33 se incluyen artículos relacionados con algunos temas que son tendencia en las ciencias de la computación, como los sistemas de interfaz cerebro-computador, la automatización por voz, los sistemas de redes de 5G y el análisis computacional con aplicaciones particulares. De otra parte, se incluyeron trabajos sobre los sistemas asociados a la toma de decisiones: un sistema de compras organizacional, centrado en la cadena de suministro, y un sistema de inferencia basado en lógica difusa.

La diversidad de temas de esta edición muestra el compromiso que tiene *Ingeniare* de publicar trabajos científicos que aportan al desarrollo de la ingeniería como ciencia y disciplina. Invitamos a los autores que deseen hacer visible su trabajo de investigación, desarrollo tecnológico e innovación a presentar sus manuscritos en nuestra revista.

Ricardo De la Hoz L.
Editor

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Análisis computacional del comportamiento agroclimático en la producción de fríjol (*Phaseolus vulgaris*) cultivado en el municipio de Sibundoy, Putumayo

Computational analysis of agroclimatic behavior in the production of beans (*Phaseolus vulgaris*) generated in the Sibundoy city-Putumayo.

Brayan Alexis Parra-Orobio^{1,2}
María Camila Carrera-Venegas¹
Luisa Fernanda Villacres-Valencia¹

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9728>

RESUMEN

La productividad de los cultivos está regida por complejas interacciones agroclimáticas. En ese sentido, el éxito productivo no sólo depende de la intensidad de los estímulos climáticos sino también de su secuencia temporal durante el ciclo de vida de los cultivos. Entre estos parámetros se encuentran la temperatura, la radiación solar y el agua en el suelo, que son los principales factores meteorológicos que regulan los procesos en las plantas. El objetivo de esta investigación consistió en determinar, a partir de un estudio agroclimático, los efectos de las variables climáticas (temperatura, precipitación y brillo solar) en el cultivo de fríjol (*Phaseolus vulgaris*) en el municipio de Sibundoy. La evaluación de las variables que inciden en este cultivo se hizo a partir del modelo de simulación Cropwat®. Se encontró que entre los años 2008 y 2011 no hubo cambios significativos en las variables evaluadas, en comparación con el 2014 en el que las condiciones climáticas empezaron a alterar de manera relativa estos cultivos, afectando su rendimiento y producción. Se puede concluir que existe una notable relación entre el clima y la productividad agrícola, debido al incremento de altas temperaturas, fuertes precipitaciones y la intermitencia de fenómenos climáticos; por tanto, los estudios agroclimáticos mediante las estimaciones de análisis computacional permiten inducir a la búsqueda de nuevas alternativas de adaptabilidad frente al cambio climático.

Palabras claves: agroclimático, brillo solar, Cropwat®, precipitación, temperatura.

ABSTRACT

Crop productivity is directed by complex agroclimatic interactions, in this aspect, productive success not only depends on the intensity of climatic stimuli but also on the temporal sequence of these during the crop life cycle, among them very important parameters interfere such as; the temperature, solar radiation and water in the soil, these are the three main meteorological factors that regulate the processes in plants. The objective of the research was to determine the effects of the climatic variables (temperature, precipitation and solar brightness) in the bean crop (*Phaseolus vulgaris*) of the city of Sibundoy, from an agroclimatic study. The evaluation of the variables that affects the bean crop was made from the Cropwat® simulation model. It was found that in 2008 and 2011 there were no significant changes in the evaluated variables, compared to 2014, where from then on the climatic conditions are affected in a relative way the bean crops, which means that their yield and production is being reduced. It can be concluded that there is a remarkable relationship between the climate and agricultural productivity, due to the increase in high temperatures, heavy rainfall and the intermittence of climatic phenomena; therefore, agroclimatic studies through computational analysis estimates allow inducing the search for the implementation of new adaptability alternatives in the face of climate change.

Keywords: Agroclimatic, Cropwat® simulation, Sunshine, Precipitation, Temperature.



Cómo citar este artículo: B. Parra-Orobio, M. Carrera-Venegas and L. Villacres-Valencia. "Análisis computacional del comportamiento agroclimático en la producción de fríjol (*Phaseolus vulgaris*) cultivado en el municipio de Sibundoy, Putumayo". *Ingeniare*, vol. 19, no. 33, pp. 13-27, Diciembre 2022.

¹ Docente catedrático del Instituto Tecnológico del Putumayo.

¹ Tecnóloga en Saneamiento Ambiental del Instituto Tecnológico del Putumayo. mariacarrera2020@itp.edu.co. ORCID: 0000-0002-5819-3250

¹ Tecnóloga en Saneamiento Ambiental del Instituto Tecnológico del Putumayo. luisavillacres2020@itp.edu.co. ORCID: 0000-0003-2730-2562

² Docente catedrático de la Universidad Popular del Cesar, seccional Aguachica. baparra@unicesar.edu.co. ORCID: 0000-0001-9256-6797

1. INTRODUCCIÓN

La prioridad en cuanto a la gestión del agua se ha enfocado en el abastecimiento humano, centrado en las grandes urbes. El crecimiento poblacional y los avances industriales, aunado a los efectos del cambio climático, acentúan el problema el acceso al agua en las ciudades [1]. En contraste, la agricultura se ha referenciado como causante de estrés hídrico para el abastecimiento en las grandes ciudades, ya que es uno de los sectores que más agua requiere (consume aproximadamente entre el 80 al 90% de este recurso) [2]. Frente a ello, la solución no es reducir el requerimiento de agua para uso agrícola, ya que suministra alimentos y materias primas, es necesario aumentar la eficiencia en el uso del agua para riego y, a su vez, su relación con el cambio climático.

El establecimiento de indicadores relacionados con el consumo de agua en las actividades agrícolas y su eficiencia es relevante para la planeación y el manejo de estas actividades en el mundo, especialmente en el marco del cambio climático [3]. Un parámetro habitual asociado con el requerimiento del recurso hídrico en cualquier actividad es su uso consuntivo, ya que después de su consumo no se encuentra disponible para otras actividades, ya sea por el proceso de evaporación o las pérdidas durante la producción, incluyendo también la evapotranspiración de cultivos y el recurso hídrico necesario para la constitución del tejido vegetal [2].

La economía del municipio de Sibundoy (Putumayo) se basa en la explotación agrícola, la cual está sustentada por la actividad tradicional o chagras que realizan los indígenas, centrada en la parte plana y baja del municipio. La actividad comercial la realizan los mestizos o colonos, especialmente en cultivos de frijol, tomate de árbol, manzana y pecuarios como el ganado para la obtención de leche [4]. En este municipio el frijol tiene bastante relevancia, muestra de ello son las cerca de 1.200 hectáreas destinadas para su cultivo, gracias a las condiciones climáticas del territorio como altura, temperatura y humedad, las cuales facilitan su producción. Un estudio de Corpoamazonia (2007) señala que aproximadamente 2.400 habitantes de la zona se dedicaban al cultivo del frijol, teniendo un impacto directo en 600 familias [5]. Esto muestra su aporte económico en la zona, considerando que Sibundoy tiene una población de 14.018 habitantes [6].

Los modelos de simulación ayudan a complementar la información experimental; además, a evaluar y estructurar prácticas de irrigación, productividad y fertilización. La implementación de los resultados obtenidos por modelos matemáticos requiere que durante su uso se consideren variables asociadas a las características del suelo, clima, cultivo y prácticas agrícolas existentes en la zona de estudio [7]. Con este objetivo, la capacidad del modelo Cropwat® para simular el crecimiento del cultivo y la dinámica del agua y nutrientes en el sistema suelo-planta-atmósfera se ha aplicado en diversos cultivos y escenarios climáticos. Autores como Arteaga et al. [8] afirman que la simulación es una herramienta muy útil en la planificación de áreas agrícolas, ya que ha permitido un importante avance sobre todo en la velocidad de los cálculos, el procesamiento de datos y en la obtención de resultados fidedignos. Así

las cosas, el modelo Cropwat® es un instrumento práctico para el manejo del agua relacionado con las necesidades del cultivo, de acuerdo con sus condiciones climáticas.

Las anomalías climáticas generan un impacto socioeconómico de grandes proporciones en los ámbitos local, regional y nacional, en el que la agricultura no es ajena, ya que depende del régimen de lluvias y las dinámicas de temperatura. Esto conduce a inundaciones y deslizamientos en terrenos cultivados, proliferación de plagas e incremento de enfermedades, además de la alteración en los ciclos vegetativos de los cultivos. También genera mayor estacionalidad de la producción, pérdidas en la cosecha y rendimiento de los cultivos, importación de insumos agrícolas y riesgo en la seguridad alimentaria, entre otros [4]. Por lo tanto, frente al cambio climático es perentorio estructurar estrategias de riego para diversas condiciones operativas y la simulación de abastecimiento de agua para un terreno con diferentes condiciones de clima, periodos de siembra y con varios planes de cultivo.

Por estas razones, este estudio tuvo como objetivo identificar el efecto del clima sobre el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el municipio de Sibundoy, mediante un estudio agroclimático relacionado con el tiempo de producción agrícola y la magnitud, frecuencia y variabilidad de los parámetros climáticos relacionados con este cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

La investigación se realizó en el municipio de Sibundoy, localizado al noroccidente del departamento del Putumayo, con coordenadas geográficas 1°12'12" latitud norte y 76° 51'15" longitud oeste. Limita al norte con el departamento de Nariño y el cerro de Juanoy (área limítrofe del cerro de Cascabel), al sur con el municipio de San Francisco (área limítrofe antiguo cauce del río Putumayo), al occidente con el municipio de Colón (área limítrofe por el río San Pedro) y al oriente con el municipio de San Francisco (área limítrofe con el río San Francisco). El municipio tiene una extensión de 90.828 km², que corresponden al 0,36% del departamento del Putumayo [9]. En el área de estudio se presentan temperaturas que oscilan entre 14 y 17 °C, con un promedio mensual anual de 15,98 °C.

2.2 Metodología

La metodología aplicada se basó en el modelo de simulación Cropwat®, referida por Surendran et al. [10], para lo cual se utilizaron intervalos diarios que permitieron simular el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) durante el periodo comprendido entre 2008 y 2014, teniendo en cuenta diferentes parámetros climáticos recolectados mediante información primaria suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y que se asocia a la estación meteorológica La Primavera

(76°55'57.7"W, 1°10'5.9"N) Los datos empleados corresponden a las variables de temperatura, precipitación, velocidad del viento y brillo solar.

Los datos climatológicos utilizados durante la implementación del modelo fueron los siguientes: a) información básica de la estación meteorológica (nombre de la zona, nombre de la estación, altitud, latitud y longitud) y b) datos climáticos mensuales (precipitación, temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa, insolación –horas brillo sol– y velocidad del viento).

Respecto a los requerimientos de agua del cultivo y sus necesidades de riego, para el cálculo se necesitaron los siguientes aspectos: duración de la etapa de crecimiento, para lo cual se consideraron la inicial (INIT), desarrollo (DEVE), media (MID) y final (LATE), cuyos valores se obtuvieron de la Asociación de Agricultores y Cultivadores de Fríjol de Sibundoy (Asofris); el coeficiente de cultivo K_c a partir de los reportados por Escalante et al. [11]; la profundidad de raíces (D) y el factor de reducción de rendimiento K_y , de acuerdo con Doorenbos, Kassam [12], y las fechas de siembra del plan de cultivos brindado por Asofris. En cuanto a la programación del riego se requieren las características del suelo, para lo cual se consideraron aspectos como textura, humedad total empleada por el suelo, nivel de agotamiento de la humedad, agotamiento inicial de la humedad del suelo, humedad inicial del suelo y tasa máxima de infiltración de la precipitación en el suelo [8].

Las propiedades hidráulicas del suelo utilizadas por Cropwat® se estimaron considerando la información de campo sobre las fracciones de arcilla, arena y limo, así como el contenido de elementos gruesos y la densidad aparente. Por otra parte, se aplicaron las ecuaciones de pseudo-transferencia implementadas en Cropwat®, sustentadas en el estudio efectuado por Saxton et al. [13].

Finalmente, la evapotranspiración de referencia (ET_o) se determinó a partir del método de Penman-Monteith, que utiliza el modelo Cropwat®. Para determinar la precipitación efectiva (pe), el *software* muestra cuatro alternativas: 1) un porcentaje fijo de precipitación, 2) precipitación probable a una probabilidad 80% de excedencia, 3) métodos empíricos desarrollados localmente y 4) el método del servicio de conservación de suelo de la USDA (United States Department of Agriculture). En este estudio se empleó un porcentaje fijo de la precipitación total (0,8), considerando las recomendaciones de Arteaga et al. [8].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez obtenidos los datos del Ideam en la estación meteorológica La Primavera (Tablas 1, 2 y 3), se procedió a simular las variables evaluadas mediante el *software* Cropwat®: precipitación, brillo solar, humedad, evapotranspiración, requerimiento de riego, ADT (Agua disponible total) y AFA (agua fácilmente aprovechable).

Tabla 1. Datos obtenidos de valores mensuales de precipitación, 2008 - 2014

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam)												
Valores totales mensuales de precipitación (mm)												
DEPARTAMENTO: PUTUMAYO			MUNICIPIO: SIBUNDOY			ESTACIÓN: LA PRIMAVERA						
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2008	92,9	157,2	99,9	140,6	182,3	246,7	226,8	104,8	126,7	166,4	73,7	106,6
2009	160,6	109,8	165,5	176,1	177,1	221,8	262,1	178,5	95,5	128	57	91,1
2010	33,4	132,6	195	240,4	101,9	179,5	135,7	119,6	120,3	119,7	86,1	46,8
2011	86,5	95	162,3	160,7	222,4	149,5	195	96,6	159,5	86,7	87,9	149,6
2012	142,2	144,3	275	149,9	159	175,4	242,9	122,4	70,9	85,9	85	85,4
2013	42,8	156,8	134,7	114,3	224,6	121,9	286,3	199	130	139,7	73	116,5
2014	96,8	70,8	119,8	95,3	107,5	202,8	30,2	41,1	22,1	25,7	42,1	40

Fuente: adaptado del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Tabla 2. Datos obtenidos de valores mensuales de brillo solar (horas) 2008 - 2014

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam)												
Valores totales mensuales de brillo solar (horas)												
DEPARTAMENTO: PUTUMAYO			MUNICIPIO: SIBUNDOY			ESTACIÓN: LA PRIMAVERA						
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2008	22	15,6	15	18,3	9,9	10,2	8,4	19,5	16,7	23,2	22	22,6
2009	24	20	19	15	11	17	13	22	21	20	15	19
2010	16,3	19,5	22,6	19,7	16,4	9,9	18,2	11,7	23,4	23,5	23,9	21,8
2011	24	9	15	8	10	8	14	10	17	17	12	12
2012	20	20	21,3	18	15	17	22	24	23	24	23	23
2013	19	12	12	11	14	15	17	20	19	22	23	23
2014	24	22	20	18	19	24	20	23	23	24	24	24

Fuente: adaptado del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Tabla 3. Datos obtenidos de los valores medios mensuales de humedad relativa (%) 2008 - 2014

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam)												
Valores medios mensuales de humedad relativa (%)												
DEPARTAMENTO: PUTUMAYO			MUNICIPIO: SIBUNDOY			ESTACIÓN: LA PRIMAVERA						
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2008	82	87	83	83	84	87	87	86	87	86	85	84
2009	87	87	87	86	86	87	88	87	84	85	82	85
2010	83	85	86	85	86	88	85	85	81	83	83	83
2011	81	84	80	85	85	88	88	85	87	80	81	84
2012	85	85	87	85	88	87	88	84	85	83	82	-
2013	85	88	86	85	87	88	87	87	84	84	81	-
2014	90	88	84	88	86	86	88	84	87	89	86	88

Fuente: adaptado del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

3.1 Simulación computacional de los parámetros precipitación, brillo solar y humedad

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante el estudio de simulación con el *software* Cropwat®, para un periodo de tiempo de siete años, en el cual se analizó el comportamiento agroclimático del cultivo de frijol. La Figura 1 representa la dinámica de los parámetros precipitación, humedad relativa y brillo solar para el año 2008, en el que se destaca que la precipitación osciló entre 84 y 180 mm para la mayoría de meses. Sin embargo, en junio y julio la precipitación aumentó hasta 200 mm, asociado a tiempos de fuertes lluvias. Este factor se debe considerar para establecer las mejores prácticas agrícolas durante la producción de frijol, ya que este producto es extremadamente sensible al estrés hídrico, que se refleja en las etapas fenológicas más sensibles de la planta [14].

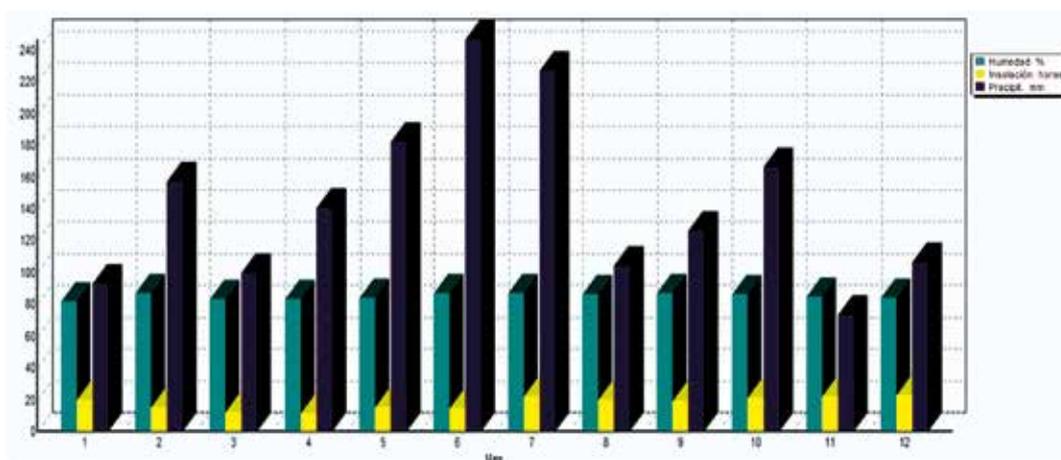


Figura 1. Simulación agroclimática de los parámetros precipitación, brillo solar y humedad en el año 2008.

Fuente: adaptado por medio del programa de simulación Cropwat®.

Respecto al brillo solar, este parámetro se mantiene constante con una insolación por hora de 20 °C, el cual es aceptable para las condiciones climáticas de esta zona. Por otra parte, se identifica que la humedad para ese mismo año, generalmente se encuentra en un 80%. Ahora bien, para el año 2011 ya se evidencian perturbaciones en las variables analizadas (Figura 2). Se observa incremento en la precipitación para marzo, abril, mayo y julio, teniendo un promedio de 170 mm e incrementando relativamente a 200 mm para mayo. En contraste, el brillo solar disminuye en estos meses y, por ende, se reduce el brillo solar, lo que a su vez se percibe en la humedad, que se mantiene en un promedio que oscila entre 80 y 90%, un factor muy efectivo para los rendimientos en el cultivo.

En el año 2014 (Figura 3) se resalta que la precipitación tiene un incremento de 200 mm en junio. A partir de este mes empieza a disminuir notablemente, conservando una precipitación que oscila entre

30 y 50 mm. No obstante, el brillo solar aumenta con una insolación por hora de 30 °C. Por su parte, la humedad aumenta favorablemente en un porcentaje de 100%, se mantiene estable y contribuye a que en el tiempo de intensidad solar y la saturación de agua en el aire sea potencialmente aprovechada por el cultivo y, por consiguiente, no se evidencien fenómenos de marchitez prolongados. Sin embargo, de acuerdo con González-Cueto et al. [15], un aumento en la humedad es poco favorable para el cultivo, porque para los primeros estados de desarrollo de la planta es conveniente mantener el suelo con baja humedad, debido a que su exceso puede ocasionar clorosis, además de impactar negativamente sobre la calidad de los frutos.

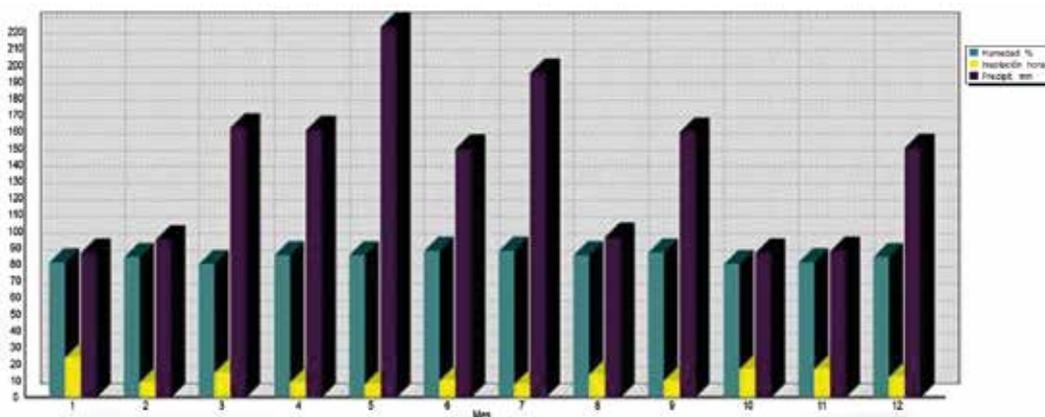


Figura 2. Simulación agroclimática de los parámetros precipitación, brillo solar y humedad en el año 2011.

Fuente: adaptado por medio del programa de simulación Cropwat®.

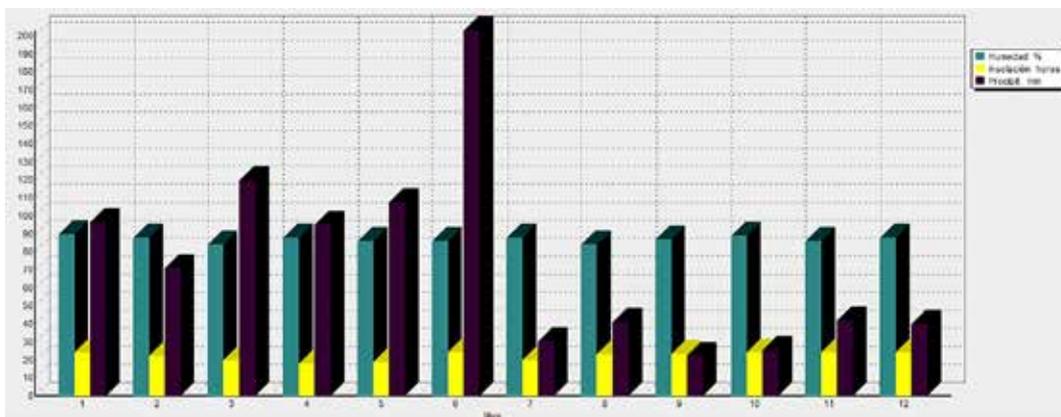


Figura 3. Simulación agroclimática de los parámetros precipitación, brillo solar y humedad en el año 2014.

Fuente: adaptado por medio del programa de simulación Cropwat®.

Considerando lo expuesto, la simulación permite identificar una notable variación de los parámetros agroclimáticos a partir del año 2014 en la zona de estudio. Teniendo en cuenta que el valle de Sibundoy se caracteriza por tener un clima inestable y tropical, estas alteraciones climáticas pueden afectar significativamente el desarrollo y la producción de frijol y otros cultivos estratégicos de la región. De acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) [16], cultivos como el frijol pueden verse potencialmente afectados debido a la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos, particularmente durante los periodos del fenómeno de El Niño y La Niña. Este tipo de anomalías, involucradas en el cambio climático a través de la variabilidad, ocasionan un impacto socioeconómico de grandes proporciones en el ámbito regional, en donde la agricultura depende del régimen de lluvias y el comportamiento de la temperatura, lo que genera inundaciones, proliferación de plagas, importación de productos agrícolas, entre otros.

Autores como Katungi et al. [17] argumentan que el clima es uno de los principales determinantes de la productividad agrícola, debido al aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que implica cambios en el clima y, en consecuencia, la adaptación de las actividades agrícolas. Este fenómeno no sólo requiere diferencias en el tipo y combinación o mezcla de cultivos, sino también un incremento en la inversión económica, más allá de las posibilidades de adaptación. De ahí que la agricultura sea el sector que posiblemente sufra los mayores efectos económicos ante el cambio climático. Ante esta situación, autores como Cleves et al. [18] resaltan que los efectos que se producen en los cambios en temperatura y precipitación tienen incidencia en el rendimiento de los cultivos. No obstante, también se identifica la necesidad de aplicar modelos agroclimáticos que provean información sobre las consecuencias del cambio climático sobre la agricultura, específicamente de cada cultivo (plagas o disminución en la productividad).

3.2 Simulación de los parámetros evapotranspiración y requerimiento de riego

En la Figura 4 se puede observar que para enero del 2008 las variables evapotranspiración y requerimiento de riego se encuentran en un rango de 0,0 a 1,0 mm, mientras que para febrero, marzo, abril, mayo, junio y la mitad de julio el cultivo se mantiene estable, puesto que las variables climáticas favorecen su desarrollo. Por otra parte, se observa que para agosto, septiembre y octubre la evapotranspiración aumenta considerablemente desde 6 hasta 20 mm. En cuanto al requerimiento de riego a comienzos de agosto, se presenta desde 2 hasta 5 mm. En los meses siguientes se mantienen estas dos variables, con valores inferiores a 1 mm. Se concluye, entonces, que para este año el cultivo presentó precipitaciones que garantizan su estabilidad.

Para el año 2011 (Figura 5) estas variables conservan una constancia en relación con el año 2008; sin embargo, se destaca que la evapotranspiración disminuye desde 15 a 4 mm en agosto, septiembre y octubre.

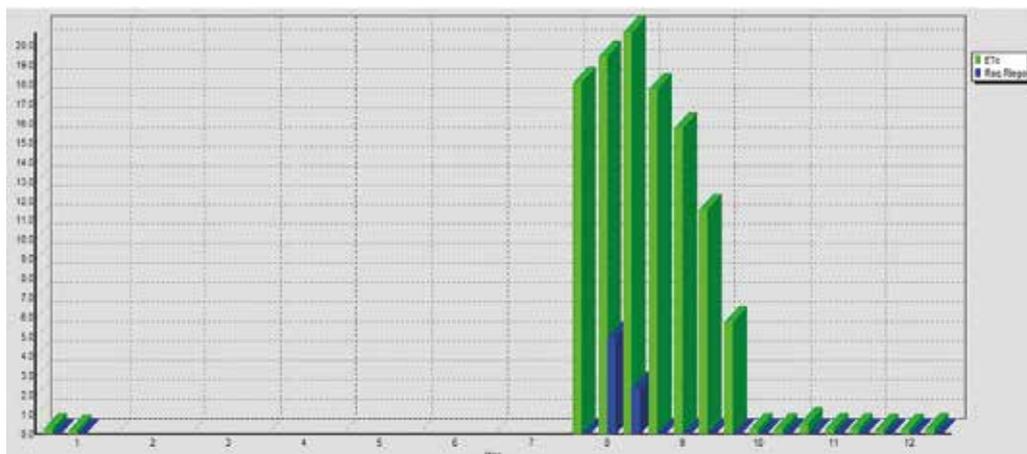


Figura 4. Simulación agroclimática de los parámetros evapotranspiración y requerimiento de riego año 2008.

Fuente: adaptado por medio del programa de simulación Cropwat®.

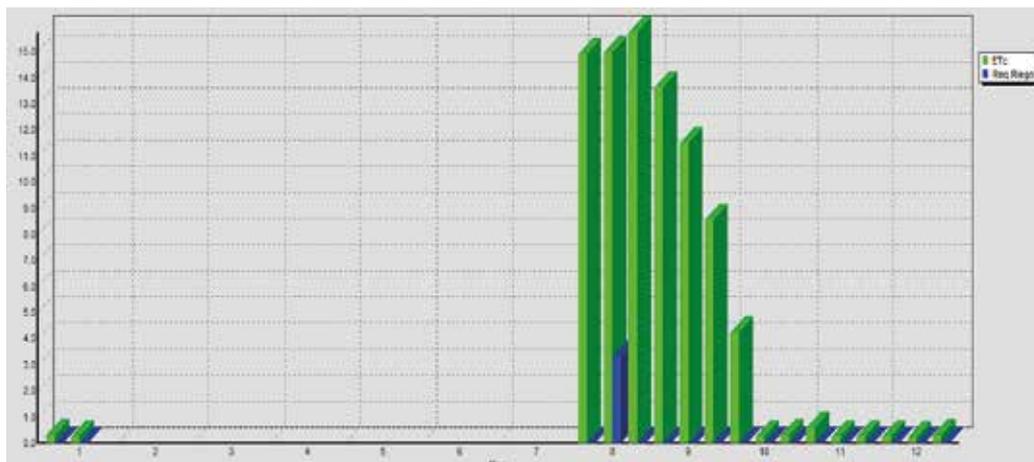


Figura 5. Simulación agroclimática de los parámetros evapotranspiración y requerimiento de riego año 2011.

Fuente: adaptado por medio del programa de simulación Cropwat®.

Por último, en el año 2014 se evidencia un cambio bastante significativo en las dos variables, ya que para finales de julio y septiembre la evapotranspiración no supera los 6 mm y alcanza un punto máximo de 22 mm. En los meses posteriores (octubre, noviembre y diciembre) esta variable se mantiene por debajo de 1 mm; no obstante, el requerimiento de riego aumenta entre julio y los primeros días de octubre, manteniéndose en un rango entre 5 y 18 mm (Figura 6).

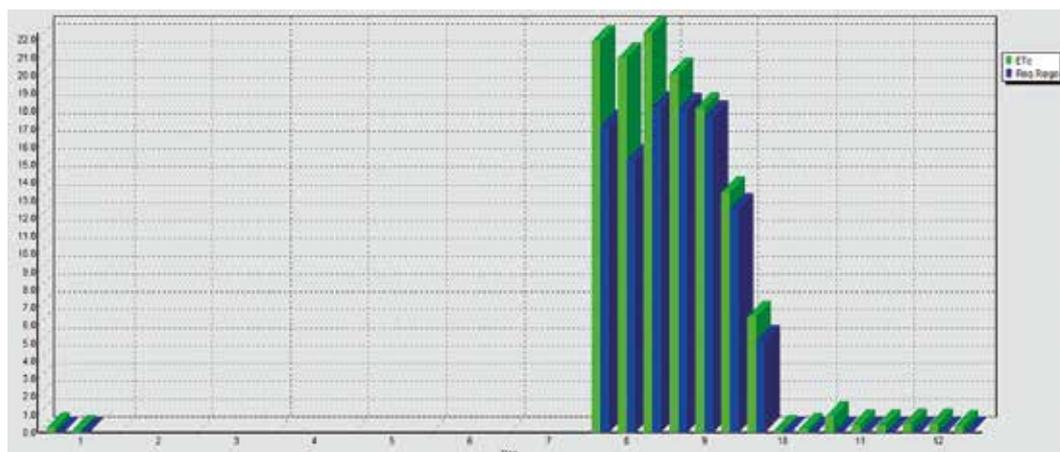


Figura 6. Simulación agroclimática de los parámetros evapotranspiración y requerimiento de riego año 2014.

Fuente: adaptado por medio del programa de simulación Cropwat®.

De acuerdo con lo descrito, se puede deducir una afectación puntual a la agricultura del municipio de Sibundoy, ya que las temporadas de intenso calor que se dan de manera aleatoria hacen que los diversos cultivos, en especial el de frijol, que es susceptible a la sequía durante el periodo de floración, sufran una significativa disminución de flores y vainas. Así mismo, cuando se prolonga la sequía puede causar retrasos en la floración y la madurez [19]. También se evidencia que el municipio es propenso a estrés en su balance hídrico, lo que puede ocasionar la erosión del suelo, bajo porcentaje de humedad y, por ende, afectación directa en la fase de desarrollo y producción de este cultivo. Lo anterior es acorde con lo que señalan estudios previos realizados en la zona por Cabrera & Díaz [20], Sarkar et al. [21] y Guerra et al. [4].

El clima incide directamente en los procesos fisiológicos del cultivo de frijol, cada fase está orientada por diferentes condiciones ambientales e influye de manera indirecta como detonador de estreses bióticos. Si bien en Colombia, igual que en otras partes del mundo, el riego se implementa para reducir el estrés hídrico, esto puede generar una presión sobre estos recursos y, por tanto, se suma al continuo deterioro del agua por contaminación, debido a su uso insostenible. Esta situación incrementa las condiciones de vulnerabilidad de la zona frente a cambios ambientales, como la variabilidad y el cambio climático [22].

Aunque la mitigación (reducción de emisiones de gases de invernadero) por sí sola no es suficiente para salvaguardar a las sociedades de los efectos de cambio del clima, la adaptación desempeña un papel fundamental, especialmente en el sector agrícola, ya que éste consume el 61% (7.640 millones de metros cúbicos) del volumen total de agua en el país [23]. Por lo tanto, se considera necesario mantener continua la actividad de riego, permitiendo de esta manera que la planta y su producción no lleguen a un punto de estrés hídrico, así como para que no sufra desgastes, tenga una mayor resistencia a enfermedades, permitiéndole mantener un alto porcentaje en su productividad.

3.3 Simulación de los parámetros ADT (agua disponible total) y AFA (agua fácilmente aprovechable)

En las Figuras 7 y 8 se presentan los resultados de la simulación de ADT y AFA, en las que se destaca un comportamiento similar en 2008 y 2011. Se encontró que la ADT osciló entre 30 y 45 mm agua en el suelo y AFA entre 65 y 90 mm, por lo cual esta humedad retenida en el suelo se ve fácilmente aprovechada para el riego del cultivo y su crecimiento.

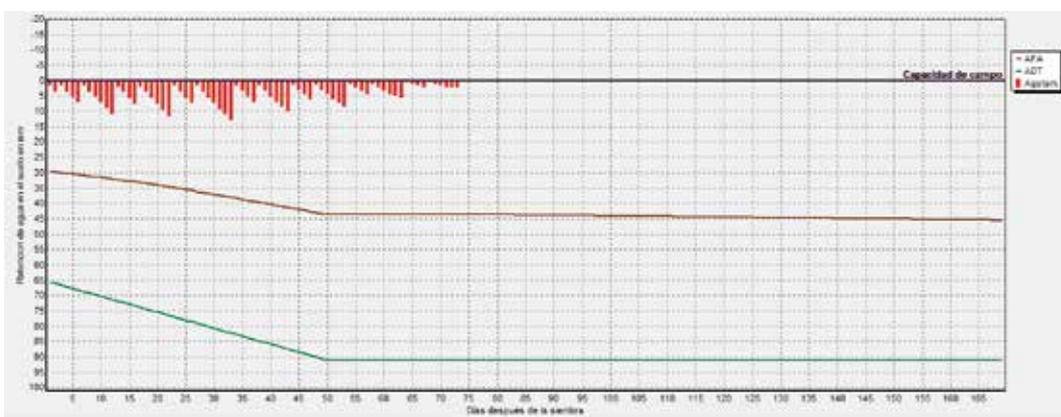


Figura 7. Simulación agroclimática de los parámetros AFA y ADT para el 2008.

Fuente: adaptado por medio del programa de simulación Cropwat®.

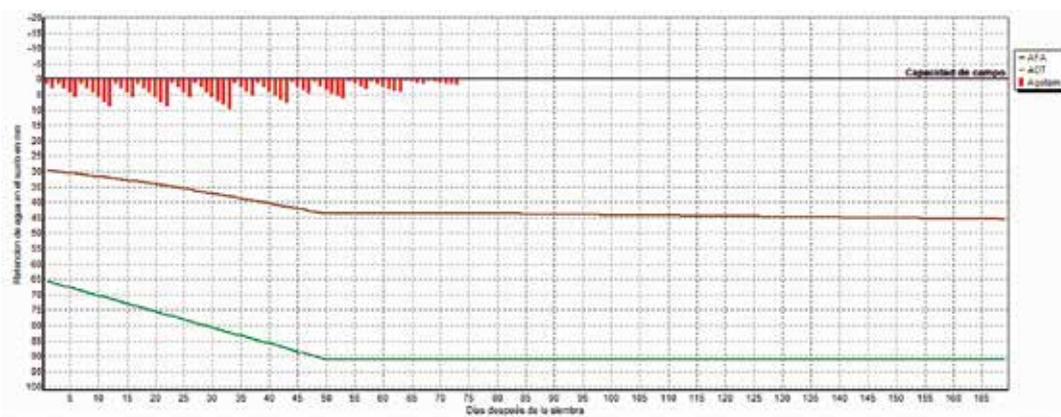


Figura 8. Simulación agroclimática de los parámetros AFA y ADT para 2011.

Fuente: adaptado por medio del programa de simulación Cropwat®.

A partir del 2014 se identifica una alta capacidad de campo, la cual oscila entre 5 y 30 mm, factor que se ve alterado por la variabilidad climática e incide sobre el cultivo, ya que el agua acumulada hace que

el suelo no tenga un buen drenaje, afectando principalmente la capacidad de asimilación de nutrientes por parte de la raíces y acusando inestabilidad en suelo (Figura 9). Lo anterior evidencia que, en efecto, se está presentando variabilidad climática en el valle de Sibundoy por la presencia de las altas precipitaciones y humedad que se mantienen en este tipo de climas y, por tanto, alteran la productividad del cultivo.

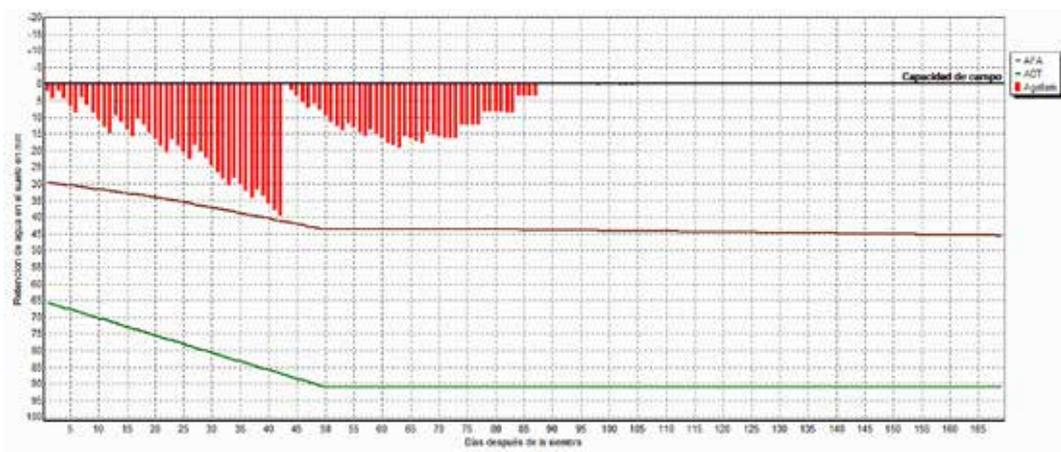


Figura 9. Simulación agroclimática de los parámetros AFA y ADT para 2014.

Fuente: adaptado por medio del programa de simulación Cropwat®.

Algunos autores como Morales-Santos et al. [24] señalan que las condiciones para el cultivo de frijol identificadas en la simulación son potencialmente ideales, ya que se encontró pluviosidad entre 350 y 500 mm anuales, lo que representa una baja humedad relativa que permite minimizar el riesgo de enfermedades bacterianas y fúngicas. Por otro lado, otros autores como Guerra et al. [4] resaltan que el cultivo de frijol requiere suelos profundos y fértiles, con buenas propiedades físicas, de textura franco limosa, aunque también tolera texturas franco arcillosas, con buen drenaje. Por tanto, las características físicas y químicas de los suelos en los que se cultiva el frijol en Colombia son muy variables, lo que evidencia que este producto tiene la habilidad de adaptarse a diversas condiciones de suelo y topografía, considerando buenas prácticas agrícolas.

Aunado a lo anterior, se puede deducir que este cultivo presenta características satisfactorias en cuanto a rendimiento y desarrollo; sin embargo, mediante la simulación se pueden identificar problemas en el suelo a partir del 2014, ya que la capacidad de campo en el suelo está aumentando, lo que podría generar sobresaturación, excediendo el límite de agua, además del significativo nivel freático en la zona [4], lo que puede ocasionar efectos adversos en el crecimiento y desarrollo óptimo del cultivo de frijol.

4. CONCLUSIONES

Se evidenció que a partir de la implementación del *software* Cropwat® el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) asentado en el municipio de Sibundoy es susceptible a la variación climática, especialmente lo relacionado con su crecimiento y productividad. En consecuencia, el uso de esta herramienta puede aportar a la estructuración de un manual de buenas prácticas agrícolas bajo el principio de adaptabilidad al cambio climático, considerando la importancia que tiene este cultivo para la economía local.

Es necesario continuar analizando factores importantes para la siembra, el crecimiento y el desarrollo del cultivo de frijol, como la capacidad de campo, ya que como se evidenció en la simulación es uno de los factores que posiblemente se está viendo más afectado por la variación climática en la zona de estudio, por lo que es pertinente evaluar su comportamiento e incidencia tanto en el cultivo abordado en este estudio como en otros de relevancia para la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. D. Chukalla , M .S. Krol, A. Y. Hoekstra, “Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching”, *Hydrol Earth Syst Sci*, vol 19, no 12, pp. 4877-4891, 2015. doi:10.5194/hess-19-4877-2015.
- [2] A. M. Peñaloza-Sánchez, A. Bustamante-González, S. Vargas-López, J. L. Jaramillo-Villanueva, A. Quevedo-Nolasco, “Water footprint of onion (*Allium cepa* L.) and husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) crops in the region of Atlixco, Puebla, Mexico”, *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 11, no 5, pp.1-29, 2020. doi:10.24850/J-TYCA-2020-05-01.
- [3] A. Arifjanov, T. Apakhodjaeva, S. Akmalov, “Calculation of losses for transpiration in water reservoirs with using new computer technologies”. In: International Conference on Information Science and Communications Technologies: Applications, Trends and Opportunities, ICISCT 2019, 2019. doi:10.1109/ICISCT47635.2019.9011883.
- [4] A. A. S. Guerra, P. A. A. Mena, M. M. E. Burbano, M M. F. Burbano, P. L. M. Pardo, “Estudio del manejo, clasificación y recolección de fitosanitarios en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Sibundoy, Putumayo (Colombia)”, *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol 12, no (1), pp. 133-152, 2021.
- [5] Corpoamazonia. “Producción Limpia y buenas prácticas ambientales aplicadas al cultivo de frijol en el Valle de Sibundoy, Putumayo”. Mocoa, 2007.
- [6] DANE, “Censo Nacional de Población y Vivienda 2018”. Bogotá. Bogotá D.C,2020.
- [7] A. M. Toro-Trujillo, R.Arteaga-Ramírez, M.A. Vázquez-Peña, L.A. Ibáñez-Castillo LA, “Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia”. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 7, no 6, pp.105-122, 2016.

- [8] R.R. Arteaga, M. V. Ángeles, P. M. A. Vázquez, "Programa CROPWAT para planeación y manejo del recurso hídrico", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol 2, no 2, pp.179-195, 2011.
- [9] J. Castro, J. E. A. Martínez, "Formulación del Plan de Gestión Ambiental para el municipio de Sibundoy, Putumayo. Tomo I". Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, San Juan de Pasto, Colombia, 2008.
- [10] U. Surendran, C. M. Sushanth, E. J. Joseph, N. Al-Ansari, Z. M. Yaseen (2019) "FAO CROPWAT model-based irrigation requirements for coconut to improve crop and water productivity in Kerala, India", *Sustainability*, vol 11, no 18, pp. 5132.
- [11] E. J.A. Escalante, E. L. H. Escalante, G. M. T. Rodríguez, "Producción de frijol, en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido", *Terra Latinoamericana*, vol 19, no 4, pp. 309-315, 2001.
- [12] J. Doorenbos, A.H. Kassam. "Efectos del agua sobre el rendimiento en los cultivos. Estudios de riego y drenaje. FAO Boletín 33 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia, p. 212, 1980.
- [13] K. E. Saxton, W. J. Rawls, J. S. Romberger, R. I Papendick "Estimating generalized soil-water characteristics from texture" *Soil Science Society of America Journal*, vol 50, no 4, pp. 1031-1036, 1986. doi:10.2136/sssaj1986.03615995005000040039x.
- [14] J. Reyes-Matamoros, D. Martínez-Moreno, R. Rueda-Luna, T. Rodríguez-Ramírez "Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero", *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol 1, no 2, pp. 191-203, 2014.
- [15] O. González-Cueto, B. Abreu-Ceballo, M. Herrera-Suárez, E. López-Bravo "Water Use for Bean Irrigation on Eutric Cambisol Soils", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol 26, pp. 71-77, 2017.
- [16] BID "Intervenciones y Tecnologías Ambientalmente Racionales (TAR) para la adaptación al cambio climático del sector agropecuario de América Latina y El Caribe", 2019.
- [17] E. Katungi, C. Larochelle, J. Mugabo, R. Buruchara, "Climbing bean as a solution to increase productivity in land-constrained environments: Evidence from Rwanda". *Outlook on Agriculture* vol 48, no 1, pp. 28-36, 2018. doi:10.1177/0030727018813698.
- [18] L. J. A. Cleves, C. J. Toro, B. L. F. Martínez BLF "Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica", *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol 10, no 1, pp.149-163, 2016.
- [19] C. Barrios-Pérez, P. Álvarez-Toro, "Caracterización agroambiental de sistemas de producción de maíz y frijol en Colombia", *CCAFS Working Paper no. 184*. Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), 2016.
- [20] S. J. J. Cabrera, A. O. Díaz "Estudio de factibilidad para el montaje de una planta procesadora de residuos de cosecha de frijol para la elaboración de tableros aglomerados en el municipio de Sibundoy, Putumayo", tesis de pregrado, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, 2011.

- [21] M. Sarkar, S. Datta, S. Kundagrami, "Global climate change and mung bean production: A roadmap towards future sustainable agriculture", *Sustaining Future Food Security in Changing Environments*. Pp. 99-119, 2017.
- [22] A. Lozano-Povis, C. E. Álvarez-Montalván, N. Moggiano, "El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática", *Scientia Agropecuaria*, vol 12, pp.101-108, 2021.
- [23] C. W. Loaiza, T. A. Reyes, Y. E. Carvajal, "Aplicación del índice de sostenibilidad del recurso hídrico en la agricultura (ISRHA) para definir estrategias tecnológicas sostenibles en la microcuenca Centella", *Ingeniería y Desarrollo*, vol 30, pp. 160-181, 2012.
- [24] M. E. Morales-Santos, C. B. Peña-Valdivia, A. García-Esteva, G. Aguilar-Benítez, J. Kohashi-Shibata, "Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie", *Agrociencia*, vol 51, pp. 43-62, 2017.

Diseño del sistema de compras aeronáuticas para consolidar los canales de suministro en la Fuerza Aérea Colombiana

Design of the aeronautical procurement system to consolidate supply channels in the Colombian Air Force

Julio-Mario Daza-Escorcía^{1,2}

Jeimmy Nataly Buitrago Leiva³

Yeisson Alexander Rincón Cuta⁴

Ricardo Rafael Varela Castillejo⁵

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9731>

RESUMEN

Este artículo presenta el rediseño de un sistema de compras aeronáuticas para consolidar los canales de suministro en la Fuerza Aérea Colombiana, basado en una reingeniería de procesos que se enfoque en la simplificación de operaciones innecesarias mediante la aplicación de herramientas de ingeniería. El rediseño propuesto se desarrolla en dos fases: la caracterización de las operaciones logísticas del proceso de compras y el diseño de un sistema de inteligencia de negocios. Este planteamiento presenta mejoras considerables en cuando a la planeación y el seguimiento del proceso de compras, y en la reducción de tiempos en la entrega de material aeronáutico, entre otros.

Palabras claves: aeronáutica de repuestos, modelo de compras aeronáutico, inteligencia de negocios, reingeniería de procesos.

ABSTRACT

This paper presents the redesign of an aeronautical purchasing system to consolidate supply channels in the Colombian Air Force. The proposed redesign is based on a process reengineering, focused on the simplification of unnecessary operations through the application of engineering tools. The redesign is carried out through two phases. The first called the characterization of the logistics operations of the purchasing process and the second called the design of a business intelligence system. The proposed redesign presents considerable improvements in the planning and monitoring of the purchasing process, reduction of times in the delivery of aeronautical material, among others.

Keywords: Aeronautical spare parts, Aeronautical Purchasing Model, Business Intelligence, Process Reengineering.



Cómo citar este artículo: J. Daza-Escorcía, J. Buitrago-Leiva, Y. Rincón Cuta and R. Varela Castillejo. "Diseño del sistema de compras aeronáuticas para consolidar los canales de suministro en la Fuerza Aérea Colombiana". *Ingeniare*, vol. 19, no. 33, pp. 29-40, Diciembre 2022.

¹ Autor correspondiente.

² Universidad de los Andes (Grupo de Investigación PyLO). jm.dazae@uniandes.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4557-5150>

³ Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea (EPFAC). jeimmy.buitrago@epfac.edu.co

⁴ Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea (EPFAC). yeisson.rincon@epfac.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5086-3985>

⁵ Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea (EPFAC). ricardo.varela@epfac.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7369-7406>

1. INTRODUCCIÓN

La Fuerza Aérea Colombiana (FAC), como autoridad reguladora de la aviación del Estado, tiene a su servicio una flota heterogénea de más de 30 aeronaves, en las que realizan operaciones aéreas para cumplir su misión institucional. En la actualidad, más de tres cuartas partes del total de aeronaves superan los 20 años de servicio, ocasionando que los tiempos de entrega en elementos aeronáuticos para las actividades de mantenimiento sean cruciales en el éxito misional. El proceso de gestión de compras presenta falencias en el estudio de mercado y la adquisición de elementos aeronáuticos, debido a que se considera un sector de alto valor comercial y muy limitado, lo cual en algunas ocasiones genera sobrecostos a los materiales por los intermediarios dentro del proceso de compra. Esto trae consigo demoras en las entregas del material, afectando la planeación y disponibilidad de aeronaves para el cumplimiento de la misión.

Por estas razones, surge la necesidad estructurar un sistema de compras en el que predominen los fabricantes originales de los equipos o, en su defecto, representantes autorizados, optimizando las adquisiciones a través de acuerdos comerciales para consolidar los procesos que suplan las necesidades requeridas.

Con base en lo anterior, se propone el rediseño de un sistema de compras aeronáuticas para consolidar los canales de suministro en la Fuerza Aérea Colombiana, basado en una reingeniería de procesos que se enfoque en la simplificación de operaciones innecesarias, mediante la aplicación de herramientas de ingeniería. El rediseño se desarrolla en dos fases: la caracterización de las operaciones logísticas del proceso de compras y el diseño de un sistema de inteligencia de negocios.

Este artículo se ha estructurado en cinco secciones. En primer lugar, se presenta el estado del arte de los modelos de integración de procesos de distribución de partes aeronáuticas. Luego, se establece la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación. Seguidamente se presentan el diagnóstico de los procesos de distribución de partes aeronáuticas reparadas entre las unidades de la Fuerza Área Colombiana y el modelo de integración de procesos de distribución de partes, identificando sus ventajas prácticas y definiendo las directrices para su posterior implementación. Finalmente, se establecen unas conclusiones y consideraciones sobre el modelo planteado.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El sistema de compras en la logística aeronáutica hace referencia a los procedimientos o actividades que se integran para generar un producto o un servicio, permitiendo una mejor planificación, gestión y control de los inventarios dentro de la organización, y mejorando los canales de comunicación y suministro de información en el momento requerido.

El proceso de adquisición se convierte en un concepto clave en la cadena de suministros de cualquier empresa, que incluye las actividades relacionadas con la búsqueda y adquisición de insumos requeridos para satisfacer una demanda y necesidades. Dichas actividades deben estar sincronizadas para no afectar ningún eslabón en la cadena ni generar sobrecostos innecesarios.

La transformación de la Fuerza Aérea Colombiana pretende especializar al personal en las diversas áreas, de acuerdo con los siguientes macroprocesos: Comando de Apoyo a la Fuerza (CAF), Comando de Personal (COP) y Comando de Operaciones Aéreas (COA), para el fortalecimiento y cumplimiento de la misión institucional. El CAF, en el que se encuentra la gestión administrativa, se creó con el fin de mantener e incrementar el soporte logístico de la institución, mediante la integración de procesos, para fortalecer la gestión de adquisiciones.

Al mejorar el proceso del sistema de compras de la fuerza aérea se logra más eficiencia en sus procesos, mediante una correcta estructuración y gestión administrativa alineada con las normas y leyes de contratación estatal nacional e internacional. No obstante, en las etapas de contratación se pueden encontrar dificultades y aspectos que demoran el proceso, las cuales tienen su origen en la ejecución y no en su estructuración.

Por esta razón, se presenta la teoría de los recursos y capacidades, que como lo expresa en [1], es una herramienta que permite determinar las fortalezas y debilidades internas que tiene una organización, logrando el desarrollo de las ventajas competitivas. En ese mismo sentido, en [2] plantean que permite identificar los recursos y capacidades con el fin de crear una estrategia para utilizar las fortalezas y proteger las debilidades.

Otras teorías en las que se apoya este estudio son la Arquitectura Empresarial (AE) y la Inteligencia de Negocios (BI). Para [3], AE es un modelo que permite que una organización gestione los procesos e implemente nuevas estrategias partiendo de la integración de los sistemas de información, datos, información e infraestructura tecnológica, apoyando los procesos y generando estrategias que permitan la eficiencia de la compañía.

Por su parte, [4] sostienen que el BI es el conjunto de estrategias, aplicaciones, datos, productos, tecnologías y arquitectura técnicas enfocados en la administración y creación de conocimiento sobre el medio, a través del análisis de los datos existentes en una organización o empresa. En el mismo sentido, la empresa Gartner define el BI como un término genérico que incluye las aplicaciones, infraestructura, herramientas y las mejores prácticas que permiten el acceso y el análisis de la información, para mejorar y optimizar las decisiones y rendimiento.

Para [5] la teoría de costes de transacción explica las relaciones que se pueden presentar entre los proveedores y las empresas o clientes, quienes pueden tener diferentes niveles de inversión. Dependiendo el cliente se realizan acuerdos con otro proveedor, incrementando los costos del producto final.

Finalmente, el estudio se apoya en la teoría de las organizaciones, basado en un enfoque competitivo. Como lo menciona [6], se basa en los recursos de la empresa, dando importancia a la estructura interna de la organización con el fin de generar estrategias que permitan el desarrollo de la compañía. Así mismo, resalta la importancia de una ventaja competitiva, mediante el aprovechamiento de los recursos y capacidades, aportando valor al producto.

3. MÉTODOS

Metodológicamente, esta investigación se considera descriptiva [7], debido a que se describe el proceso de la gestión de compras en la Fuerza Aérea Colombiana, determinando sus procedimientos y el impacto que genera frente a los canales de suministro.

Para el diseño de esta propuesta, la investigación tiene un enfoque mixto, ya que se requiere la consecución y análisis de datos cualitativos y cuantitativos, a través de lo cual se hace un diagnóstico de la situación actual de las demoras en las entregas del material, afectando la planeación y disponibilidad de aeronaves listas para el cumplimiento de la misión. Esto se logra consultando datos relevantes que permitan dar solución a los aspectos identificados [8]. En este sentido, el tipo de investigación es exploratorio y descriptivo.

Las fuentes y técnicas de información son primarias y secundarias, como libros, revistas académicas y científicas, documentos oficiales y artículos de investigación, así como informes técnicos y de investigación. En el desarrollo de la investigación se aplican instrumentos tipo encuesta o entrevista no estructurada, con el fin de obtener información primaria en diversas áreas relacionadas con el problema objeto de estudio.

Se trabaja a partir de un *focus group*, que consiste en reunir varias personas para discutir acerca de un tema específico y conocer sus opiniones o percepciones como usuarios del sistema actual en el envío y recepción de componentes aeronáuticos reparados en el país. Adicionalmente, se utilizó el método *e-focus group*, en el que se invitó a entrevistados calificados, quienes representan el target de interés para este proyecto, la discusión duró aproximadamente 60 minutos. Para guiar la discusión se realizó una combinación de preguntas predeterminadas, los participantes interactuaron con el moderador en tiempo real, generando conocimientos más profundos sobre el tema.

Se eligió el *e-focus group* para ahorrar gastos de viaje y reunir encuestados de todo el país de forma virtual y tener mayor representatividad de la muestra. Cabe destacar que a menudo los encuestados son más receptivos en línea que en persona, alcance valioso sobre todo para los temas sensibles como las órdenes y la planeación en la Fuerza Aérea Colombiana. Adicionalmente, en tiempos de pandemia se dificulta realizar reuniones presenciales. Para llevar a cabo lo anterior se utilizó un procedimiento que consta de cuatro elementos: entrevistas, encuestas, observación y estadísticas.

Se utilizó una metodología cuantitativa AHP [9], proceso analítico jerárquico, que se emplea para proyectos en los que se deben analizar múltiples criterios y que por la naturaleza del estudio se deben priorizar y valorizar. Este método tiene como fin escoger mediante criterios cualitativos o cuantitativos el proveedor más adecuado para la necesidad que se presenta. Usualmente, para lograr el objetivo este método utiliza un diseño gráfico de árbol jerárquico inicial que ilustran los criterios que se van a evaluar según su importancia. A su vez, la metodología AHP permite analizar datos poco certeros, que son evaluados según experiencia e intuición de profesionales.

Esta metodología se utiliza para resolver problemas en los cuales existe la necesidad de priorizar distintas opciones y posteriormente decidir la opción más conveniente. Las decisiones que se toman con el uso de esta técnica pueden variar, desde simple decisiones personales y cualitativas hasta escenarios de decisiones muy complejas y totalmente cuantitativas [10].

4. RESULTADOS

Para el análisis de la información se usaron variables cualitativas para identificar los proveedores de servicios de mantenimiento y partes aeronáuticas nacionales e internacionales más utilizados por la FAC. Para esto se consultó en la plataforma de contratación Secop, identificando las empresas contratistas de los últimos tres años, las cuantías y naturaleza de los contratos (de servicios y adquisición), obteniendo así información de los contratistas de los comandos aéreos, las áreas centralizadas (a través del Comando FAC) y las agencias de compras de la FAC.

Ajustando la información obtenida al objetivo general de la investigación, se filtraron los proveedores cuyo objeto contractual está encaminado a la adquisición de materiales, suministros y repuestos para las aeronaves de la FAC, ordenándolos ascendentemente de acuerdo con el valor total de las cuantías acumuladas en los procesos contractuales de las vigencias 2018-2019 y 2020 (Tabla 1).

Tabla 1. Portafolio de proveedores en procesos de adquisición FAC 2018 a 2020.

ÍTEM	PROVEEDOR	VALOR TOTAL ADJUDICADO PROCESOS	CANTIDAD PROCESOS ADJUDICADOS 2018 A 2020	CLASE
1	DESVARE AÉREO S.A.	\$ 7.906.861.686,99	19	ADQUISICIÓN
2	ANTARES AEROSPACE & DEFENSE S.A.S	\$ 5.071.763.270,00	5	ADQUISICIÓN
3	INTERNATIONAL LOGISTIC SERVICE SAS	\$ 4.610.866.657,79	16	ADQUISICIÓN
4	CORPORACIÓN DE LA INDUSTRIA AERONÁUTICA COLOMBIANA S.A	\$ 3.115.543.452,00	3	ADQUISICIÓN
5	STAR LOGISTICS SAS	\$ 3.107.350.926,26	13	ADQUISICIÓN
6	COMPAÑÍA INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO CIMA LTDA	\$ 1.807.192.569,69	12	ADQUISICIÓN
7	ETAA DE COLOMBIA S.A.S.	\$ 1.099.202.538,04	8	ADQUISICIÓN
8	MANTENIMIENTOS Y SERVICIOS DE AVIACIÓN S.A.S.	\$ 911.400.000,00	1	ADQUISICIÓN
9	UNIÓN TEMPORAL TRAILERS 2020	\$ 884.000.000,00	1	ADQUISICIÓN
10	UNIÓN TEMPORAL SIS STAR 2020	\$ 609.698.150,00	1	ADQUISICIÓN
11	FULL SOLUCIONES EMPRESARIALES SAS	\$ 568.134.214,90	2	ADQUISICIÓN
12	MERCAÉREO S.A.S	\$ 531.308.119,41	4	ADQUISICIÓN
13	LONA GROUP SAS	\$ 519.900.000,00	1	ADQUISICIÓN
14	INTERNATIONAL WB	\$ 486.600.000,00	1	ADQUISICIÓN
15	AVIATION GROUP S.A.S.	\$ 465.867.500,00	1	ADQUISICIÓN
16	HB INTERNATIONAL CORP. SOCIEDAD POR ACCIONES SIMPLIFICADA SAS	\$ 455.760.552,79	3	ADQUISICIÓN
17	ABC INTERCARGO SAS	\$ 350.558.988,00	4	ADQUISICIÓN
18	MAINPETROL S.A.S	\$ 329.035.000,00	1	ADQUISICIÓN
19	IMPOINTER S.A.S.	\$ 318.733.376,96	7	ADQUISICIÓN
20	SUMINISTROS INDUSTRIALES DE COLOMBIA S.A.S	\$ 309.391.647,01	9	ADQUISICIÓN
21	COMERCIALIZADORA INTEGRAL BDT S.A.S	\$ 164.727.282,99	1	ADQUISICIÓN
22	UT S&S MATERIALES CAMAN 2018	\$ 158.044.014,00	2	ADQUISICIÓN
23	CENTRO FERRETERO MAFER SAS	\$ 134.710.000,00	1	ADQUISICIÓN
24	SOLUCIONES INTEGRALES SETMA SAS	\$ 118.890.387,00	5	ADQUISICIÓN
25	FLY LOGISTIC SAS	\$ 100.980.320,04	2	ADQUISICIÓN
26	LLANTAS E IMPORTACIONES SAGU S.A.S.	\$ 96.579.091,00	3	ADQUISICIÓN
27	PINTUMOTRIZ AIRCRAFT SERVICE	\$ 93.379.159,00	1	ADQUISICIÓN
28	IMPORTACIONES Y SOLUCIONES DE INGENIERÍA S.A.S.	\$ 90.336.787,79	2	ADQUISICIÓN
29	INGENIERÍA COLOMBIANA DE PROYECTOS V&R SAS	\$ 66.129.000,00	1	ADQUISICIÓN
30	TECNI REPUESTOS INDUSTRIALES LTDA	\$ 64.887.130,00	2	ADQUISICIÓN
31	SUPLIDORES AERONÁUTICOS S.A.S.	\$ 62.981.229,00	2	ADQUISICIÓN
32	CENTRAL DE HERRAMIENTAS DE COLOMBIA SAS	\$ 47.788.500,00	1	ADQUISICIÓN
33	MIGUEL CÓRDOBA H AEROLOGISTICS SAS	\$ 45.535.171,00	1	ADQUISICIÓN
34	AGUA Y TIERRA LOGÍSTICA SAS	\$ 41.800.000,00	2	ADQUISICIÓN
35	TOOLBOX SOLUTIONS SAS	\$ 36.490.920,00	1	ADQUISICIÓN
36	DANZAFE IMPORTADORES ASOCIADOS SAS	\$ 33.071.631,00	1	ADQUISICIÓN
37	ANTIOQUEÑA DE LUBRICANTES SGP S.A.S.	\$ 28.659.000,00	1	ADQUISICIÓN
38	GRAN FERRETERÍA INDUSTRIAL SAS	\$ 23.462.000,00	2	ADQUISICIÓN
39	SERVICIOS, IMPORTACIONES, MANTENIMIENTO Y EQUIPO "SAS"	\$ 17.382.484,70	1	ADQUISICIÓN
40	CARLOS ANDRÉS GONZÁLEZ ORDUZ	\$ 14.535.728,00	1	ADQUISICIÓN
41	JAKO IMPORTACIONES SAS	\$ 11.746.000,00	1	ADQUISICIÓN
42	COMERCIAL RINO S.A.S	\$ 8.200.000,00	1	ADQUISICIÓN
	TOTAL GENERAL	\$ 34.919.484.485,36	147	

Fuente: Elaboración de los autores.

Para establecer la estratificación se utiliza la metodología AHP [9]. Para tal fin, se categorizan los proveedores de acuerdo con el tipo de producto que venden a la FAC en los procesos contractuales (Tabla 2).

Tabla 2. Categorías identificadas en proveedores

ÍTEM	TIPO DE RELACIÓN CONTRACTUAL	CATEGORÍAS DE ADQUISICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	ADQUISICIÓN	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS	Compra de equipos y herramientas para efectuar el mantenimiento de las aeronaves.
2	ADQUISICIÓN	MATERIALES Y SUMINISTROS	Compra de productos químicos, artículos textiles, de ferretería, grasas, lubricantes, pinturas y demás elementos necesarios para el mantenimiento de las aeronaves.
3	ADQUISICIÓN	REPUESTOS AERONAVES	Compra de repuestos reparables o consumibles para las aeronaves.
4	ADQUISICIÓN	SOPORTE LOGÍSTICO	Compra de equipo de apoyo, repuestos e insumos para soportar la operación de las aeronaves.

Fuente: Elaboración de los autores.

Identificadas las cinco categorías, a continuación se muestran los criterios de evaluación para proveedores de adquisición (Tabla 3).

Tabla 3. Criterios de evaluación para proveedores

ÍTEM	CRITERIO DE EVALUACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Calidad	En este criterio se verifica el cumplimiento de todas las especificaciones de tipo funcional, reglamentario, de seguridad, entre otras, de un producto o servicio.
2	Servicio posventa	En este criterio se verifica el desempeño del proveedor en los aspectos de atención a quejas y servicios después de realizada la venta. Cumplimiento de garantías, una vez el producto o servicio no cumpla las especificaciones de funcionalidad prometidas.
3	Confiabilidad	Se refiere a la probabilidad de que un sistema o componente pueda funcionar correctamente fuera de falla, por un tiempo específico. Más sencillamente, es la probabilidad de que un sistema o producto funcione.
4	Entrega en la fecha establecida	Este subcriterio participa en la calificación del cumplimiento, teniendo como referencia los tiempos prometidos por el proveedor para entrega del producto.
5	Entrega en las cantidades acordadas	Participa en la calificación del cumplimiento, teniendo como argumento las cantidades de productos que se van a recibir si es una compra de bienes.
6	Precio	Valor en el mercado del producto o servicio
7	Experiencia con la FAC	Cantidad de cuantías y procesos celebrados con la FAC

Fuente: Elaboración de los autores.

El siguiente paso es realizar la matriz de comparación por pares de las categorías de adquisición identificadas en los proveedores frente a los criterios establecidos, de acuerdo con los objetos contractuales especificados en la base de datos consultada en Secop II. Esto se observa en la Tabla 5 y se realiza utilizando la escala de Saaty [10] (Tabla 4).

Tabla 4. Escala de Saaty

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante al criterio B.
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Fuente: Adaptado de [9]

Tabla 5. Matriz de comparación por pares. Criterio calidad

CALIDAD	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS	MATERIALES Y SUMINISTROS	REPUESTOS AERONAVES	SOPORTE LOGÍSTICO
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS		5	0,14	1
MATERIALES Y SUMINISTROS	0,2		0,11	0,2
REPUESTOS AERONAVES	7	9		5
SOPORTE LOGÍSTICO	1	5	0,2	

Fuente: Elaboración de los autores.

Posteriormente, se normaliza la matriz de comparación por pares. Para lo cual, primero se suma cada columna (Tabla 6).

Tabla 6. Suma de columnas de la Matriz de comparación

CALIDAD	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS	MATERIALES Y SUMINISTROS	REPUESTOS AERONAVES	SOPORTE LOGÍSTICO
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS		5	0,14	1
MATERIALES Y SUMINISTROS	0,2		0,11	0,2
REPUESTOS AERONAVES	7	9		5
SOPORTE LOGÍSTICO	1	5	0,2	
SUMA DE CADA COLUMNA	9,20	20,00	1,45	7,20

Fuente: Elaboración de los autores.

Luego, se divide cada celda de la matriz por la sumatoria de su columna (Tabla 7).

Tabla 7. División de cada celda de la Matriz de comparación

CALIDAD	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS	MATERIALES Y SUMINISTROS	REPUESTOS AERONAVES	SOPORTE LOGÍSTICO
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS	0,11	0,25	0,10	0,14
MATERIALES Y SUMINISTROS	0,02	0,05	0,08	0,03
REPUESTOS AERONAVES	0,76	0,45	0,69	0,69
SOPORTE LOGÍSTICO	0,11	0,25	0,14	0,14

Fuente: Elaboración de los autores.

Con base en esta información se puede determinar la puntuación para cada categoría, que está dada por el promedio de cada fila en la matriz de comparación normalizada (Tabla 8).

Tabla 8. Puntaje para cada categoría

CALIDAD	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS	MATERIALES Y SUMINISTROS	REPUESTOS AERONAVES	SOPORTE LOGÍSTICO	PUNTAJE DE CADA CATEGORÍA
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS	0,11	0,25	0,10	0,14	0,15
MATERIALES Y SUMINISTROS	0,02	0,05	0,08	0,03	0,04
REPUESTOS AERONAVES	0,76	0,45	0,69	0,69	0,65
SOPORTE LOGÍSTICO	0,11	0,25	0,14	0,14	0,16

Fuente: Elaboración de los autores.

5.1. Implementación del modelo de puntuación

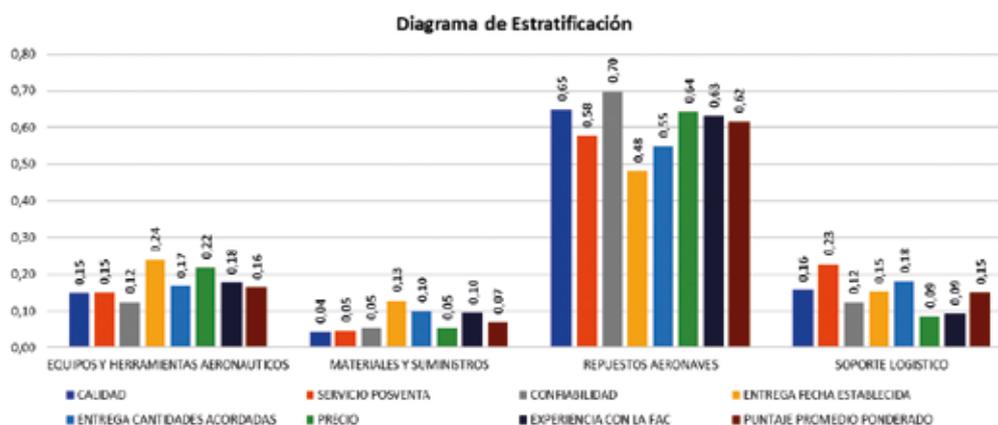
Con estos cálculos se cuenta con la información necesaria para jerarquizar utilizando el modelo de puntuación (Tabla 9).

Tabla 9. Modelo de puntuación final de AHP

MODELO DE PUNTUACIÓN FINAL DE AHP	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS	MATERIALES Y SUMINISTROS	REPUESTOS AERONAVES	SOPORTE LOGÍSTICO	PESOS DE LOS CRITERIOS
CALIDAD	0,09	0,03	0,39	0,10	0,28
SERVICIO POSVENTA	0,15	0,05	0,58	0,23	0,07
CONFIABILIDAD	0,12	0,05	0,70	0,12	0,25
ENTREGA FECHA ESTABLECIDA	0,24	0,13	0,48	0,15	0,14
ENTREGA CANTIDADES ACORDADAS	0,17	0,10	0,55	0,18	0,15
PRECIO	0,22	0,05	0,64	0,09	0,06
EXPERIENCIA CON LA FAC	0,18	0,10	0,63	0,09	0,04
PUNTAJE PROMEDIO PONDERADO	0,15	0,06	0,54	0,13	1,00

Fuente: Elaboración de los autores.

Para obtener el diagrama de estratificación con el modelo de puntuación final se grafican los resultados de los puntajes promedios ponderados de las categorías (Figura 1).

**Figura 1.** Diagrama de estratificación

Fuente: Elaboración de los autores.

Con base en lo anterior, la jerarquización de las categorías identificadas en los proveedores quedaría en el siguiente orden, de acuerdo con la importancia obtenida por el puntaje promedio ponderado (Tabla 10).

Tabla 10. Jerarquización de categorías

CATEGORÍA	PUNTAJE PROMEDIO PONDERADO
REPUESTOS AERONAVES	0,62
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS AERONÁUTICOS	0,16
SOPORTE LOGÍSTICO	0,15
MATERIALES Y SUMINISTROS	0,07

Fuente: Elaboración de los autores.

5. CONCLUSIONES

La evaluación de la capacidad de los proveedores es una actividad que realizan todas las empresas con el fin de valorarlos. Dicha actividad es vital para garantizar la entrega del producto o servicio al cliente final. Una mala evaluación afecta la calidad del producto o servicio prestado, retrasando las entregas y afectando la imagen organizacional.

Esto abre la puerta y la necesidad de efectuar un análisis de las capacidades de los proveedores de los entes públicos y privados, de manera que se genere un aporte significativo al desarrollo de la industria aeroespacial del país, fortaleciendo los procesos internos de estas instituciones, entre las que se encuentra la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), que gracias a las facultades que le otorga el Decreto 2937 del 5 de agosto de 2010, se le reconoce como la autoridad aeronáutica de la aviación del Estado, siendo así la institución llamada a liderar el desarrollo de la industria aeronáutica del país.

Con base en lo anterior, se propone desarrollar un modelo de evaluación de la capacidad de los proveedores para la industria aeronáutica colombiana, realizando un análisis documental de los aspectos estratégicos que se deben tener en cuenta en su valoración y evaluación.

6. RECONOCIMIENTOS

Esta investigación hace parte del proyecto de investigación titulado “Modelo de evaluación de la capacidad de proveedores para la Fuerza Aérea Colombiana”, financiado por el grupo académico de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana (EPFAC) y del programa de Maestría en Logística Aeronáutica (MAELA). Está inscrito en la línea de investigación “Gestión, sistemas logísticos e investigación de operaciones” del Grupo de Investigación en Logística y Administración (Giloga).

REFERENCIAS

- [1] Aerocivil de Colombia, Estadísticas operacionales, 2019. Obtenido de Aerocivil de Colombia: <http://www.aerocivil.gov.co/atencion/estadisticas-de-las-actividades-aeronauticas/estadisticas-operacionales>.
- [2] Aldana, R., Bacca, A., El cross docking como herramienta importante en la cadena de abastecimiento. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2014.
- [3] Betancourt, O., Estudio de viabilidad para la implementación de un sistema cross docking en la transportadora O&N que sirva para mejorar la eficiencia en los despachos. Yumbo: Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, 2014.
- [4] Casanovas, A., Cuatrecasas, L., Logística empresarial. Barcelona: Grupo Planeta (GBS), 2003.
- [5] Cruz, A., Gestión de inventarios. COML0210. Málaga, Chile: IC Editorial, 2017.
- [6] Esan, ¿Qué es el cross docking y para qué sirve?, 2018. Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2018/10/que-es-el-cross-docking-y-para-que-sirve/>.
- [7] Fuerza Aérea Colombiana, Procedimiento para el envío, recibo y tiempos de almacenamiento de productos aeronáuticos utilizados por la Fuerza Aérea Colombiana. Bogotá: Fuerza Aérea Colombiana, 2019.
- [8] Fuerza Aérea colombiana, Poder aéreo en Colombia evolución de capacidades en las bases de la Fuerza Aérea Colombiana 1916-2019. Bogotá: Fuerza Aérea colombiana / Departamento Estratégico Asuntos Jurídicos y Derechos Humanos, 2020.
- [9] A. Taoufikallah. Selección del sistema de gestión de la producción mediante la metodología AHP. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla. Universidad de Sevilla (s.f.). [sitio web]. [Consultado: 21 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70496/>
- [10] Garrido, Bocanegra, Sánchez, Diseño de un centro logístico para el comando aéreo de transporte Catam. Bogotá, 2017.

Sistemas interfaces cerebro-computador (BCI): amenazas y ataques cibernéticos

Brain-Computer Interfaces (BCIs): Threats and Cyber Attacks

Juan Camilo Ospina-Cuervo¹
Héctor Fernando Vargas Montoya²

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9733>

RESUMEN

La interface cerebro computador (BCI, por su sigla en inglés) es una tecnología con la cual se pueden adquirir y procesar los valores obtenidos de señales cerebrales, con el objeto de pasarlos a dispositivos finales para que interactúen de acuerdo con lo dispuesto por el cerebro. En el proceso tecnológico se pueden tener ataques y vulnerabilidades de ciberseguridad, como la negación del servicio, robo o alteración de información, que hacen del sistema un elemento vulnerable, permitiendo eventos que están fuera del control de los usuarios finales o de los administradores. El objetivo de este artículo es presentar los riesgos de seguridad que pueden afectar la información sobre las interfaces cerebro computador (BCI) locales y ofrecer una propuesta para controlar las vulnerabilidades encontradas en un ambiente de investigación. Como resultado se obtuvieron una serie de riesgos que pueden impactar la disponibilidad, integridad o confidencialidad de los datos procesados en el sistema, así como un grupo de controles.

Palabras claves: Ciberataques, gestión de riesgo, interfaces cerebro computador, sistema BCI, vulnerabilidad.

ABSTRACT

The Brain-Computer Interfaces-BCI, is a technology with which the different values obtained from brain signals can be acquired and processed in order to later pass them to final devices so that they interact according to what is arranged by the brain. Within the technological process, can have vulnerabilities and cybersecurity attacks such as denial of service, theft or alteration of information, making the system a vulnerable element, which can allow events that are beyond the control of end users or administrators. This article's objective is to present the security risks that may affect information on local Brain Computer Interfaces (BCI) and to offer a proposal on how the vulnerabilities found in a research environment could be controlled. As a result, a series of risks were obtained that can impact the availability, integrity or confidentiality of the data processed in the system, as well as a group of controls.

Keywords: Brain Computer Interfaces, Cyberattacks, Risk Management, BCI System, Vulnerability



Cómo citar este artículo: J. Ospina Cuervo and H. Vargas Montoya. "Sistemas interfaces cerebro-computador (BCI): amenazas y ataques cibernéticos". *Ingeniare*, vol. 19, no. 33, pp. 41-52, Diciembre 2022.

¹ Candidato a Magíster en seguridad informática, Ingeniero de telecomunicaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM, Medellín. jotaccuervo@gmail.com; juanospina87600@correo.itm.edu.co. ORCID: 0000-0002-4629-023X7

² Msc. en seguridad TIC, Ingeniero de sistemas del Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM, Medellín. hvargasm@gmail.com; hectorvargas@itm.edu.co. ORCID: 0000-0002-0861-2883

1. INTRODUCCIÓN

La identificación de un riesgo está ligada a determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento de ciberseguridad sobre una vulnerabilidad y el impacto que pueda generar. Para ello, se cuenta con modelos conceptuales de análisis que proveen una guía para establecer las características con las cuales se pueden determinar los eventos adversos a los que se pueden exponer los sistemas. Para reducir los posibles riesgos es importante contar con directrices donde la privacidad y el cuidado de la información sea indispensable, así como la definición de mecanismos para la toma de decisiones frente a un ataque de seguridad.

Considerando que la interface cerebro computador BCI (*Brain Computer Interfaces*) es una tecnología a través de la cual pasa y se procesa información personal o de sumo cuidado para la toma de decisiones en el sector de la medicina, la investigación, los videojuegos y la productividad, se requieren elementos que permitan reducir los posibles riesgos que pongan en peligro el sistema y los datos de los pacientes y usuarios finales [1], [3].

Esta tecnología monitorea las señales electroencefálicas (ondas electromagnéticas producidas por el cerebro) que se implementa en el sistema BCI, una vez se capturan los datos se deben llevar a un dispositivo de salida que está ligado a un conjunto de herramientas tecnológicas, equipos o programas que recopilan la información procedente del sistema cerebro computador. Estos dispositivos pueden ser celulares, tabletas, computadores, prótesis motoras o robotizadas, brazos robóticos y algunas interfaces ligadas al manejo de equipos, permitiendo a los usuarios controlarlos a través de las señales cerebrales. Dicha información puede estar almacenada de manera local en un equipo de cómputo o celulares, o de manera remota utilizando bases de datos que se encuentran en la nube para el uso de los usuarios de los sistemas BCI. Por esta razón, el manejo de la información local o en tránsito en la red de comunicación puede ser vulnerable a ataques informáticos que atentan contra su confidencialidad (develación de datos personales), disponibilidad (no acceso al sistema) o integridad (modificación no autorizada). En ese sentido es necesario disponer de información fiable y relevante sobre las condiciones de los dispositivos finales y facilitar la conexión a los usuarios de la tecnología BCI. Por esto es fundamental contar con mecanismos o procesos que permitan establecer un nivel de seguridad para proteger la información y los datos procesados [1], [12], [13].

1.1 Componentes de un sistemas BCI

Para la adquisición de los datos se pueden utilizar programas como el Sistema Electroencefalógrafo (EEG), Emotiv G y Sistema EEG Neurosky Mindset, que toman muestras de datos de manera externa en el cráneo y no requieren procedimiento quirúrgico para su instalación y uso. Estos son sistemas comerciales que se utilizan en el mercado. Por otro lado, se encuentran los sistemas BCI interno,

que son pequeños chips que instala un especialista de manera quirúrgica en el interior del cráneo del paciente. Igual que los dispositivos externos, recogen las señales producidas por el cerebro y las envía a dispositivos finales y aplicaciones, teniendo niveles más altos y fiabilidad en la recolección de los datos. Comercialmente se encuentran referencias como Neuralink [64].

Estos dispositivos recogen la señal y la envía a un instrumento cercano a través de medios de transmisión como Bluetooth, WiFi o conexiones cableadas hacia un dispositivo que recopila la información, la procesa, extrae sus características y la clasifica (datasets). En este sistema se cumplen varios procesos en el que los datos se filtran de manera que puedan identificar patrones y estímulos que produce el usuario [1], [13], [19]. Posteriormente, el sistema BCI envía la información procesada a los dispositivos de salida que están ligados a un conjunto de herramientas tecnológicas, equipo o programas. Estos dispositivos pueden ser celulares, tabletas, computadores, prótesis motoras y robotizadas como sillas de ruedas o brazos robóticos, así como interfaces ligadas al manejo de automóviles [3], [13].

Un sistema BCI consta al menos de tres etapas que permiten el funcionamiento del sistema (Figura 1).

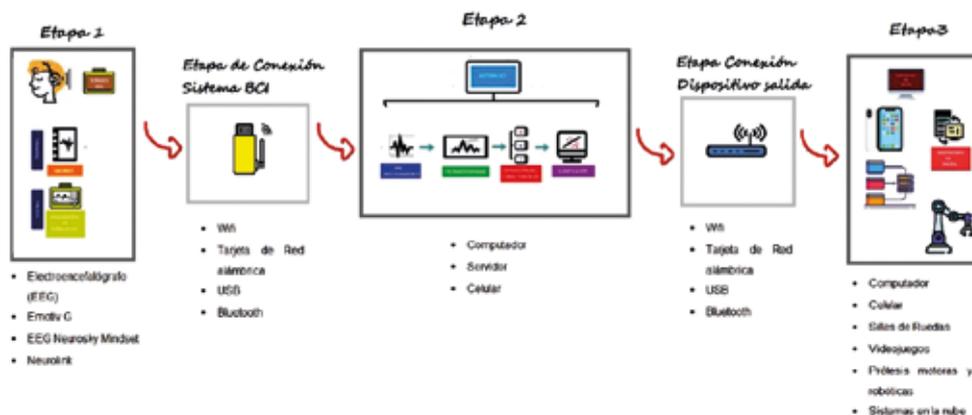


Figura 1. Componentes de un sistema BCI.

Fuente: Elaboración propia.

En la etapa 1 se capturan y digitalizan las señales. En este caso el sujeto se conecta a un electroencefalógrafo (EEG), luego se le presentan ciertas imágenes con el fin de que imagine cómo realizaría el movimiento o la actividad que se le está mostrando [1], [12], [13]. Luego, a través de algún sistema de comunicaciones se envían los datos.

En la etapa 2 se hace el preprocesamiento, cuya función principal es filtrar el ruido producido por artefactos u otras acciones no propias de la actividad, debido a que en la fase 1, por el tipo de componentes que se utilizan, se puede generar distorsión o pérdida en la señal, lo cual opaca las

señales que genera el cerebro para su interacción y se requiere obtener toda la información relevante posible [2]. Por otra parte, este tipo de dispositivos pueden ser víctimas de ataques de malware para el firmware que pueden cifrar los datos del equipo, cambiando sus configuraciones de fábrica y los códigos fuente, las firmas digitales para la conexión con los dispositivos finales y las aplicaciones, así como su cifrado, imposibilitando su funcionamiento y compilando información del equipo en segundo plano. En esta etapa también se clasifica el sistema BCI, identificando y reconociendo patrones de las actividades del EEG, recopilando las señales y asociándolas a las tareas mentales [3].

Finalmente, en la etapa 3 se recogen los datos y se llevan a un dispositivo de salida en el que se recopila la información procedente del sistema cerebro-computador para su interacción final [13].

1.2 Ataques informáticos sobre los componentes BCI

Teniendo en cuenta las diversas tecnologías e información que utilizan y generan los sistemas BCI, las amenazas informáticas se pueden presentar de diferentes formas. Algunas de estas amenazas aplican igualmente a otros sistemas tecnológicos, pero tienen relevancia para esta investigación, toda vez que pueden generar impactos negativos afectando el *hardware* y el *software*. Dichos ataques son:

- *Man in the Middle*. Este ataque consiste en capturar las comunicaciones que hay entre dos equipos o sistemas, escuchando, modificando o redireccionando los datos que cursan [10].
- ARP Spoofing. Este ataque modifica las tablas ARP (falsificación), permitiendo que un tercero pueda capturar los datos que circulan por la red [6].
- Códigos maliciosos (malware). *Software* construido para fines malintencionados. Entre sus funciones se encuentra el robo de datos, alteración de sistemas, bloqueo, cifrado y solicitud de rescate [4].
- Robo o alteración de información. En este caso, a través de alguna vulnerabilidad el atacante podría extraer información de las bases de datos o de los sistemas de almacenamiento. Así mismo, podría inyectar algún código para alterar información y dañar el sistema.
- SQL injection.: En consideración de la posibilidad de tener bases de datos para el almacenamiento final de la información, este ataque permite, a través de sentencias de tipo SQL, extraer, modificar o borrar datos e información almacenada [15].
- Denegación de servicios (DoS). La negación de servicio se puede presentar de diversas formas. La más común es el alto consumo de recursos, como el ancho de banda, CPU o memoria. También se puede presentar cuando se elimina o modifica algún archivo de configuración. El objetivo final es no entregar el servicio a los sistemas o personas que requieren el acceso [5].
- Inyección de código. Esto se puede realizar a sistemas y lenguajes de programación permitiendo la inyección de código a las aplicaciones, lo cual genera una pérdida potencial del funcionamiento u otras funcionalidades no previstas en la construcción inicial de las aplicaciones [7].

2. METODOLOGÍA

Para la obtención de los resultados se ejecutaron las siguientes fases (Figura 2):

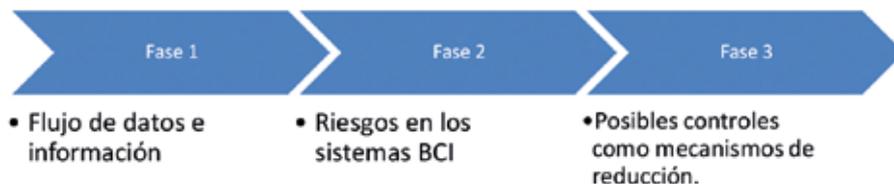


Figura 2. Metodología que se siguió para la obtención de resultados.

Fuente: Elaboración propia.

En la Fase 1 se identificaron las características de los datasets que se desprenden de la recopilación de datos, como su origen, clase y etiquetados, lo cual brinda información sobre un sistema BCI. Para esto fue necesario conocer el posible flujo de datos que se genera en las etapas del sistema y conocer un poco más la tecnología y sus componentes. Respecto a la Fase 2, partiendo de los datos e información que fluye a través del sistema, junto con las amenazas informáticas, se obtiene un mapa de riesgos que se realiza en una matriz 3x3 para efectos prácticos, iniciando con un levantamiento de activos de información asociados a un BCI; luego se hace una revisión de las posibles amenazas y vulnerabilidades, obteniendo los riesgos; seguidamente, cada riesgo se califica dependiendo de la probabilidad de ocurrencia e impacto que puede generar si se consolida.

Finalmente, se obtiene un mapa de riesgos con tres zonas de impacto (Figura 3): Alto (c), Medio (b) y Bajo (a). De esa forma es más fácil entender los niveles de impacto [11].

		Consecuencia		
		1	2	3
Probabilidad	3	b	c	
	2	b		
	1	a		b

Figura 3. Mapa de riesgos de 3x3 usado para el cálculo final.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular los riesgos, con base en la matriz 3x3, la probabilidad de ocurrencia va de 1 a 3, siendo 1 la menor probabilidad y 3 la mayor. De manera similar se hace para calcular la consecuencia o impacto (1 es el menor impacto y 3 el mayor).

Por último, se generan recomendaciones de protección que buscan reducir los posibles riesgos sobre los sistemas BCI. Estas recomendaciones se asocian directamente con los riesgos encontrados (amenazas que explotan vulnerabilidades sobre los activos identificados en un BCI) en las zonas media y alta, considerando los riesgos bajos como aquellos que pueden ser asumidos, y se califican en probabilidad e impacto en el mapa de riesgos (Figura 3).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Flujo de datos e información

La adquisición de datos se toma por señales electromagnéticas, en las que sus frecuencias y potencias se digitalizan por medio de sensores fijados en la cabeza, tomando las muestras desde la corteza cerebral del sujeto conectado al sistema BCI [1], [12], [19]. Allí, estas corrientes iónicas se convierten a impulsos eléctricos [3], [13]. Esta información la envían los dispositivos de comunicación utilizando ondas de radio para transmitir en cortas distancias.

Finalmente, los datos de entrenamiento se guardan en el servidor para realizar pruebas y procesos del BCI. Por su parte, la información de salida se envía a través de dispositivos de comunicación a los equipos cercanos, donde están los aplicativos que los controlan para que el usuario final pueda utilizar el sistema BCI. Las bases de datos que se generan en la interface se recopilan y se guardan en el servidor, ya sea local o en la nube [8].

3.2 Análisis de riesgos

Para el flujo de datos y los activos relacionados en las fases, el proceso de riesgos establece que se deben buscar las posibles amenazas y vulnerabilidades, indicando la probabilidad de ocurrencia y el impacto que pueden generar [15]. Al final, la consolidación de los riesgos en una matriz permite visualizar los posibles impactos en todo el sistema BCI a través de las fases. La norma ISO 27005:2018 indica que la matriz de riesgos debe ser de 5x5, lo cual la hace más completa a la hora de tomar una decisión respecto a los niveles de exposición de los riesgos. Para este caso de estudio se optó por una matriz 3x3 (como se indicó en la metodología).

De acuerdo con el flujo de información, para el análisis de riesgos se ejecutan los siguientes pasos: a) inventario de activos, b) amenazas y vulnerabilidades, c) construcción del escenario de riesgos, d) calificación de probabilidad e impacto y e) obtención del mapa de riesgos.

Se inicia, entonces, con los activos de información, que son claves y están relacionados con cada una de las fases y el flujo de información. Los siguientes son los activos más relevantes: Sistema EEG,

Protocolos WiFi y bluetooth, lenguaje de programación, página web, base de datos, almacenamiento local o nube y personas.

Respecto a las amenazas y vulnerabilidades, se tomaron las ya definidas: *Man in the Middle*, ARP Spoofing, códigos maliciosos (malware), robo o alteración de información, SQL injection, denegación de servicios (DoS) e inyección de códigos. Adicionalmente, está la ingeniería social, que es una amenaza asociada a las personas. Dichas amenazas tienen la posibilidad de explotar vulnerabilidades como la falta de parches, falencia en el control de acceso, falla en el flujo de datos, falencia en el monitoreo, no capacitación, no identificación de procesos o personas accediendo, entre otras (Tabla 1).

Tabla 1. Escenarios de riesgos.

ACTIVOS AMENAZAS	Electroencefalograma	Emotiv G	EEG Neurosky Mindset	Tarjeta de red inalámbrica	Bluetooth	Neuralink	Celular	Computador	Sistema en la nube	Servidor
Ataque informático de tipo: SQL injection							x	x	x	x
Ataque informático de tipo: DoS/DDoS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ataque informático de tipo: Ransomware							x	x	x	x
Ataque de tipo: ingeniería social							x	x	x	x
Ataque informático de tipo: rompimiento de cifrado o llaves criptográficas.							x	x	x	x
Ataque informático de tipo: the man in the middle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ataque informático de tipo: Spoofing: de MAC, IP, ARP o cualquier servicio		x	x	x	x	x				
Ataque informático de tipo: scanning							x	x	x	x
Ataque informático de tipo: Exploit	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia.

Una vez revisados los escenarios de riesgos se estableció el panorama, consolidando 17 amenazas (Tabla 2), los cuales se calificaron de acuerdo con la probabilidad e impacto:

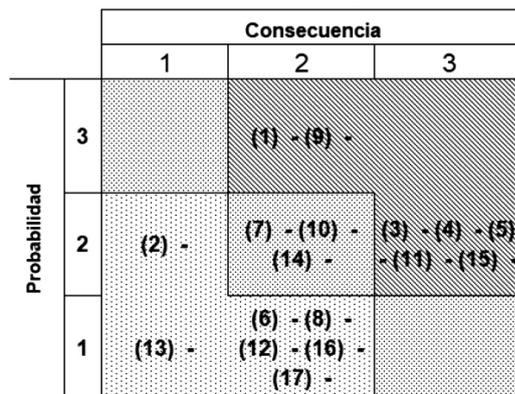
Nota: los dispositivos finales no se consideraron, debido a que existe una gama muy amplia, como PC, juegos, robot, brazos mecánicos, IoT, etc., y los riesgos pueden ser demasiados.

Tabla 2. Cálculo de los escenarios de riesgos y su respectiva calificación.

No.	Escenario de riesgos
(1)(2)	Posibilidad que la amenaza Man in the Middle o ARP Spoofing afecte el activo: protocolos Wifi y bluetooth, página Web
(3)(4)(5)	Posibilidad que la amenaza códigos maliciosos (malware) afecte el activo: Sistema EEG, bases de datos, almacenamiento
(6)(7)	Posibilidad que la amenaza robo o alteración de información afecte el activo: almacenamiento local o nube, personas
(8)(9)(10)	Posibilidad que la amenaza SQL injection o inyección de código afecte el activo: lenguaje de programación, página web y BD
(11)(12) (13)(14) (15)(16)	Posibilidad que la amenaza denegación de servicios (DoS) afecte el activo: Sistema EEG, Wifi y bluetooth, lenguaje de programación, página web, BD, almacenamiento.
(17)	Posibilidad que la amenaza ingeniería social afecte el activo: personas

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar la calificación en términos de probabilidad e impacto se obtuvo el siguiente mapa de riesgos (Figura 4):

**Figura 4.** Mapa de riesgos final.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, siete riesgos quedaron en la zona más baja, mientras que los diez restantes en las zonas media y alta. En ese sentido, es necesario establecer un plan de tratamiento para los riesgos altos, que permita o posibilite la reducción de sus niveles de impactos. En los riesgos altos se destacan los ataques de “Hombre en el medio”, “Malware” y “negación de servicio”, mientras que en la zona sobresalen el “robo de información” y la “inyección de código”.

3.3 Propuesta de controles

De acuerdo con las etapas del sistema BCI y con base a los riesgos encontrados se definen los siguientes controles:

i. Adquisición de las señales

Controles: 1) Verificación de seguridad por firmas y Hash para autenticación al sistema. 2) Actualización de firmware de sistema de recolección de señales EEG. 3) Cifrado de información.

ii. Conexión sistema BCI

Controles: 1) Cifrado en redes LAN. 2) Cifrado en bluetooth con LE Secare Connections, con los algoritmos ECDH. 3) Verificación de seguridad a dispositivos por medio de pines y NFC (Near Field Communication).

iii. Procesamiento de datos

Controles: 1) Verificación de seguridad a servidores por medio de pines y doble autenticación. 2) Cifrado de comunicaciones HTTPS. 3) Cifrado de datos entre las aplicaciones y los servicios. 4) Conexiones seguras en puertas de enlace por medio de cifrados de comunicación. 5) Actualizaciones de seguridad por medio de parches para los puntos vulnerables. 6) Pruebas de seguridad en proceso y actualización de firmware.

iv. Dispositivos de salida

Controles: 1) Doble autenticación biométrica por medio de huellas, NFC y pines. 2) Autenticación por medio de servidores externos a la red, con formularios de acceso HTTPS. 3) Cifrado de comunicaciones. 4) Actualización de firmware.

3.4 Discusión

A partir de los riesgos encontrados y los mecanismos propuestos para reducir los niveles de exposición es necesario establecer un plan que permita implementar soluciones tecnológicas, con lo cual los sistemas BCI quedarían más protegidos. Tomando en cuenta los avances y la tecnología que proporciona la industria 4.0 y todos sus sistemas emergentes, la ciberseguridad y la gestión de riesgos son pilares fundamentales para su correcto funcionamiento y protección.

Algunos estudios [16] establecen otro tipo de amenazas informáticas, como los ataques al firmware, obtención de credenciales de los elementos cercanos y el remplazo de la aplicación *software*, lo que exige más esfuerzo por parte del personal de tecnología para que visualice los riesgos de seguridad que existen a su alrededor.

Por otra parte, las tecnologías emergentes vienen creciendo y aumentando con la cuarta revolución industrial, haciendo que los sistemas BCI tenga un uso más frecuente y su información y datos deban ser más protegidos [6]. En ese sentido, el mapa de riesgos encontrado en este trabajo permite apoyar esa estrategia, debido a las diversas convergencias tecnológicas que se viven en la era digital.

Así mismo, son pocos los avances en materia de seguridad que pueden dar cuenta de los impactos reales que se pueden generar y los componentes que son hackeados o tienen un evento adverso de

seguridad. Al realizar una prueba de seguridad en un sistema BCI fue muy simple obtener información, lo que demuestra que los sistemas no están preparados para ataques informáticos ni para comprender la importancia de algún modelo de seguridad o ciberseguridad que pueda reducir los niveles de exposición [2]. Por esta razón, es fundamental generar un proceso de gestión de riesgos para identificar de manera temprana diversos eventos y posibles impactos.

Por último, la seguridad de los datos personales es fundamental, toda vez que es necesario cumplir leyes en Colombia, como la Ley 1581 que considera la protección de datos asociados a las personas en términos de no divulgación a terceros y la necesidad de protegerlos a través de un oficial de cumplimiento o de seguridad [21].

4. CONCLUSIONES

La 4ta. revolución industrial trae consigo retos y oportunidades, y en ese sentido los sistemas BCI desempeñan un papel importante, ya que los datos privados o personales que circulan por dichos sistemas suponen un esfuerzo importante para establecer mecanismos de protección de la información que se almacena o transmite, para lo cual son fundamentales las soluciones criptográficas y el control de acceso.

La gestión del riesgo debe estar orientada a una continua revisión por parte de los diseñadores y programadores de los sistemas BCI, para mantener un sistema actualizado, cuya premisa sea disminuir los problemas derivados de la pérdida de información y los ataques a la seguridad como la negación del servicio o el robo de datos. En ese sentido, es importante gestionar las vulnerabilidades y las amenazas de los sistemas, toda vez que se pueden evitar situaciones ligadas a ciberataques reduciendo los niveles de exposición de las interfaces cerebro-computador.

Las amenazas cibernéticas son un riesgo imperativo en el uso de dispositivos tecnológicos, pero la responsabilidad de los recursos es parte de las tareas que deben cumplir tanto los fabricantes de los sistemas como los usuarios finales. Un mecanismo podría ser el uso de estándares de seguridad como la ISO 27001 y sus anexos técnicos, para gestionar las diferentes etapas que cumplen el sistemas BCI desde el punto de vista de control y con ello minimizar las posibles filtraciones de información

REFERENCIAS

- [1] F. M. Toma, "A hybrid neuro-experimental decision support system to classify overconfidence and performance in a simulated bubble using a passive BCI," *Expert Syst. Appl.*, vol. 212, p. 118722, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118722>.

- [2] L. Meng, J. Huang, Z. Zeng, et al., “EEG-Based Brain-Computer Interfaces Are Vulnerable to Backdoor Attacks”. PREPRINT (Version 1), 2020. doi: 10.21203/rs.3.rs-108085/v1.
- [3] R. Anbarasan, D. Gómez Carmona, and R. Mahendran, “Human Taste-Perception: Brain Computer Interface (BCI) and Its Application as an Engineering Tool for Taste-Driven Sensory Studies,” *Food Eng. Rev.*, vol. 14, no. 3, pp. 408-434, 2022, doi: 10.1007/s12393-022-09308-0.
- [4] A. F. Osorio-Sierra, M. J. Mateus-Hernández y H. F. Vargas-Montoya, “Proceso para la identificación, clasificación y control del comportamiento de familias Ransomware”. *Revista UIS Ingenierías*. Vol. 19, n.º 3, pp. 131-142, 2020, revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias.
- [5] Amazon AWS, “¿Qué es un ataque DoS?”. Amazon Corp. <https://aws.amazon.com/es/shield/ddos-attack-protection>. (consultada octubre 15, 2022).
- [6] C. A. Ríos Agudelo, “Arquitectura para automatizar respuesta a incidentes de seguridad de la información relacionados con ataques internos mediante la ejecución de técnicas spoofing”. Tesis de Maestría, Antioquia, Instituto tecnológico metropolitano-ITM. 2020. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/4456>.
- [7] E. Crespo-Martínez, “Análisis de vulnerabilidades con SQLMAP aplicada a entornos APEX 5”. *Ingenius* N.º 25, pp. 103-112. enero-junio, 2021. doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n25.2021.10>.
- [8] E.A. Mohamed, M.Z. Yusoff, A.S. Malik, et al., “Comparison of EEG signal decomposition methods in classification of motor-imagery BCI”. *Multimed Tools Appl* 77, 21305–21327 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11042-017-5586-9>.
- [9] I. Choi, I. Rhiu, Y. Lee, M.H. Yun y C.S. Nam, “A systematic review of hybrid brain-computer interfaces: Taxonomy and usability perspectives”. In *PLoS ONE*, Vol. 12, Issue 4, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176674>.
- [10] Instituto Nacional de Ciberseguridad, “El ataque del ‘Man in the middle’ en la empresa, riesgos y formas de evitarlo”. *Incibe*. 2020. <https://www.incibe.es/protege-tu-empresa/blog/el-ataque-del-man-middle-empresa-riesgos-y-formas-evitarlo> (consultada octubre 15, 2022).
- [11] M. A. Roldán Álvarez y H.F. Vargas Montoya, “Ciberseguridad en las redes móviles de telecomunicaciones y su gestión de riesgos”. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 38(2), pp. 279-297. Julio, 2021. <https://doi.org/10.14482/inde.38.2.006.31>.
- [12] MD, Joadder, J. Myszewski, M. Rahman y I. Wang, “A performance based feature selection technique for subject independent MI based BCI”. *Health Information Science and Systems* 7, (15). August, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13755-019-0076-2>.
- [13] N. Tibrewal, N. Leeuwis, and M. Alimardani, “Classification of motor imagery EEG using deep learning increases performance in inefficient BCI users,” *PLoS One*, vol. 17, no. 7 July, pp. 1-18, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0268880.
- [14] National Institute of Standards and Technology, “Guide for Conducting Risk Assessments - NIST 800-30”. NIST. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-30r1.pdf>. (consultada octubre 15, 2022).

- [15] OWASP Fundation, "SQL Injection". OWASP. https://owasp.org/www-community/attacks/SQL_Injection. (consultada octubre 15, 2022).
- [16] P. Ballarin Usieto y J. Mínguez, "La importancia de la ciberseguridad en brain-computer interfaces". <https://www.bitbrain.com/es/blog/ciberseguridad-cerebro-computadora>. (consultada octubre 20, 2022).
- [17] P. Chaudhary y R. Agrawal, "Emerging Threats to Security and Privacy in Brain Computer Interface". *International Journal of Advanced Studies of Scientific Research*, 3(12), pp. 340-344, 2018. <https://ssrn.com/abstract=3326692>.
- [18] R. Martín-Clemente, J. Olias, D. Thiyam, A. Cichocki, and S. Cruces, "Information Theoretic Approaches for Motor-Imagery BCI Systems: Review and Experimental Comparison," *Entropy*, vol. 20, no. 1, p. 7, Jan. 2018, doi: 10.3390/e20010007.
- [19] S.L. Bernal, A.H. Celdrán, G.M. Pérez, M.T. Barros y S. Balasubramaniam, "Security in Brain-Computer Interfaces: State-of-the-Art, Opportunities, and Future Challenges". *ACM Computing Surveys*, 54(1), Jan. 2021. <https://doi.org/10.1145/3427376>.
- [20] S. Ajrawi, R. Rao, and M. Sarkar, "Cybersecurity in Brain-Computer Interfaces: RFID-based design-theoretical framework," *Informatics Med. Unlocked*, vol. 22, p. 100489, 2021, doi: 10.1016/j.imu.2020.100489.
- [21] Secretaría del Senado, República de Colombia, "Ley Estatutaria 1581 de 2012". (2012). http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1581_2012.html. Octubre, 2022.

Sistema automático para un uso adecuado de los botes de basura controlados por voz

Voice controlled automatic system for the correct use of trash cans

Yeimar Palacios Maturana¹
Julián Andrés Román Franco²

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9734>

RESUMEN

Este trabajo presenta el diseño y la implementación de un sistema automático para el uso adecuado de los botes de basura, que a través de comandos de voz habilita la apertura de un bote en específico, de acuerdo con el tipo de residuo que el usuario desee desechar. Este dispositivo usa tecnologías libres y de bajo costo, se creó principalmente para generar conciencia sobre el uso adecuado y la correcta separación de residuos. Dicha separación es una de las alternativas más claras y viables para aportar en la reducción de la contaminación y crear un impacto positivo en el medioambiente, ahorrando recursos naturales y evitando la deforestación.

Palabras claves: Raspberry Pi, reconocimiento de voz, servomotor, separación de residuos.

ABSTRACT

In this work, we designed and implemented an automatic system for the proper use of garbage cans. The system enables the opening of a specific can through voice commands according to the kind of waste the user is looking to dispose. This device was developed using free and low-cost technologies with the purpose of raise awareness upon the proper use, separation and disposal of residuals generated daily in the locations we usually frequent. Therefore, we present here a development which can effectively contribute to the reduction of pollution, creating a positive impact on the environment, saving natural resources and avoiding deforestation by means only of correct waste separation.

Keywords: Raspberry pi, Speech recognition, Servomotor, Waste separation.



Cómo citar este artículo: Y. Palacios Maturana and J. Román Franco. "Sistema automático para un uso adecuado de los botes de basura controlados por voz". *Ingeniare*, vol. 19, no. 33, pp. 53-71, Diciembre 2022.

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica. yeimar.palaciosm@comunidad.iush.edu.co

² Magíster en Automatización y Control. Docente. julian.roman@salazaryherrera.edu.co. ORCID: 0000-0002-9677-6174

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de las campañas educativas que se realizan actualmente en el mundo, las personas no adoptan una costumbre para la adecuada separación de basuras, que es una de las alternativas en la reducción de los residuos sólidos y una forma directa de aportar al reciclaje, que consiste en volver a utilizar materiales desechados pero que aún son aptos para elaborar otros productos. Son muchas las razones para realizar una correcta separación de los residuos; por ejemplo, el ahorro en recursos, reducir la contaminación, evitar la deforestación y, lo más importante, generar un impacto positivo en el medioambiente.

Debido a que este problema es frecuente en todo el mundo, algunos autores han propuesto soluciones como el diseño de diversos prototipos y dispositivos. En [1] se plantea el desarrollo de un sistema de control para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables, utilizando sensores ópticos, capacitivos e inductivos para identificar los materiales que se deben reciclar y una placa controladora Arduino Mega para la gestión y control de estos sensores.

Otros diseños como el de [2], plantean una solución similar, con la construcción de una caneca que automáticamente registra el material, lo identifica y lo dirige a un determinado contenedor. Este prototipo, además, envía registros del nivel al que se encuentra el volumen del dispositivo. En [3] se diseñó e implementó un dispositivo denominado Clasificador Automático de Residuos Sólidos, que se creó utilizando sensores capacitivos e inductivos en la parte de identificación, servomotores en la etapa de mecanismos y un Controlador Lógico Programable (PLC) en la etapa de control. Otros contenedores inteligentes como el de [4] pudieron diferenciar y separar tres tipos de materiales (aluminio, plástico y vidrio) con una metodología denominada de manufactura esbelta para reducir el tiempo de separación de los desperdicios. La integración de tecnologías como la identificación por radiofrecuencia (RFID) también se ha utilizado para contenedores inteligentes, como el propuesto por [5].

Algunos prototipos van más allá de la separación y de la identificación de residuos, como el de [6], que aborda la problemática del reciclaje implementando un prototipo para identificar y separar materiales utilizando una metodología para crear objetos de uso diario. La energía solar también se ha utilizado en este tipo de dispositivos. En [7] se propuso el diseño y construcción de un separador de desechos sólidos para su reciclaje automático alimentado por un sistema solar fotovoltaico autónomo, que permite mitigar la contaminación que existe sobre el suelo y la atmósfera. En [8] se diseñó y creo un basurero inteligente para el beneficio de un centro educativo en El Salvador (Centro América). Este proyecto incorporó tecnología contemporánea en un producto tradicional como los contenedores que se utilizan como separadores de residuos. Otros prototipos para la separación o detección automática de residuos han sido propuestas con tecnologías, como Arduino [9], [10], [11] y Raspberry Pi [12], [13].

Para el diseño de dispositivos de desechos también se han tenido enfoques no tanto en la separación o detección electrónica sino en el diseño del producto de acuerdo con las necesidades [14].

Como se puede observar, se han propuesto y diseñado múltiples dispositivos que aportan a la separación inteligente de residuos y, por ende, al medioambiente, pero no aportan directamente a la generación de una cultura y una conciencia del reciclaje, ya que hacen el trabajo de las personas e incentivan más bien al desconocimiento sobre la separación adecuada de residuos. Por esta razón, en este trabajo se propone el diseño de un prototipo electrónico interactivo que permita generar, mediante un uso cotidiano, una cultura adecuada de separación, de acuerdo con el tipo de residuo. El dispositivo propuesto usará comandos de voz, permitiendo a las personas decir el tipo de objeto que desea desechar y abriendo únicamente la caneca asociada al tipo de residuo del objeto mencionado. La información de voz ingresa a través de un micrófono a un dispositivo Raspberry pi 3, que se encarga de procesarla, convertirla a texto y activar los mecanismos asociados a la caneca, según corresponda al residuo.

2. METODOLOGÍA

Para resolver este problema se estableció una metodología que consta de tres partes: marco teórico, diseño experimental y resultados.

2.1 Marco teórico

El desarrollo de este prototipo se fundamenta en tecnologías que incorporan electrónica de bajo costo y reconocimiento de voz, permitiendo tener una variedad de opciones para crear herramientas que ayuden a las personas con malos hábitos en la disposición de los residuos. En este apartado se expone la teoría para tener un criterio más amplio en el diseño y construcción de un dispositivo capaz de activar actuadores, por medio de comandos de voz, que ayuden a solucionar esta problemática.

2.1.1 Placa controladora raspberry pi

Las Raspberry PI son una serie de ordenadores de bajo costo, desarrollados en el Reino Unido por la fundación Raspberry pi, con el objetivo de poner en las manos de las personas el poder de la informática y la creación digital. El modelo original buscaba promover la enseñanza de la informática en las escuelas; sin embargo, terminó siendo más popular de lo que se esperaba. En la Figura 1 se presentan las principales ventajas para el uso de esta placa controladora. La Figura 2 muestra una imagen real de la tarjeta.

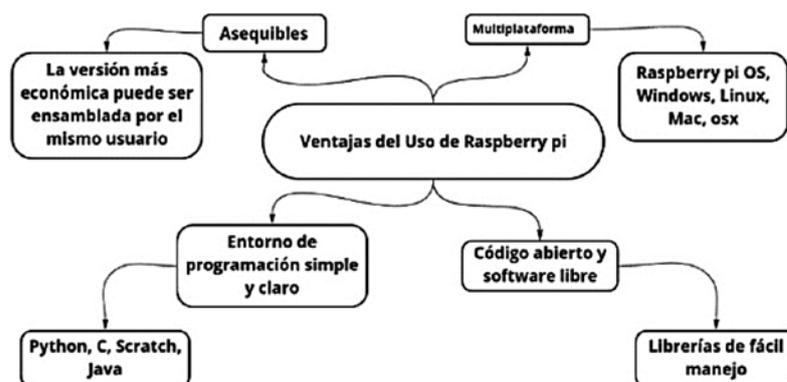


Figura 1. Ventajas del uso del Raspberry pi.

Fuente: Elaboración por los autores.



Figura 2. Imagen real de la tarjeta [15].

2.1.2 Reconocimiento de voz

El habla es el medio de comunicación más común y la mayoría de las personas en el mundo dependen del habla para comunicarse. Los sistemas de reconocimiento de voz básicamente traducen los idiomas hablados a texto. Existen varios ejemplos de sistemas de reconocimiento de voz como, por ejemplo, Apple Siri y Google.

2.1.3 Bibliotecas de reconocimiento de voz más utilizadas

Actualmente existe un sinnúmero de bibliotecas o librerías que permiten realizar reconocimiento de voz (Figura 3). La más utilizada para el reconocimiento de las palabras y la conversión de voz a texto con posibilidades de uso en el Raspberry Pi son *speech recognition*, con un complemento pi audio. En la figura 4 se ilustra la conversión de voz a texto.

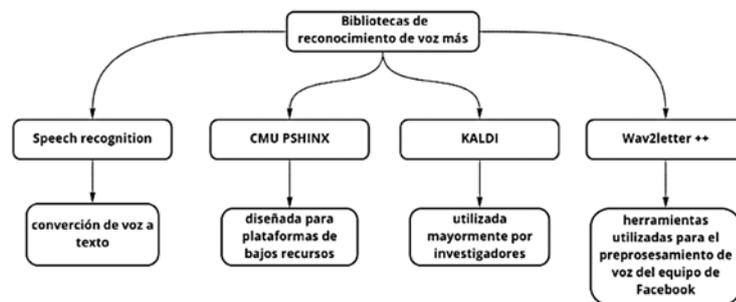


Figura 3. Bibliotecas de reconocimiento de voz más utilizadas.

Fuente: Elaboración por los autores.

2.1.4 Tarjeta de sonido interna o externa

La tarjeta de sonido externa (Figura 5) es un dispositivo que permite obtener una entrada o una salida de audio directamente del puerto USB de un equipo del que se desea obtener dicha información. Permite grabar, editar y, por supuesto, escuchar cualquier tipo de sonido. Las tarjetas de sonido internas vienen integradas directamente a la mainboard o tarjeta principal, se diferencian de las tipo USB en que las primeras ofrecen una mayor versatilidad al momento de conectarse a un equipo.



Figura 4. Imagen ilustrativa de conversión de voz a texto [16].



Figura 5. Tarjeta de sonido externa [17].

2.1.5 Micrófono

Dispositivo que permite captar las ondas sonoras que se encuentran en el aire y convertirlas en una señal eléctrica. Se puede decir que un micrófono es un transductor que transforma la energía acústica en energía eléctrica. Esta última sirve como preamplificador para incrementar la intensidad del sonido y hacerlo identificable y reproducible. Esta señal se puede amplificar en dispositivos como consolas, ecualizadores y distintos procesos de audio. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de un micrófono simple, que se puede conectar en algunos dispositivos móviles y equipos de cómputo, como la Raspberry Pi.



Figura 6. Imagen de un micrófono [18].

2.1.6 Servomotor

También conocido como servo, es un actuador que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición angular, por medio de señales de control PWM dentro de su rango de operación, que es el límite de grados en el cual opera. Generalmente, se encuentran con un rango de 0 a 180°, siendo los que más se utilizan en diversas aplicaciones. Aunque también se pueden encontrar de rotación continua, esto significa que pueden rotar de 0 a 360° y viceversa. En la Figura 7 se muestra la parte interna de un servomotor.



Figura 7. Componentes internos de un servomotor [19].

2.1.7 Estándares nacionales para la separación de residuos

En Colombia se generan aproximadamente 9.488.204 toneladas de residuos sólidos al año, de las cuales se reciclan, aproximadamente, 1.775.191 toneladas [20]. Entre estos materiales aprovechables se encuentran vidrio, papel, cartón, chatarra, entre otros. Se destaca principalmente el plástico, cuya recuperación y aprovechamiento se hace necesaria para contribuir en la reducción de los índices de contaminación de los ecosistemas y los daños al medioambiente, salvando grandes cantidades de recursos naturales.

En Colombia rigen normas que avalan el buen manejo para la disposición final de los residuos aprovechables y no aprovechables, como el Decreto 605 de 1996, que reglamenta la Ley 144 de 1994 en cuanto al manejo y disposición final de los residuos sólidos; la Resolución 2184 de 2019, que modifica la Resolución 668 de 2016 para el uso adecuado de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones para los residuos.

A partir del 1° de enero del 2021 comenzó a regir la nueva designación de colores para la disposición de los residuos aprovechables y no aprovechables, establecida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo (Figura 8).

Blanco: residuos aprovechables (papel, cartón, plástico, vidrio, metales).

Verde: residuos orgánicos aprovechables (restos de comida, desechos agrícolas).

Negro: residuos no aprovechables (papel higiénico, servilletas, papel y cartón contaminados con comida, papeles metalizados).



Figura 8. Nueva designación de colores para las canecas de reciclaje [20].

2.2 Diseño experimental

Para la elaboración del prototipo propuesto se establecieron las siguientes etapas: primero, se hará una revisión de las tecnologías que se encuentran disponibles para dar solución al problema.

Posteriormente, se hará el diseño del prototipo y, finalmente, se realizarán pruebas para garantizar su correcto funcionamiento.

2.2.1 Tecnologías disponibles

Para dar solución al problema planteado se analizaron y revisaron tecnologías de bajo costo disponibles en el mercado. Se seleccionaron dos: Raspberry Pi 3 y Arduino Uno, cuyas especificaciones se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tecnología disponible

Raspberry pi3		Arduino Uno
SOC	BCM2837	ATmega328
CPU	Quad Cortex A54@ 1.2 GHZ	16MHZ
Instrucciones	ARMv8-A	Arduino IDE
GPU	VideoCore IV 250 MHz	ATmega328
RAM	1GB	2KB
Almacenamiento	Micro SD	EEPROM 1KB
Ethernet	10/100	No
Wireless	802.11n/ Bluetooth 4.0	No
Salida de video	HDMI	No
Salida de audio	HDMI/ Auriculares	No

Fuente: Elaboración por los autores.

Respecto al *hardware*, son dos placas totalmente distintas, ya que Arduino sólo permite ejecutar un código a la vez y Raspberry Pi tiene mucho más potencial, asemejándose a un computador personal, en el que se pueden ejecutar múltiples aplicaciones en paralelo. En la Tabla 2 aparecen las diferencias entre estos dos dispositivos.

Tabla 2. Principales diferencias entre Raspberry Pi y Arduino Uno

Raspberry Pi 3	Arduino Uno
Se pueden ejecutar múltiples programas a la vez	Sólo permite ejecutar un programa, ya que es un microcontrolador
Se puede conectar a la red vía cable o wi-fi	Requiere dispositivos externos para conectarse a la red
Posee cuatro puertos USB	Sólo tiene un puerto USB
Utiliza el lenguaje de programación Python	Utiliza el lenguaje de programación C++

Fuente: Elaboración por los autores.

Independiente de la placa controladora que se elija, es importante tener presente las tecnologías disponibles para la captura y reconocimiento de voz. Existen alternativas por *hardware* como el módulo elechouse v3, disponible para Arduino, y por *software* como la librería Speech recognition para Raspberry Pi 3. En la Tabla 3 se hace una comparación entre estas dos tecnologías.

Tabla 3. Comparación entre Speech Reconigition y Elechouse V3

SPEECH RECOGNITION	ELECHOUSE V3
Permite reconocer cualquier tipo palabra	Sólo reconoce 80 palabras
No requiere de un entrenamiento previo	Requiere ser entrenado para su funcionamiento.
Funciona en línea y fuera de línea	Sólo funcia fuera de línea
Fácil manejo	Presenta dificultad al momento de ser entrenado
Tiempo de respuesta rápido	En ocasiones presenta difcultas para reconocer los comandos cargados en su memoria

Fuente: Elaboración por los autores.

2.2.2 Prototipo de prueba con tecnología Elechouse V3

De las tecnologías analizadas para el reconocimiento de voz se optó por diseñar e implementar un prototipo de pruebas con Arduino, tomando en cuenta la disponibilidad de recursos con que se contaba al inicio del proyecto. Este sistema estaba conformado por una placa electrónica de *hardware* libre Arduino Uno en la parte de control, un sensor ultrasónico para la detección de personas, un módulo elechousev3 para el reconocimiento de voz, el cual permite reconocer hasta siete comandos de voz y se pueden grabar 255 palabras. Para la grabación se utilizó el módulo ISD1820, en el que se grabó un mensaje para reproducir a través de un parlante (*speaker*), una vez el sensor ultrasónico detectaba un obstáculo. Para la visualización se dispuso de una pantalla LCD 16x2, en la que se podía apreciar el mensaje grabado. Para la apertura y cierre de los contenedores se instalaron tres servomotores, los cuales estaban programados para activarse de forma independiente cuando el usuario mencionara la palabra previamente grabada en el módulo de reconocimiento voz (Figura 9).

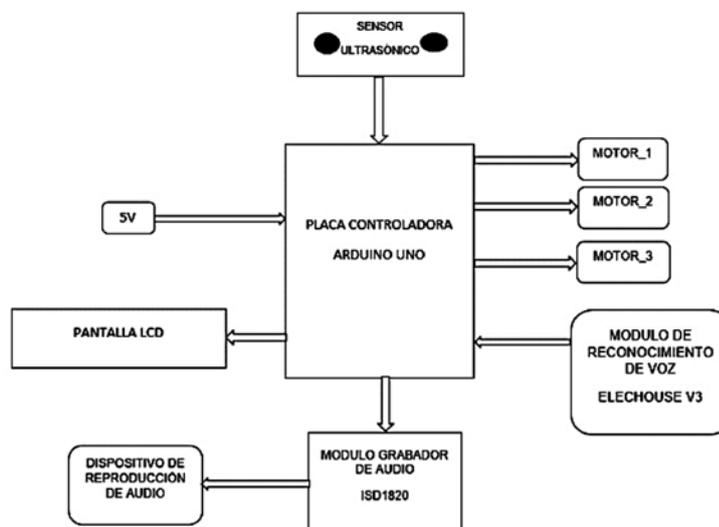


Figura 9. Prototipo de prueba con Arduino.

Fuente: Elaboración por los autores.

2.2.3 Diseño y prototipo seleccionado para la solución del problema

Después de realizar las pruebas del prototipo con Arduino y ver sus limitaciones en cuanto a cantidad de palabras que debía reconocer y el reconocimiento de voces con timbres diferentes, se optó por escoger una tecnología que no dependiera de un entrenamiento previo de voz. Se decidió utilizar el Raspberry Pi, que sigue siendo económico y además brinda mayor robustez. Con esta tecnología se llegó al diseño propuesto en la Figura 10. Está conformado por una placa electrónica de *hardware* libre Raspberry Pi en el control, un micrófono interconectado a través de una tarjeta de audio para

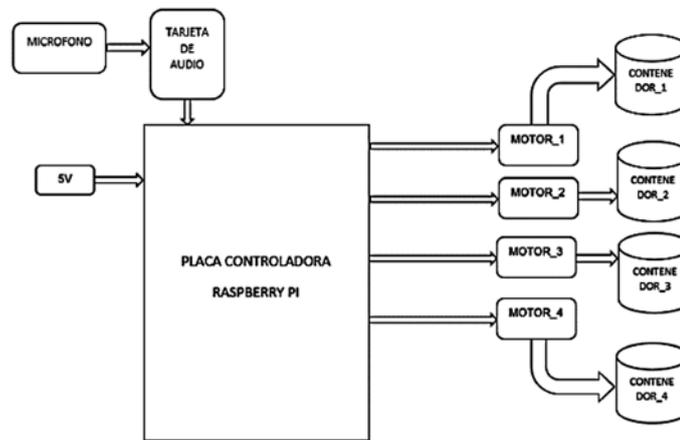


Figura 10. Diseño y prototipo seleccionado.

Fuente: Elaboración por los autores.

capturar la voz, la cual se procesa internamente con la librería *speech recognition*, que utiliza diversos sistemas de reconocimiento de voz, como los de Google y Bing, convirtiendo de voz a texto y reconociendo cualquier palabra. Para la apertura y cierre de los contenedores dispone de cuatro servomotores, programados para que se active de forma independiente en el momento en que el usuario mencione una palabra que se relacione con una de las categorías de reciclaje utilizadas y definidas en un algoritmo de Python. El sistema se alimenta con una fuente alámbrica de 5V DC.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para garantizar que el diseño propuesto funcione de manera correcta se propone tener en cuenta lo siguiente.

3.1 Implementación de un prototipo funcional

A continuación, se habla sobre el diseño e implementación del prototipo.

3.1.1 Diseño del circuito

Para desarrollar este prototipo se diseñaron un circuito esquemático (Figura 11) y el diagrama de *hardware* (Figura 12). El diseño general se mencionó en el numeral 2.2.3.: una placa electrónica de hardware libre *Raspberry pi* en la parte de control; un micrófono interconectado a través de una tarjeta de audio para realizar la adquisición de la voz, procesada con las librerías *speech recognition* de Google y cuatro servomotores.

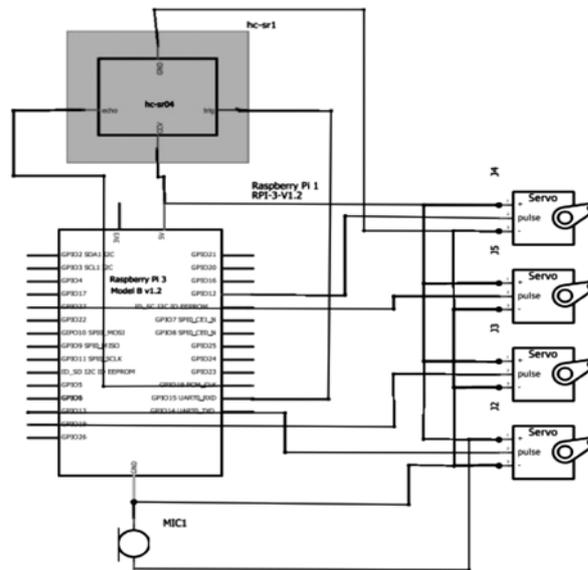


Figura 11. Circuito esquemático.

Fuente: Elaboración por los autores.

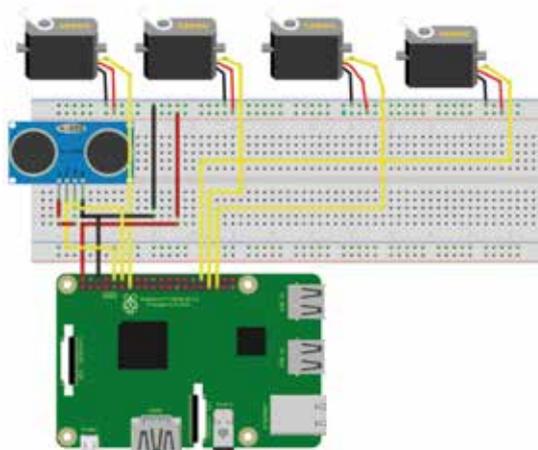


Figura 12. Diagrama de implementación circuital.

Fuente: Elaboración por los autores.

3.1.2 Diagrama de flujo

Para explicar el funcionamiento de este código se creó un diagrama de flujo (Figura 13). El código funciona de la siguiente manera: primero, se realiza la detección de personas por medio de un sensor ultrasónico; luego, se habilita automáticamente el micrófono para ingresar el comando de voz que corresponda (cartón, plástico, vidrios orgánicos, bolsas plásticas, botellas plásticas, entre otros). Posteriormente se realiza la conversión de voz a texto internamente en las raspberry, por medio de la librería *speech recognition*. Esta librería utiliza aplicaciones de conversión de diversas empresas, comúnmente entrenadas a través de redes neuronales y aprendizaje profundo. Si el comando de voz es correcto se activa un servomotor asociado con dicho comando, que permite realizar la apertura del contenedor correspondiente. Si es incorrecto no se activa ningún servomotor y, por ende, no se abre ningún contenedor.

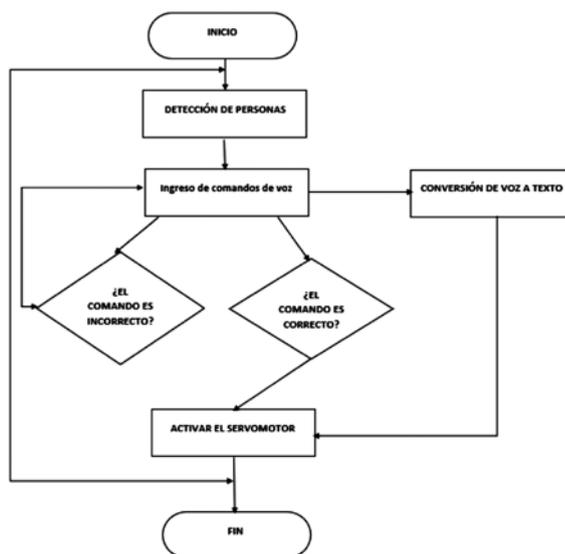


Figura 13. Diagrama de flujo de funcionamiento del prototipo.

Fuente: Elaboración por los autores.

3.1.3 Adaptación del prototipo a los botes de basura

Una vez realizado el circuito esquemático del prototipo, se ensambló la tarjeta del circuito final, en la que están interconectados todos los componentes (Figura 14). Se utilizaron canecas de basura reales, a las cuales se les acoplaron los motores en las tapas. Para permitir la apertura y cierre de las tapas de una manera más eficiente, se implementó una base para su acople (Figura 15), para garantizar estabilidad.

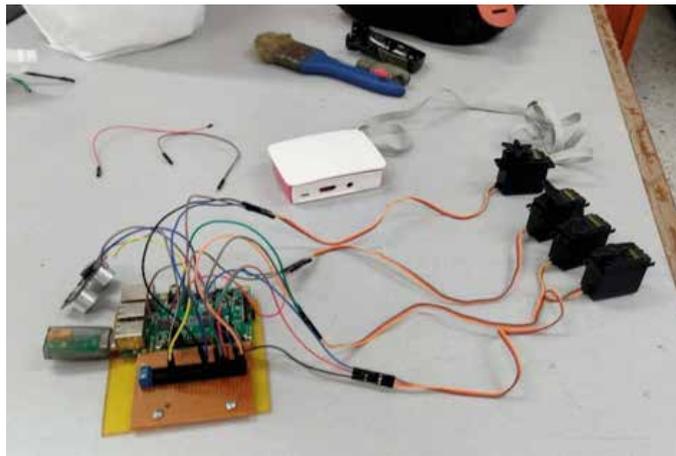


Figura 14. Tarjeta del prototipo.

Fuente: Elaboración por los autores.



Figura 15. Base implementada.

Fuente: Elaboración por los autores.

3.2 Verificaciones necesarias de funcionamiento

3.2.1 Conexión a la red

Una falla que se puede presentar en el funcionamiento del prototipo se da al momento de reconocer los comandos de voz para activar los motores, ya que todo el sistema debe estar conectado a la red

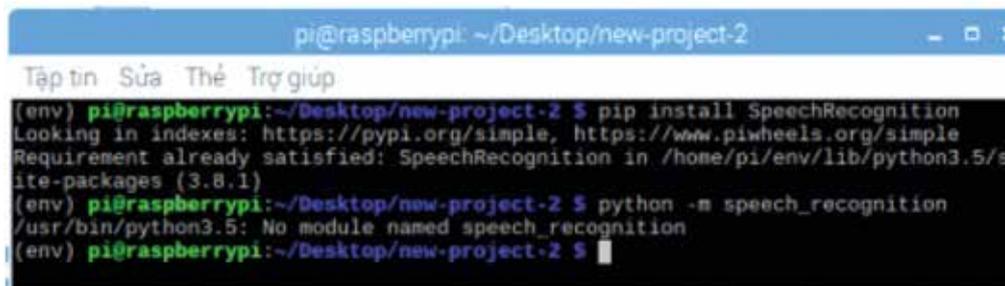
inalámbrica o cableada. Esto se debe a que la conversión de voz a texto que realiza la librería *speech recognition* se hace con redes neuronales implementadas en línea de empresas como Google, IBM o Bing.

3.2.2 Instalación correcta de librerías

Para garantizar el correcto funcionamiento del código se deben instalar las librerías principales que permiten realizar el reconocimiento de la voz (*speech recognition* y Pi Audio). En el sistema operativo Raspbian de las Raspberry Pi se pueden instalar a través de la terminal de Linux, utilizando el comando *pip install*, como se detalla a continuación.

Paso 1: instalar la biblioteca *speech recognition*

Para instalar esta librería se debe ejecutar el siguiente comando en la consola de Linux: *sudo apt-get install speech recognition* (Figura 16).



```

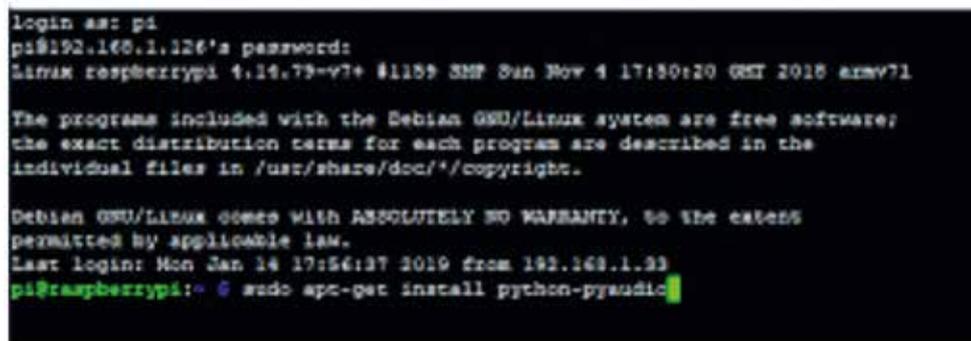
pi@raspberrypi: ~/Desktop/new-project-2
Tập tin Sửa Thê Trợ giúp
(env) pi@raspberrypi:~/Desktop/new-project-2 $ pip install SpeechRecognition
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://www.piwheels.org/simple
Requirement already satisfied: SpeechRecognition in /home/pi/env/lib/python3.5/site-packages (3.8.1)
(env) pi@raspberrypi:~/Desktop/new-project-2 $ python -m speech_recognition
/usr/bin/python3.5: No module named speech_recognition
(env) pi@raspberrypi:~/Desktop/new-project-2 $

```

Figura 16. Instalación de *speech recognition*.

Fuente: Elaboración por los autores.

Para instalar esta biblioteca se ejecuta el siguiente comando: *sudo apt-get install python3-pyaudio* (Figura 17).



```

login as: pi
pi@192.168.1.126's password:
Linux raspberrypi 4.14.79-v7+ #1189 SMP Sun Nov 4 17:50:20 GMT 2016 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Jan 14 17:56:37 2019 from 192.168.1.33
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get install python3-pyaudio

```

Figura 17. Instalación de *pyaudio*.

Fuente: Elaboración por los autores.

3.2.3 Configuración de la tarjeta de sonido

Para configurar la tarjeta de audio se debe ingresar a la consola de Linux y escribir el siguiente comando: `alsamixer`. Luego, se selecciona la tarjeta que está conectada. Se sube el volumen si se encuentra en un nivel bajo (Figura 18). Es necesario configurar la tarjeta de sonido que se está utilizando para que el *software* funcione de manera óptima.

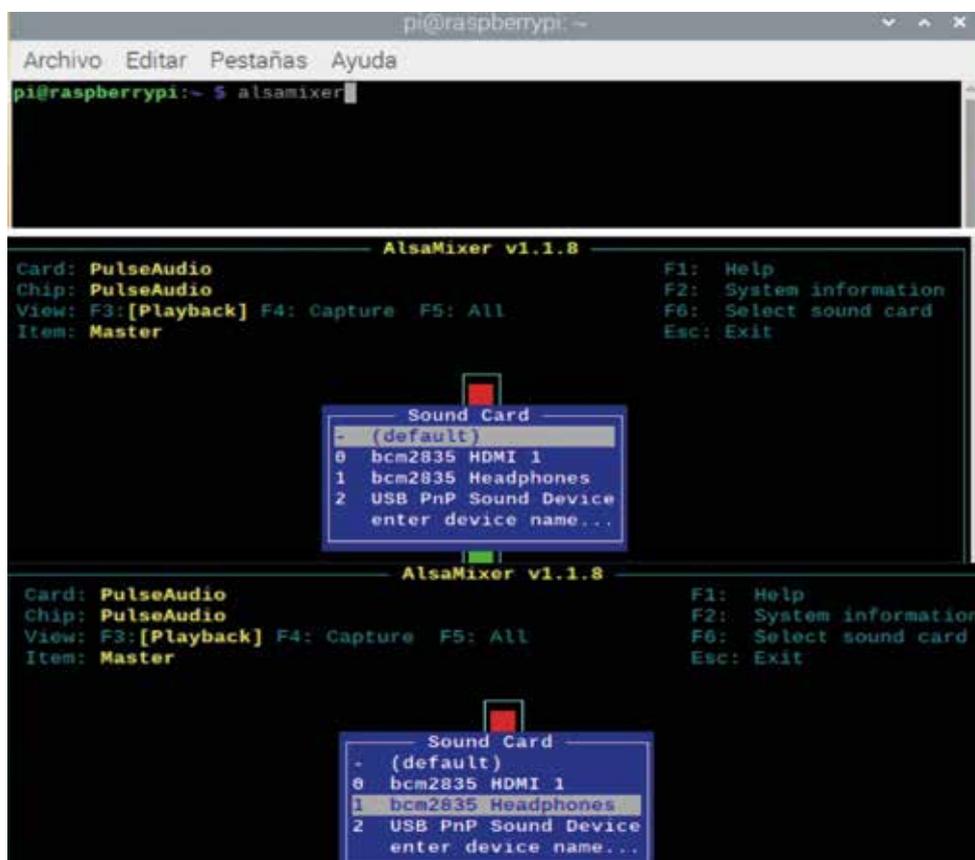


Figura 18. Configuración alsamixer.

Fuente: Elaboración por los autores.

3.3 Pruebas de usuario

Se realizaron pruebas con usuarios reales (Figura 19) para garantizar el funcionamiento del prototipo. Allí se detectaron y corrigieron las posibles fallas.



Figura 19. Pruebas con usuarios.

Fuente: Elaboración por los autores.

3.3.1 Entonación de las palabras

Se detectó que el sistema responde bien con diferentes tonos de voz en los comandos mencionados. Se realizaron pruebas con mujeres y niños entre 10 y 12 años, ya que este grupo, en su mayoría, habla con suficiente claridad. En las pruebas con hombres, en diferentes rangos de edad, se logró identificar que la librería que utiliza el sistema para realizar la conversión de voz a texto funciona sin ningún inconveniente. El porcentaje de precisión del instrumento es alto.

3.3.2 Pruebas de ruido

En condiciones de poco ruido el sistema responde mejor que en condiciones ruidosas, ya que la forma de adquisición de los comandos de voz se hace a través del micrófono, y se debe hablar mucha más fuerte para que funcione correctamente.

3.3.3 Pruebas de reconocimiento de voz

El dispositivo no presenta dificultad para reconocer e identificar distintos tipos de voz, siempre y cuando se cuente con una conexión estable a internet, porque si es inestable o la persona habla demasiado bajo el dispositivo presenta dificultades para reconocer los comandos de voz o es posible que no los identifique.

3.3.4 Pruebas de distancia para el reconocimiento de voz

En espacios abiertos, el sistema reconoce los comandos de voz a 15 cm, desde la boca hasta el micrófono. Esta distancia puede variar dependiendo de las condiciones ruidosas del ambiente. En espacios cerrados, como una vivienda, la distancia efectiva desde la boca hasta el micrófono es de 60 cm. Esta distancia puede variar dependiendo de la fuerza con que el usuario mencione los comandos y las condiciones de ruido del ambiente donde esté ubicado el dispositivo.

3.3.5 Pruebas de conexión a las redes cableada e inalámbrica

El sistema permite realizar la conexión a la red a través de cableado por un puerto de tipo RJ45 o de manera inalámbrica mediante wi-fi. Al realizar las pruebas de conexión de ambos sistemas se identificó que el prototipo funciona correctamente y es más estable conectado a cable de red, por lo que se recomienda esta opción.

3.3.6 Tiempo de respuesta de los servomotores

El tiempo de respuesta de los servomotores que permiten la apertura y cierre de los contenedores es de dos segundos. Una vez se mencione el comando de voz y la tapa de la caneca se abra, ésta permanece abierta durante 30 segundos, tiempo disponible para que el usuario tire la basura en el contenedor correspondiente. Cuando transcurra este tiempo la tapa se cierra.

3.3.7 Tiempo de respuesta para el reconocimiento de la voz

El tiempo de respuesta para el reconocimiento de la voz y la conversión a texto depende de la velocidad de internet donde esté conectado el dispositivo. Si se cuenta con buena conexión a la red el tiempo de respuesta se reduce a milisegundos. También depende del tono de voz de la persona, de la similitud entre palabras y de la búsqueda interna que realiza la librería.

CONCLUSIONES

La separación adecuada de residuos es un tema de interés general por el impacto que tiene sobre el medioambiente y los ecosistemas. A pesar de que se han implementado campañas que enseñan sobre este tema, las personas aún no toman conciencia sobre el correcto uso de las canecas, según el código de colores para separar los residuos.

Por esta razón, este trabajo aporta una solución viable, con tecnologías de la cuarta revolución industrial, para ayudar a generar cultura y conciencia sobre este tema tan importante. Actualmente se cuenta con tecnologías como Siri, Google y diversos asistentes de voz que podrían ayudar a que este prototipo evolucione y se pueda integrar con otros servicios de voz.

A futuro, este proyecto podría mejorarse agregando otros tipos de sensores que permitan mejorar el sistema de identificación de residuos, mediante técnicas combinadas de voz y visión artificial para la detección visual de los diversos materiales que se deseen reciclar, realizando una comparación entre lo que dice el usuario y lo que ve la cámara para generar conciencia sobre la importancia del correcto uso de los contenedores de basura.

REFERENCIAS

- [1] C. F. Colorado Díaz and J. A. Caldas Vega, "Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico", Universidad Católica de Colombia, 2018.
- [2] J. M. Ballén Forero and Á. P. Velosa Prieto, "Diseño de una caneca de reciclaje con identificación y almacenamiento automático de materiales reciclables", Universidad de San Buenaventura, 2015.
- [3] R. C. Fuentes Carreón and C. P. Juárez Vilchis, "*Clasificador automático de residuos sólidos (Cars)*", Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
- [4] A. Chávez Valles, J. R. Alemán Cuéllar, and R. Alcantar Olguín, "Innovación de un contenedor de basura inteligente" en *Revista Ingeniantes*, vol. 1, no. 1, pp. 201-207, 2014, [Online]. Available: <http://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/pdfversion/ingeniantes1.pdf>.
- [5] A. MinAgricultura, "Contenedor inteligente mejoraría separación de residuos", *Aronet.gov.co*, 2019. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Contenedor-inteligente-mejoraría-separación-de-residuos.aspx>.
- [6] B. Sopelana Z., "Detector de materiales para reciclaje automático", Universidad del País Vasco, 2017.
- [7] M. Isabel and J. Loya, "De residuos sólidos para viviendas de interés social de la zona conurbada Veracruz -Boca del Río-Medellín , México" Universidad Veracruzana, 2012.

- [8] M. Melara, C. López, and W. Alberto, "Diseñar un basurero inteligente para la modernización y erradicación de la basura en el centro escolar Nicolás J. Bran", Universidad Tecnológica del Salvador, 2018.
- [9] S. Mahat, S. H. Yusoff, S. A. Zaini, N. S. Midi, and S. Y. Mohamad, "Automatic Metal Waste Separator System in Malaysia" in Proceedings of the 2018 7th International Conference on Computer and Communication Engineering, ICCCE 2018, 2018, pp. 366–371, doi: 10.1109/ICCCE.2018.8539322.
- [10] P. S. I. Shirke, S. Ithape, S. Lungase, and M. Mohare, "Automation of smart waste management using IoT" no. June, pp. 414-419, 2019.
- [11] A. Chandramohan, J. Mendonca, N. R. Shankar, N. U. Baheti, N. K. Krishnan, and M. S. Suma, "Automated Waste Segregator" in Proceedings - 2014 Texas Instruments India Educators Conference, TIIEC 2014, 2017, pp. 1–6, doi: 10.1109/TIIEC.2014.009.
- [12] N. Mehendale, V. Sule, C. Tamhankar, S. Kaveri, and N. Lakade, "Computer vision based medical waste separator", *SSRN Electron. J.*, 2021, doi: 10.2139/ssrn.3857802.
- [13] D. S. Meera, F. Arshya Banu, A. Professor Assistant Professor Student, C. ShinySherlin, and K. Sathyapriya, "Smart trash can using internet of things", *Int. J. Adv. Res. Methodol. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 3, 2017.
- [14] A. Tolosa Robayo, J. D. Sánchez Quijano, and I. A. Castiblanco Jiménez, "Desarrollo de un dispositivo que deseché las heces de los perros sin el uso de bolsas plásticas", *Ingeniare*, no. 28, pp. 73-93, 2020, doi: 10.18041/1909-2458/ingeniare.28.6275.
- [15] Raspberrypi.com, "Image Raspberry Pi 3B +" <https://www.raspberrypi.com/products/raspberrypi-3-model-b-plus/>.
- [16] B. Guven, "Extract conversations easily from an audio recording with Python", 2021. [En línea]: <https://sonsuzdesign.blog/2021/01/19/speech-recognition-using-ibm-speech-to-text-api/>.
- [17] Eaton, "Virtual 7.1-Channel USB External Sound Card", 2022. [En línea]: <https://assets.tripplite.com/product-pdfs/en/u237001.pdf>.
- [18] Grupo ADSLzone, "Tipos y formatos de micrófonos, ¿cuál es el mejor para ti?" 2021. [En línea]: <https://hardzone.es/tutoriales/componentes/microfonos-tipos-clases-formatos/>.
- [19] A. Millán, "Servomotor", s.f., [En línea]: <https://angelmicelti.github.io/4ESO/CYR/servomotor.html>.
- [20] Minambiente, "Colombia celebra Día Mundial del Reciclaje" 2021. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/1793-colombia-celebra-dia-mundial-del-reciclaje>.

Sistemas de radio sobre fibra y redes 5G: perspectiva y aplicaciones

Radio over Fiber (RoF) Systems and 5G networks: Perspective and applications

Valentina Peñaranda Villalba¹
Karla Cecilia Puerto López²
Jhon Jairo Ramírez Mateus³

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9732>

RESUMEN

Este documento presenta una investigación exhaustiva de los avances que han tenido los sistemas de radio sobre fibra en el ámbito mundial en los últimos años, conociendo de una mejor manera sus aplicaciones y generalidades. Esta revisión también contiene información sobre los diseños de un sistema de comunicación óptico, redes 5G, entre otros. Adicionalmente, estos sistemas de radio han tenido un gran impacto en la actualidad a causa de sus múltiples beneficios, ya que cuentan con una atenuación de 0,2 dB/km. Finalmente, este artículo permite observar la necesidad de cubrir las líneas de investigación referentes a esta temática, para estar a la vanguardia en la evolución tecnológica del mundo.

Palabras claves: radio sobre fibra, redes 5G, aplicaciones.

ABSTRACT

This document presents an exhaustive investigation of the advances that Radio over Fiber Systems have had worldwide in recent years, knowing in a better way the applications and generalities of said systems. Likewise, this review also contains information about the designs of an optical communication system, 5G networks, among others. Additionally, Radio over Fiber systems have had a great impact today due to their multiple benefits, since they have an attenuation of 0.2 dB/km. Finally, this article allows us to observe the need to cover the lines of research related to this subject, in order to be at the forefront of the world's technological evolution.

Keywords: Radio over Fiber, 5G networks, applications.



Cómo citar este artículo: V. Peñaranda Villalba, K. Puerto López and J. Ramírez Mateus. "Sistemas de radio sobre fibra y redes 5G: perspectiva y aplicaciones". *Ingeniare*, vol. 19, no. 33, pp. 73-88, Diciembre 2022.

¹ Ingeniera electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander. Grupo de Investigación y Desarrollo en Microelectrónica Aplicada y Control, San José de Cúcuta, Colombia. valentinapv@ufps.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8202-5372>

² Candidata a Doctora en Educación, M.Sc. Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander. Grupo de Investigación y Desarrollo en Microelectrónica Aplicada y Control, San José de Cúcuta, Colombia. karlaceciliapl@ufps.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3749-676X>

³ Ingeniero electrónico de la Universidad Francisco de Paula Santander. Grupo de Investigación y Desarrollo en Microelectrónica Aplicada y Control, San José de Cúcuta, Colombia. jhonjaiorm@ufps.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4387-6147>

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la tecnología ha desempeñado un papel relevante en el mundo de las telecomunicaciones, evidenciando un crecimiento exponencial en el número de usuarios, dispositivos móviles y conexiones de internet. La cantidad de dispositivos conectados a redes será más del triple de la población para el 2023; adicionalmente, más del 70% de la población mundial tendrá conectividad móvil [1].

No obstante, el tráfico de las redes ha aumentado y los usuarios demandan una conexión inalámbrica permanente. Por esta razón, este avance exige una infraestructura que cuente con un ancho de banda amplio, una latencia mínima y una alta velocidad de transmisión. Por consiguiente, un sistema de Radio sobre Fibra (RoF) puede allanar el camino para posibles soluciones para redes 5G, prometiendo una alternativa capaz de suplir tal demanda.

Radio sobre Fibra es una tecnología mediante la cual la luz se modula por medio de una señal de radiofrecuencia y se transmite a través de un enlace de fibra óptica, enviando señales de radio desde una central remota, lo cual permite centralizar las funciones de procesamiento de la señal de radiofrecuencia en una ubicación compartida, ofreciendo pocas pérdidas de la señal. Estos sistemas surgen para incrementar las redes de telecomunicaciones, logrando grandes ventajas como menores pérdidas de transmisión y una menor sensibilidad al ruido, además de que responde a las necesidades del ancho de banda y al aumento de la flexibilidad operacional [2].

En este trabajo de investigación se hace una revisión detallada de los estudios que se han realizado acerca de los diseños de sistemas de comunicaciones óptico, Radio sobre Fibra, redes 5G, entre otros. Examinando y analizando los avances que han tenido los sistemas de RoF con el tiempo, por medio de bases de datos y repositorios de diversas universidades. Igualmente, se tuvieron en cuenta los ámbitos regional (Norte de Santander), nacional e internacional.

En el 2020, la Universidad de Paris-Est estudió el desempeño de la tecnología de Radio sobre Fibra para la transmisión de formas de ondas 5G, determinando los rangos de funcionamiento óptimos [3]. En ese mismo año, en Colombia la Universidad de Antioquia caracterizó un sistema de red híbrido de Radio sobre Fibra, operando en las frecuencias 60, 75 y 82 GHz, siendo la de 60 GHz banda de uso libre y las de 75 y 82 GHz bandas para las redes 5G. Se determinó la viabilidad del modelo y su alcance, implementando técnicas de *Machine Learning* que mejoraron el desempeño de la red [4]. De igual manera, en el 2016, en Cúcuta describieron una simulación de un sistema RoF utilizando multiplexación WDM a través del *software* Matlab, el cual tuvo como objetivo modelar y simular un sistema de Radio sobre Fibra para evaluar las degradaciones producidas por la dispersión que afectan la señal en la transmisión de información [5].

En conclusión, Radio sobre Fibra es una tecnología innovadora que se destaca por sus ventajas, como su gran ancho de banda y su velocidad de transmisión (10 Gbps). Esto ha despertado el interés en muchos países en cuanto a la investigación y el desarrollo de estos sistemas.

2. METODOLOGÍA

Este documento revisa información sobre temas como diseños de un sistema de comunicación óptico, Radio sobre Fibra, redes 5G, entre otros, los cuales se seleccionaron utilizando bases de datos como IEEE Xplore, Scopus, ACM, ResearchGate y Google Académico. Así como algunos repositorios de diversas universidades. Los documentos elegidos tiene una fecha superior o igual al año 2015, ofreciendo información reciente. Seguidamente, se hizo una revisión exhaustiva de cada investigación, determinando los resultados, conclusiones y recomendaciones más relevantes. En la Figura 1 se muestra el desarrollo de la investigación.

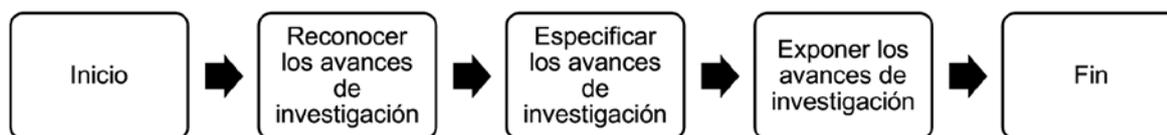


Figura 1. Metodología usada en el proyecto

Fuente: Elaboración por los autores.

3. Resultados y discusión

Los sistemas RoF tienen gran impacto en la actualidad por sus múltiples beneficios, ya que cuentan con un mejor ancho de banda y poca atenuación, que puede ser de 0,2 dB/km. A continuación, se presenta el desarrollo de los sistemas RoF en redes 5G desde los panoramas regional, nacional e internacional.

3.1 Panorama internacional

La revista de tecnología *Lightwave* publicó un artículo denominado “Sistema de Radio sobre Fibra de 25Gb/s OFDM de 60 GHz basado en un láser de ganancia conmutada”, en el que los autores demuestran un sistema de transmisión que emplea un láser DFB de ganancia conmutada para la generación de ondas milimétricas [6]. Por su parte, la Universidad Autónoma de Madrid realizó un proyecto en el que se desarrolló un sistema de comunicaciones digitales de banda base, realizando modificaciones oportunas para implementar una modulación sobre una portadora de radiofrecuencia de la señal transmitida, al que denominó Radio sobre Fibra. Además, en este estudio se evaluó el impacto de la señal en parámetros como la atenuación, la distorsión y la transmisión de varios canales, simultáneamente [7].

En esa misma línea, en Reino Unido, Varghesey otros [8] llevaron a cabo una descripción general rudimentaria de la arquitectura RoF, elaborando técnicas diseñadas para mejorar el rendimiento alcanzable del sistema. Finalmente, se describieron las técnicas para reducir los costos de instalación de los sistemas Radio sobre Fibra.

En el artículo “Tecnologías de Radio sobre Fibra para sistemas inalámbricos emergentes” se analiza la tecnología de Radio sobre Fibra que puede soportar la distribución de señales inalámbricas de banda ancha en una red óptica/inalámbrica convergente, también se describen algunos desafíos para la aplicación exitosa de tecnologías de Radio sobre Fibra en los futuros sistemas inalámbricos, como las redes 5G y 60 GHz [9].

Desde otra perspectiva, la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional efectuó un proyecto en el que se aborda el diseño de material didáctico, orientado a la implementación de un laboratorio de comunicaciones ópticas con base en el uso de herramientas computacionales de simulación como Matlab, en combinación con el Communication System Toolbox y el paquete de simulación OptiSystem [10]. Así mismo, en el 2016 Kabalan [11]. realizó una tesis doctoral en la que se estudian y simulan enlaces RoF utilizando circuitos eléctricos equivalentes de componentes fotónicos. Esta investigación se destinó a aplicaciones inalámbricas de alto ancho de banda (60 GHz), permitiendo una tasa de transmisión muy alta.

La *Revista Fotónica* de IEEE publicó un artículo presentando un sistema de transporte híbrido de fibra hasta el hogar (FTTH) y Radio sobre Fibra (RoF) para transmitir una señal cableada y dos señales inalámbricas, simultáneamente, a través de una onda de luz óptica. Los resultados demostraron que las señales FTTH independientes y RoF de dos bandas se pueden generar y separar mediante dispositivos de radiofrecuencia, de frecuencia relativamente baja, moduladores ópticos y divisores de haz de polarización [12].

Un año más tarde, en Malasia se presentó un artículo sobre el formato de modulación utilizado para producir los pulsos ópticos, que son de retorno a cero (RZ) y no retorno a cero (NRZ). Adicionalmente, evalúa el rendimiento de la tasa de error de bits para el sistema OCDMA-RoF, lo cual se considera un método prometedor para mejorar la eficiencia espectral [13].

En otra investigación para la revista de tecnología *Lightwave*, titulada “Investigaciones de Fronthaul de Radio sobre Fibra analógica de 60 GHz”, examinaron dos esquemas para generar señales de ondas milimétricas de 60,25 GHz basados en una variación de las técnicas de modulación de banda lateral única óptica (OSSB) y portadora suprimida de banda lateral doble óptica (DSB-SC). También se desarrollaron y verificaron modelos analíticos de Fronthaul analógicos propuestos, logrando una buena concordancia entre los resultados experimentales y analíticos [14].

En el 2017 los investigadores Browningy otros [15] realizaron una transmisión analógica de Radio sobre Fibra de cinco bandas de UF-OFDM, con heterodinamiento óptico de alrededor de 60 GHz. Los autores lograron un rendimiento muy por debajo del límite de corrección de errores hacia adelante para un bit sin procesar agregado y destacaron la importancia de la correlación de fase óptica precisa en estos sistemas con respecto a los requisitos futuros de los sistemas 5G. En ese mismo año, la universidad Ghent describió una comparación experimental entre Radio sobre Fibra Analógica (ARoF) y Radio sobre Fibra modulada Sigma Delta (SDoF). Los experimentos se llevaron a cabo utilizando una constelación 16-QAM con una velocidad en baudios de 20 a 125 MBd, modulada en una frecuencia portadora central de 1 GHz [16].

En España, Morte Palacios [17] diseñó y caracterizó mezcladores pasivos en una tecnología CMOS para aplicaciones de Radio sobre Fibra (RoF) en redes de área doméstica. El proyecto constó de tres fases: en la primera hizo una revisión bibliográfica de los mezcladores pasivos y filtros polifase, posteriormente se centró en el desarrollo de los mezcladores I-Q y en la última fase realizó el diseño físico, aplicando las técnicas de diseño apropiadas.

El Grupo de Comunicaciones Móviles de Zaragoza, España, propuso la linealización de un sistema RoF de doble banda mediante predistorsión digital. Los resultados fueron evaluados experimentalmente con señales LTE en un sistema RoF, obteniendo de esta forma mejores resultados que con el predistorsionador clásico de una banda [18]. Otro investigador español desarrolló un proyecto de grado titulado "Linealización mediante predistorsión digital en un enlace de Radio sobre Fibra con rama de realimentación", en el que aplicó las técnicas de linealización en un sistema de transmisión híbrido. Para esto, se estudiaron, caracterizaron y evaluaron los efectos degradantes que se producen en estos sistemas, tanto en la parte óptica como en la de radiofrecuencia [19].

En Japón se efectuó una revisión sobre sistemas de ondas milimétricas y terahercios de Radio sobre Fibra para futuras redes móviles. Se concluyó que el uso de tecnología fotónica para la generación, transmisión y conversión ascendente de señales puede ayudar a realizar sistemas inalámbricos de fibra sin costuras simples, de baja latencia, alta capacidad y alto rendimiento [20].

En otro estudio, Cepeda y otros [21] first we present an introduction of the main concepts about radio over fiber and an orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM presentaron la implementación de un sistema de Radio sobre Fibra OFDM a 2,5 GHz utilizando radio definida por *software* (SDR). Compararon un sistema RoF OFDM en tres escenarios diferentes, modificando las distancias inalámbricas y la distancia de la fibra con el fin de evaluar su rendimiento .

En el 2018, en la *Revista de Microondas, Optoelectrónica y Aplicaciones Electromagnéticas* se expuso un artículo en el que se propuso y evaluó una red fronthaul WDM-PON bidireccional incoloro que

transporta señales analógicas de Radio sobre Fibra como una alternativa. Los resultados experimentales muestran una transmisión exitosa bidireccional en las bandas inalámbricas de 1,25, 2,5 y 5 GHz con velocidades de datos de 155, 622 y 1250 Mbps [22].

Por su parte, Dixit [23] diseñó una red flexible de Radio sobre Fibra (RoF) para redes de telecomunicaciones de próxima generación, estudiando los enlaces RoF y descubriendo que las técnicas de modulación de subportadoras de última generación son adecuadas para lograr un balance de enlace de 20 a 45 km. Así mismo, propuso un nuevo algoritmo que se conoce como MIP, demostrando que una red RoF, un mecanismo de sondeo híbrido entre MIP y sondeo simple dependiendo del área de la celda es el más óptimo.

En el 2018, el instituto de Tecnología Rajiv Gandhi propuso mejorar el rendimiento de un enlace bidireccional de Radio sobre Fibra mediante el uso de red de Bragg de Fibra, en una reutilización de longitud de onda basada en modulación de banda lateral doble suprimida por portadora, que incorpora una unidad de procesamiento de señal y detección coherente como DSP [24].

En el Instituto Nacional de Tecnología de Malaviya (India) realizaron una tesis denominada “Modelado y simulación de esquema OFDM usando QAM para Radio sobre Fibra”, en la que utilizaron las técnicas de modulación de amplitud de cuadratura (QAM) y multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), proponiendo un modelo de sistema RoF-OFDM, usando la longitud de fibra óptica hasta 10 km [25].

De la misma forma, en Chipre, el Laboratorio de Investigación de Fotónica de Microondas, expone un concepto basado en fibra multinúcleo (MCF), utilizado simultáneamente para generar señales de ondas milimétricas (mm-wave), en el que se empleó un enlace de Radio sobre Fibra para proporcionar alta capacidad y una baja latencia [26]. En ese mismo año, la Universidad Nacional y Kapodistrian de Atenas publicaron el artículo “Compensación de sesgo estático en sistemas de radio multinúcleo sobre fibra para formación de haces de ondas de 5G Mm”, en el cual plantean un método eficiente para compensar los retrasos diferenciales, sin una ecualización completa de las longitudes de ruta de transmisión, reduciendo la pérdida de potencia y la complejidad [27].

En el 2019, en España, Salueña [28] caracterizó y modeló una superficie de cavidad vertical (VCSEL) para el diseño de un láser driver con elevada linealidad para aplicaciones Radio sobre Fibra con tecnología CMOS. El proyecto constó de diversas fases: el estudio teórico, la caracterización experimental y la comprobación de la estructura ecualizadora elegida.

En la revista de tecnología *Lightwave* se puede observar el desarrollo que ha tenido la tecnología de Radio sobre Fibra en los últimos años. Esta publicación describe la evolución y los múltiples desafíos técnicos en torno al costo de implementación, la interoperabilidad y la compatibilidad [29].

En Corea del Sur se diseñó una red móvil 5G para interiores, basada en ondas milimétricas 4x4, logrando un rendimiento total de 4Gb/s, comprobando experimentalmente el sistema de antena distribuida (DAS) basado en Radio sobre Fibra. La medición del rendimiento estaba limitada por la unidad móvil 5G; por lo tanto, podría mejorarse aún más si se explotan unidades móviles de mayor velocidad [30].

De vuelta en la India, Singh y Kumar [31] evaluaron la comparación experimental de varias técnicas de Fiber Bragg Grating, utilizando fibras de dispersión compensada para la arquitectura híbrida GPON-RoF, concluyendo que para satisfacer las demandas de un número creciente de usuarios se requiere una arquitectura híbrida móvil y fija. En otra investigación, denominada “Implementación de Radio sobre Fibra (RoF) usando MZM para comunicación de larga distancia”, se discutieron importantes cuestiones de diseño y se presentó un ejemplo de enlace para un sistema inalámbrico, empleando la modulación PAM RZ a la señal aleatoria de radiofrecuencia [32].

En el 2019 se hizo una revisión detallada en la que demuestran la tecnología de Radio sobre Fibra perfecta para la futura generación de sistemas de comunicación con menor atenuación, mayor ancho de banda e inmunidad a interferencias electromagnéticas con gran área de cobertura. Así mismo, se discutieron en detalle las diversas técnicas de multiplexación y modulación para mejorar su rendimiento [33].

En la misma revista de tecnología *Lightwave* se demostró el primer transmisor digital de Radio sobre Fibra Sigma-Delta en tiempo real en la banda de 22,75 – 27,5 GHz, sin la ayuda de conversión ascendente analógica/óptica o duplicación de la frecuencia portadora habilitada por un 100-GS/s de baja latencia del moduladora sigma-delta [34].

En la Universidad de Paris-Est, en el 2020, se presentó una tesis doctoral en la cual se estudió el desempeño de la tecnología de Radio sobre Fibra para la transmisión de formas de onda 5G sobre enlaces entre estaciones base y unidades remotas que brindan cobertura de radio a los usuarios móviles, permitiendo determinar los rangos de funcionamiento óptimos del sistema vinculados a la elección de componentes y parámetros de transmisión [3].

Por su parte, en la *Revista Internacional de Ingeniería Eléctrica e Informática* Tan Tran y Trung Bui [35] four-wave mixing nonlinearity (FWM) presentaron un modelo mejorado de sistemas de comunicación RoF, utilizando la técnica de multiplexación por subportadora/multiplexación por división de longitud de onda (SCM/WDM). Los resultados de las simulaciones confirmaron que se podría obtener la menor tasa de errores de bits usando la modulación óptica de banda lateral única (OSSB) en las frecuencias 193.1 THz, 193.2 THz, 193.35 THz y 193.6 THz. En la investigación denominada “Radio sobre Fibra: una tecnología de red de banda ancha alternativa para IoT” se proyecta un estudio de dos estrategias de Radio sobre Fibra, en el que ambas tienen un rendimiento excelente e incluso ofrecen la posibilidad de extender la cobertura del área inalámbrica donde las redes móviles no llegan o la red 802.11 presenta

problemas. La Radiofrecuencia sobre Fibra (RFoF) y la Frecuencia Intermedia sobre Fibra (IFoF) son dos estrategias de transmisión compatibles con los nuevos servicios de banda ancha [36].

De igual forma, en el 2020, en Indonesia lanzaron un programa para la transición de los sistemas de televisión analógica a digital (DTV) para mejorar la eficiencia y la calidad de las señales; sin embargo, la infraestructura fue desafiada por la topografía única y la distribución de la población del país. Por esta razón, se analizan dos esquemas de distribución de Radio sobre Fibra (RoF), que son Fibra a la Torre y Fibra al Hogar, como candidatos para resolver este problema. Este análisis se consideró para siete regiones de Indonesia. Finalmente, se recomiendan diferentes esquemas para cada región, basados en consideraciones de pérdida de enlace a lo largo de todas las rutas [37]. En ese mismo año, en Australia, Lim y Nirmalathas [38] expusieron los sistemas de Radio sobre Fibra como una tecnología híbrida que se introdujo por primera vez en el campo de las telecomunicaciones en los años ochenta. Esa investigación tuvo como objetivo proporcionar una descripción general de las áreas de investigación actuales en RoF, discutiendo los desafíos y las perspectivas de futuro en este campo de estudio.

En el 2021, Li y otros [39] this imposes high demands on the radio access networks (RANs publicaron el artículo “Procesamiento de Señal MIMO de dominio óptico asistido por Radio sobre Fibra Analógico para redes de acceso de radio de alto rendimiento y bajo costo”, en el que proponen un concepto de RAN asistido por Radio sobre Fibra rentable, pero de alto rendimiento. La señal MIMO se transporta por la fibra y se procesa ópticamente en una unidad central, demostrando que el diseño ARoF es capaz de reducir el costo total de RAN.

Finalmente, en Ecuador se hizo una evaluación del sistema de RoF utilizando diferentes esquemas de modulación digital convencionales e híbridos a través del *software* de simulación OptiSystem 7.0, comparando las métricas de factor Q, la tasa de error de bits (BER) y la potencia recibida (Rx) [40].

3.2 Panorama nacional

En Colombia, la Revista *Ingeniería, Investigación y Tecnología* publicó un artículo acerca de un estudio comparativo de técnicas de generación de señales para el transporte de información en sistemas de Radio sobre Fibra usando técnicas de combinación óptica. El estudio se basó en tres técnicas de generación: brazo doble, generación en paralelo y generación serial. Los resultados muestran que los índices de modulación para los esquemas de brazo doble y serial presentan una dependencia entre sí, mientras que la configuración de generación en paralelo tiene una mayor flexibilidad en el establecimiento de los índices de modulación [41].

Por su parte, la Facultad de Ingeniería en Tecnologías de Información y Comunicación de la Universidad Pontificia Bolivariana propuso el uso de Radio sobre Fibra como una solución alternativa para la

nueva generación de redes inalámbricas y cableadas para futuras aplicaciones como el 5G, ya que al implementar esta tecnología se pueden transmitir señales de radio a grandes distancias con bajas tasas de error de bit y baja latencia, logrando obtener bajas tasas de VER en distancias superiores a 1 km [42].

En el año 2016, Flórez Guevara [43] analizó el desempeño de dos técnicas de compensación electrónica: algoritmo de módulo constante (CMA) y back-propagation (BP). Estas técnicas se utilizaron para compensar la degradación ocurrida a señales eléctricas en banda base y señales de Radio sobre Fibra, observando que ambos logaritmos logran disminuir la distorsión de la señal recibida. Para este análisis se empleó la herramienta computacional Matlab para las simulaciones. Se pudo concluir que las aplicaciones de RoF, CMA y BP presentan buen desempeño para redes de acceso, mientras BP actúa mejor para redes de área metropolitana.

En Bogotá, en el 2017, Díaz Díaz [44] presentó su trabajo de grado “Análisis de sistemas de Radio sobre Fibra usando fibras ópticas de plástico”, en el cual se exploraron los avances en la transmisión de información, encontrando que el objetivo en materia de entrega de servicios multimedia es una red convergente de fácil instalación, en la que se pretende alcanzar conexiones inalámbricas a las velocidades de transmisión de conexiones fijas de hasta 10 Gbps. Adicionalmente, se discutieron las ventajas que implica el uso de fibras ópticas de plástico en escenarios en lo que otros medios de transmisión pueden llegar a ser insuficientes, generar inconvenientes en la transmisión o sobrecostos innecesarios.

Un año después, Patiño [45], presentó el diseño de un sistema de Radio sobre Fibra óptica para ondas milimétricas en redes móviles 5G, planteando la necesidad de usar un nuevo segmento del espectro radioeléctrico superior en frecuencias a los actualmente utilizados por los sistemas de comunicaciones móviles, estas frecuencias se denominan ondas milimétricas (MMW). En consecuencia, se presentó la tecnología de Radio sobre Fibra como la base del transporte de las señales convergentes entre la CO (central de procesamiento) y las RB (radio bases).

En otra investigación en el 2018, en la Universidad del Cauca se estudiaron los sistemas de Radio sobre Fibra aplicados a servicios Quad Play (voz/datos, video y radio - telefónico celular) para tecnologías FTTH. Se utilizó la herramienta de simulación OptSim con el fin de analizar el sistema FTTH-GPON para servicios Quad Play. Finalmente, se evaluó el desempeño a nivel físico de la red FTTH-GPON, al integrar el módulo RoF, con base en los parámetros de monitoreo óptico [46]. Nuevamente en Bogotá, Castillo y Moreno [47] desarrollaron un transmisor de frecuencias de Radio sobre Fibra para tener una capacidad mayor de transmisión y pérdidas de propagación bajas, logrando un ancho de banda superior en transmisión de señales de RF. Para la elaboración del sistema se realizaron pruebas de laboratorio, concluyendo que con la implementación de este sistema se genera un bajo consumo de potencia.

En el 2019 se presentó un artículo de investigación científica denominado “Análisis del impacto de la conversión analógica a digital en el desempeño de sistemas de RoF digitalizado”, en el cual se evaluó numéricamente el impacto del proceso de digitalización en el desempeño de escenario Radio sobre Fibra digitalizado a frecuencia intermedia (IF-DRoF). El sistema IF-DRoF comprende una solución flexible de bajo costo, que extiende la distancia de transmisión y escala la tasa de bit con el producto $n \text{ bits} \times \text{frecuencia muestreo}$, comparando con el sistema RoF analógico. De esta forma, se demuestra que el rango dinámico es independiente de la distancia de transmisión, excepto cuando el nivel de señal cae por debajo de la sensibilidad del fotodetector del enlace óptico [48].

En ese mismo año, Ortiz Londoño [4] desarrolló un algoritmo, implementado en Matlab, que permitió la transmisión de señales en un canal óptico utilizando la técnica de multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM) en el medio óptico, Radio sobre Fibra y el modelo matemático que describe un canal de fibra óptica. Presentó el análisis del modelo desarrollado a partir de las constelaciones de las señales a lo largo de la transmisión, centrándose en el desfase observado y el efecto de los esquemas de compensación de errores [49].

En el 2020, el Departamento de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de Antioquia caracterizó un sistema de red híbrido de Radio sobre Fibra, operando en las frecuencias 60, 75 y 82 GHz, siendo la de 60 GHz banda de uso libre y las de 75 y 82 GHz bandas para las redes 5G, determinando la viabilidad del modelo y su alcance. Adicionalmente, se implementaron técnicas de Machine Learning que mejoraron el desempeño de la red, en términos BER. Este proyecto se dividió en dos etapas. En la primera se llevó a cabo un sistema de simulación en el que se desarrolló un sistema de Radio sobre Fibra y se caracterizaron parámetros del sistema. En la segunda se describió la etapa eléctrica de una red de comunicación utilizando un sistema de radio definido por *software* (SDR) [4].

Desde otro enfoque, en el 2020 Rodríguez Franco [50] presentó un trabajo de grado que consistió en la simulación de un enlace de Radio sobre Fibra para la transmisión de imágenes diagnósticas en patologías cardiorrespiratorias de neonatos, mostrando los resultados producto de la simulación en GNU radio de un enlace radio que compara la señal de transmisión cuando se envía una imagen radiográfica de tórax de 40.1 KB con data rates de 20 Mbps, 200 Mbps y 2 Gbps, en un escenario ideal, únicamente de radio con canal de fibra óptica. También se presentan los resultados de la tasa de error de bits de la simulación en OptiSystem de todo el enlace de Radio sobre Fibra, comprobando que el prototipo es totalmente funcional con una tasa de error de bit cercana a cero.

Por otro lado, en el 2021 la Universidad Católica de Colombia publicó un trabajo de grado titulado “Sistema de RoF como plataforma física de transporte de datos de metrología en Colombia”, en el cual se simula un prototipo de red RoF aplicada a las necesidades del Instituto Nacional de Metrología

(INM). Este sistema RoF tiene como finalidad servir de plataforma física para el transporte de datos que requieran ser precisos, exactos, seguros, en tiempo real y con gran capacidad de transmisión [51].

3.3 Panorama regional

En el 2016, en Cúcuta, Torres y otros [5] a new mixed infrastructure called radio over fiber system (Radio over Fiber, RoF) describieron la simulación de un sistema RoF utilizando multiplexación WDM mediante el *software* Matlab, el cual tuvo como objetivo modelar y simular un sistema de Radio sobre Fibra para evaluar las degradaciones producidas por la dispersión que afectan la señal en la transmisión de información. Una de las degradaciones más significativas se produce por la atenuación que afecta la amplitud de la señal óptica en la salida en un factor de 0.22 dB/km. Implícitamente se nota que cada 31,5 km de longitud se cae 6 dB, por lo que se recomienda implementar una etapa de amplificación óptica en el fotorreceptor para recuperar adecuadamente la señal enviada [5].

En el 2016, la *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada* presentó un artículo acerca del estudio, simulación y evaluación de los fenómenos ópticos no lineales, auto-modulación de fase (SPM), modulación de fase cruzada (XPM) y mezcla de cuatro ondas (FWM), los cuales se muestran en una comunicación por fibra óptica y son generados por el efecto eléctrico-óptico Keer. El modelado de los fenómenos no lineales se efectuó en la herramienta computacional Matlab, para determinar las degradaciones producidas en la transmisión de información. En los resultados se evidenció que la incidencia de los fenómenos no lineales es directamente proporcional a la potencia óptica que adquiere la señal a la entrada del canal [52].

En el 2018, Puerto López y otros publicaron un artículo en el que mostraron la metodología para evaluar los efectos lineales y no lineales presentes en un sistema de Radio sobre Fibra, empleando la técnica de multiplexación por división de onda densa, con espaciados de 50 GHz, según las normas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, con una velocidad de canal de 10 Gbps, a una potencia de entrada en el canal óptico de 30 mW, para tramos de fibra óptica de 40, 60 y 80 km. Al final, se observó que los efectos que degradan la señal son proporcionales a las distancias de la fibra óptica establecidas y que la potencia óptica de entrada empleada es óptima para que la fibra se comporte como medio no lineal [53].

Finalmente, en el 2020 Roper y otros [54] plantearon un sistema de comunicaciones óptico, en el que se modularon los datos usando modulación por desplazamiento de fase (PSK) y la técnica de multiplexación por división de frecuencia (FDM). De esta manera, se analizó el rendimiento de comunicaciones óptico, realizando una comparación entre los formatos de modulación Q-PSK, 8-PSK y 16-PSK. Se concluyó que el valor promedio de la tasa de error de modulación para 16-PSK está en un 41% mayor que en Q-PSK y 8-PSK, arrojando que el formato 16-PSK genera un mayor rendimiento y calidad en la transmisión de información para este tipo de sistemas [54].

CONCLUSIONES

Hoy por hoy, se ha evidenciado un crecimiento exponencial en el número de usuarios y dispositivos móviles conectados a redes de telecomunicaciones. Por esta razón, se describieron los avances de investigación acerca de los sistemas de Radio sobre Fibra, a través del tiempo, en los diferentes ámbitos, realizando una lectura minuciosa y de esta manera seleccionando los documentos de diferentes bases de datos. Este artículo permite observar la necesidad de cubrir las líneas de investigación en las áreas de las telecomunicaciones para estar a la vanguardia de la evolución tecnológica del mundo.

Adicionalmente, el desarrollo de la tecnología 5G soportará velocidades de banda ancha muy superiores a las tecnologías móviles actualmente en uso, facilitando de esta forma el desarrollo de tecnologías emergentes como vehículos autónomos, inteligencia artificial, robótica, internet de las cosas (IoT), entre otras. Una de las características más esperadas del 5G es su baja latencia, ya que tendrá tiempos de reacción de menos de 1 ms.

Los sistemas de Radio sobre Fibra poseen muchas ventajas, como su gran ancho de banda y su velocidad de transmisión. Aunque generalmente se emplee en las telecomunicaciones, su utilidad puede cubrir cualquier espacio en la electrónica. Finalmente, Radio sobre Fibra es una tecnología innovadora que puede preparar el camino para soluciones para redes 5G, despertando el interés en muchos países en cuanto a investigación y desarrollo.

REFERENCIAS

- [1] Cisco, "Cisco Annual Internet Report (2018-2023)," 2018.
- [2] F. Alonso del Castillo, "Estudio analítico y experimental de la generación óptica de señales microondas sintonizables para medir la respuesta espectral de antenas", Universidad de Sonora.
- [3] E. Moutaly, "Etude d'une architecture radio-sur-fibre pour le fronthaul 5G", Université Paris-Est, 2020.
- [4] D. F. Torres Vahos, "Diseño y simulación de un sistema de Radio sobre Fibra incluyendo demodulación basada en Machine Learning", Universidad de Antioquia, 2020.
- [5] A. D. T. Palencia, D. G. Ibarra, K. C. P. López, and F. G. López, "Linear effects present in a system of radio over optical fiber using wavelength division multiplexing", *2016 IEEE Ecuador Tech. Chapters Meet. ETCM 2016*, 2016, doi: 10.1109/ETCM.2016.7750843.
- [6] E. P. Martin *et al.*, "25-Gb/s OFDM 60-GHz radio over fiber system based on a gain switched laser", *J. Light. Technol.*, vol. 33, no. 8, pp. 1635–1643, doi: 10.1109/JLT.2015.2391994.
- [7] P. L. Gómez, "Evaluación de sistemas de comunicaciones ópticas y de radio sobre fibra a través de la caracterización de sus diferentes subsistemas y dispositivos", Universidad Autónoma de Madrid.

- [8] V. A. Thomas, M. El-Hajjar, and L. Hanzo, "Performance improvement and cost reduction techniques for radio over fiber communications", *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 17, no. 2, pp. 627-670, doi: 10.1109/COMST.2015.2394911.
- [9] D. Novak *et al.*, "Radio-over-fiber technologies for emerging wireless systems", *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 52, no. 1, 2016, doi: 10.1109/JQE.2015.2504107.
- [10] G. Stephanye and H. Moreta, "Diseño, simulación y pruebas de un laboratorio de sistema de comunicaciones ópticas usando Matlab, Communications System Toolbox, Simulink y OptiSystem", Escuela Politécnica Nacional, 2016.
- [11] Ali Kabalan, "Etude de systèmes radio sur fibre pour des applications de réseaux domestiques en bande millimétrique", Université Paris-Est, 2016.
- [12] C. H. Chang *et al.*, "FTTH and two-band RoF transport systems based on an optical carrier and colorless wavelength separators", *IEEE Photonics J.*, vol. 8, no. 1, 2016, doi: 10.1109/JPHOT.2015.2510331.
- [13] Z. Ibrahim, C. B. M. Rashidi, S. A. Aljunid, A. K. Rahman, and M. S. Anuar, "NRZ and RZ analysis for optical CDMA based on radio over fiber (RoF) technique", *2016 3rd Int. Conf. Electron. Des. ICED 2016*, pp. 151-154, 2017, doi: 10.1109/ICED.2016.7804626.
- [14] Y. Tian, K. L. Lee, C. Lim, and A. Nirmalathas, "60 GHz Analog Radio-Over-Fiber Fronthaul Investigations", *J. Light. Technol.*, vol. 35, no. 19, pp. 4304-4310, 2017, doi: 10.1109/JLT.2017.2740436.
- [15] C. Browning, E. P. Martin, A. Farhang, and L. P. Barry, "60 GHz 5G Radio-Over-Fiber Using UF-OFDM with Optical Heterodyning", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 29, no. 23, pp. 2059-2062, 2017, doi: 10.1109/LPT.2017.2763680.
- [16] L. Breyne, G. Torfs, X. Yin, P. Demeester, and J. Bauwelinck, "Comparison Between Analog Radio-Over-Fiber and Sigma Delta Modulated Radio-Over-Fiber", *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 29, no. 21, pp. 1808-1811, 2017, doi: 10.1109/LPT.2017.2752284.
- [17] J. Morte Palacios, "Diseño CMOS de celdas RFIC para aplicaciones de radio sobre fibra RoF", Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Zaragoza, 2017.
- [18] C. Mateo Pérez, N. Pérez, P. García, P. L. Carro, J. De Mingo, and I. Salinas, "Linealización mediante predistorsión digital de un sistema Radio sobre Fibra de doble banda", *Jorn. Jóvenes Investig. del I3A*, vol. 5, pp. 2-3, 2017, doi: 10.26754/jji-i3a.201711938.
- [19] J. Clemente Vicente, "Linealización mediante predistorsión digital en un enlace de Radio sobre Fibra con rama de realimentación", Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Zaragoza, 2017.
- [20] P. T. Dat, A. Kanno, T. Umezawa, N. Yamamoto, and T. Kawanishi, "Millimeter- and terahertz-wave radio-over-fiber for 5G and beyond", *Summer Top. Meet. Ser. SUM 2017*, pp. 165-166, 2017, doi: 10.1109/PHOSST.2017.8012702.
- [21] J. D. Cepeda, S. I. Rodríguez, M. Rico-Martínez, C. D. Muñoz, M. Varón, and I. T. Monroy, "Performance evaluation of a real time OFDM radio over fiber system at 2.5 GHz using software

- defined radio SDR”, *SBMO/IEEE MTT-S Int. Microw. Optoelectron. Conf. IMOC 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1-5, 2017, doi: 10.1109/IMOC.2017.8121094.
- [22] A. M. Souza, D. R. Celino, U. R. Duarte, and M. A. Romero, “Analog radio-over-fiber fronthaul by a WDM-PON employing double RSOA self-seeding and carrier-reuse techniques”, *J. Microwaves, Optoelectron. Electromagn. Appl.*, vol. 17, no. 4, pp. 552-566, 2018, doi: 10.1590/2179-10742018v17i41546.
- [23] A. Dixit, “Architectures and algorithms for radio-over-fiber networks”, *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 10, no. 5, pp. 535-544, 2018, doi: 10.1364/JOCN.10.000535.
- [24] J. Zacharias and S. MG, “Improving the Performance of RoF System by FBG in a CS-DSB based Wavelength reuse incorporating coherent detection and DSP”, *2018 2nd Int. Conf. Trends Electron. Informatics*, no. Icoei, pp. 1194-1198, 2018.
- [25] V. Singh, “Modeling and Simulation of OFDM Scheme Using QAM for Radio over Fiber”, Malaviya National Institute of Technology, 2018.
- [26] G. K. M. Hasanuzzaman and S. Iezekiel, “Multi-core Fiber Based Mm-wave Generation , Radio-over-Fiber , and Power-over-Fiber”, pp. 7-9.
- [27] T. Nikas, E. Pikasis, and D. Syvridis, “Static Skew Compensation in Multi Core Radio over Fiber systems for 5G Mmwave Beamforming”, *Proc. 2018 Photonics Switch. Comput. PSC 2018*, no. 1, pp. 1-3, 2018, doi: 10.1109/PS.2018.8751425.
- [28] S. A. Salueña, “Caracterización experimental y modelado de un VCSEL para el diseño de un laser driver con elevada linealidad para aplicaciones de radio sobre fibra con tecnología CMOS nanométrica”, Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Zaragoza, 2019.
- [29] C. Lim *et al.*, “Evolution of Radio-Over-Fiber Technology”, *J. Light. Technol.*, vol. 37, no. 6, pp. 1647-1656, 2019.
- [30] J. Kim *et al.*, “MIMO-Supporting Radio-Over-Fiber System and its Application in mmWave-Based Indoor 5G Mobile Network”, *J. Light. Technol.*, vol. 38, no. 1, pp. 101-111, 2019, doi: 10.1109/JLT.2019.2931318.
- [31] J. Singh and A. K. Garg, “Optimal Solutions of Integrated Optical and Wireless Applications Using GPON-RoF Technologies”, *Proc. 3rd Int. Conf. Electron. Commun. Aerosp. Technol. ICECA 2019*, pp. 526-531, 2019, doi: 10.1109/ICECA.2019.8821884.
- [32] H. Muwafaq, M. F. L. Abdullah, K. A. Omar, A. A. Qasim, A. M. Abdulrahman, and A. Dawood, “Radio over Fiber (RoF) Implementation using MZM For Long Distance Communication”, *2019 Int. Conf. Inf. Sci. Commun. Technol.*, pp. 1-6, 2019.
- [33] R. Singh and S. Kumar, “Radio Over Fiber Technology: A detailed review”, *Dep. Electron. Commun. Eng. Maharshi Dayanand Univ.*, no. March, pp. 6-8, 2019, doi: 10.1729/Journal.19735.
- [34] H. Li *et al.*, “Real-Time 100-GS/s Sigma-Delta Modulator for All-Digital Radio-Over-Fiber Transmission”, *J. Light. Technol.*, vol. 38, no. 2, pp. 386-393, 2019, doi: 10.1109/JLT.2019.2931549.
- [35] D. T. Tran and N. T. Bui, “Improvements on the performance of subcarrier multiplexing/wavelength division multiplexing based radio over fiber system”, *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 1439-1449, 2020, doi: 10.11591/ijece.v11i2.pp1439-1449.

- [36] D. F. Paredes-Páliz, G. Royo, F. Aznar, C. Aldea, and S. Celma, "Radio over fiber: An alternative broadband network technology for IoT", *Electron.*, vol. 9, no. 11, pp. 1-8, 2020, doi: 10.3390/electronics9111785.
- [37] D. Rusdiyanto and C. Apriono, "Radio over Fiber for Implementing Digital Television Network in Indonesia", *Proc. - 2020 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Humanification Reliab. Intell. Syst. ISITIA 2020*, pp. 321-325, 2020, doi: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163717.
- [38] C. Lim and A. Nirmalathas, "Radio-Over-Fiber Technology: Present and Future", *J. Light. Technol.*, vol. 39, no. 4, pp. 881-888, 2020, doi: 10.1109/JLT.2020.3024916.
- [39] Y. Li, F. Wang, M. El-Hajjar, and L. Hanzo, "Analog radio-over-fiber-aided optical-domain MIMO signal processing for high-performance low-cost radio access networks", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 59, no. 1, pp. 126-132, 2021, doi: 10.1109/MCOM.001.2000479.
- [40] G. A. Florencia Ulloa, "Evaluación del sistema de radio sobre fibra utilizando modulación digital mixta", Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2021.
- [41] M.-O. R. Oswaldo, C.-M. M. Arturo, P.-L. G. Adolfo, and S.-F. C. Arturo, "Generación de señales para sistemas radio sobre fibra basados en combinación óptica", *Ing. Investig. y Technol.*, vol. 16, no. 4, pp. 585-598, oct. 2015, doi: 10.1016/j.riit.2015.09.010.
- [42] K. A. Ortiz, F. R. Rodríguez, J. P. Velásquez, J. A. Guerrero, L. B. Agudelo, and F. Amaya-Fernández, "Implementación de una propuesta de Radio sobre Fibra para la comunicación de redes móviles basadas en Femtoceldas", *Colomb. Conf. Commun. Comput.*, no. September, p. 5, 2015.
- [43] R. de J. Flórez Guevara, "Compensación de los efectos de propagación en enlaces ópticos", Universidad Pontificia Bolivariana, 2016.
- [44] J. Z. Díaz Díaz, "Análisis de sistemas de radio sobre fibra usando fibras ópticas de plástico", Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017.
- [45] A. Patiño, "Diseño de un sistema de radio sobre fibra óptica para ondas milimétricas en redes móviles 5G", Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018.
- [46] A. F. Escallón Portilla and V. H. Ruiz Guachetá, "Evaluación del desempeño a nivel físico de un sistema FTTH-GPON para servicios Quad Play al integrar un módulo RoF", Universidad del Cauca, 2018.
- [47] M. A. Castillo Álvarez and D. A. Moreno Calderon, "Transmisor en frecuencia RF basado en Radio sobre Fibra Óptica", Universidad Católica de Colombia, 2018.
- [48] E. Avendaño Fernández, J. J. Granada Torres, A. M. Cárdenas Soto, and N. Guerrero González, "Análisis del impacto de la conversión analógica a digital en el desempeño de sistemas RoF digitalizado", *Inge Cuc*, vol. 15, no. 1, pp. 77-88, 2019, doi: 10.17981/ingecuc.15.1.2019.07.
- [49] B. N. Ortiz Londoño, "Análisis del transporte de señales de radiofrecuencia utilizando multiplexación por división de frecuencias ortogonales óptico", Universidad Pontificia Bolivariana, 2019.
- [50] N. Rodríguez Franco, "Simulación de un enlace RoF para las transmisión de imágenes diagnósticas cardio respiratorias de neonatos", Universidad Católica de Colombia, 2020.

- [51] O. F. Castro-Rincón and E. V. Gómez-Mute, "Sistema de RoF como plataforma física de transporte de datos de metrología en Colombia", Universidad Católica de Colombia, 2021.
- [52] F. Gómez López, L. A. García Ortiz, K. C. Puerto López, and D. Guevara Ibarra, "Modelado de los fenómenos no lineales generados por el efecto electro-óptico Kerr en una transmisión por fibra óptica", *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, vol. 2, no. 28, pp. 77-81, 2016.
- [53] K. C. Puerto López, R. P. Báez Parada, Á. D. Torres Palencia, and D. G. I. Guevara Ibarra, "Methodology for evaluating linear and non-linear effects in a radio over fiber system", *Respuestas*, vol. 23, no. 2, pp. 75-88, 2018, doi: 10.22463/0122820x.1740.
- [54] D. Roper-Torres, K. Puerto-López, and D. Guevara, "Evaluación de un sistema de comunicación óptico empleando modulación por desplazamiento de fase QPSK , 8PSK y 16PSK, utilizando la técnica FDM . Evaluation of an optical communication system using QPSK , 8PSK and 16PSK phase shift modulation using the FDM", vol. 8, no. 2, pp. 76-83, 2020.

Sistema de inferencia difuso para determinar el perfil de riesgo de los inversionistas en el sistema financiero colombiano¹

Fuzzy inference system for determining the risk profile of investors in the Colombian financial system

Milton Samuel Camelo Rincón²
Mónica Patricia Enciso Pulido³

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9735>

RESUMEN

Las entidades financieras determinan el perfil de riesgo de los inversionistas mediante encuestas que simplifican en exceso la complejidad en las preferencias del individuo, lo que limita la oferta de sus portafolios hacia sus clientes. De ahí surge la necesidad de emplear **métodos alternativos** para brindar una mayor pertinencia en los portafolios que ofrecen estas entidades. En ese sentido, se parte de la siguiente pregunta: ¿cómo estructurar un sistema para determinar de forma más adecuada el perfil de riesgo de los inversionistas? Como respuesta, esta investigación desarrolla una propuesta metodológica basada en la lógica difusa, según la cual los inversionistas se categorizan en escalas no discretas de riesgo, considerando la vaguedad y heterogeneidad en las características de cada individuo. Los resultados muestran que el sistema de inferencia difuso propuesto mejora potencialmente la clasificación del perfil de riesgo, capturando las particularidades del inversionista.

Palabras claves: inferencia difusa, perfil de riesgo, preferencias, inversionista, sistema financiero.

ABSTRACT

Financial institutions determine the risk profile of investors through surveys that oversimplify the complexity of individual preferences, which limits the portfolio of these institutions. Thus arises the need to use alternative methods to provide greater relevance in the portfolios offered by the financial system. In this sense, the starting point is the following question: how to structure a system to more adequately determine the risk profile of investors? In response, this research develops a methodological proposal based on fuzzy logic, according to which investors are categorized within non-discrete risk scales, considering the vagueness and heterogeneity in the characteristics of each individual. The results show that the proposed fuzzy inference system potentially improves the risk profile classification, capturing the particularities of the investor.

Keywords: fuzzy logic, risk profile, preferences, investor, financial system.



Cómo citar este artículo: M. Camelo Rincón and M. Enciso Pulido. "Sistema de inferencia difuso para determinar el perfil de riesgo de los inversionistas en el sistema financiero colombiano". *Ingeniare*, vol. 19, no. 33, pp. 89-110, Diciembre 2022.

¹ Artículo resultado del proyecto de investigación titulado *Metodologías alternativas para la evaluación de los mercados financieros en América Latina* financiado por la Universidad de la Salle.

² Magister en Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor investigador de la Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. mcamelo@unisalle.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8727-1257>

³ Magister en Administración de Negocios (MBA) de la Universidad Sergio Arboleda. PRIME Bussines School. Bogotá, Colombia. monica.enciso01@correo.usa.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2451-7114>

1. INTRODUCCIÓN

Algunas categorías de perfil de riesgo de un inversionista son generalmente aceptadas y son pocas las que cuestionan su utilidad. En efecto, establecer un perfil de riesgo suele ser el primer paso que un asesor de inversión certificado o una compañía realiza para guiar la toma de decisiones del inversionista y así administrar su portafolio de inversión. El Decreto 661 del 17 de abril de 2018 reglamenta este aspecto en el caso colombiano [1], estableciendo que el perfil del cliente debe evaluar su conocimiento en inversiones, objetivos de inversión, tolerancia al riesgo y el horizonte de tiempo, entre otros. Teniendo en cuenta esto, las entidades financieras suelen definir tres perfiles básicos: conservador, moderado y arriesgado. El perfil conservador aplica para personas que prefieren obtener menor rentabilidad a cambio de minimizar el riesgo de su inversión; el moderado supone personas que toleran cierto nivel de riesgo por mayor utilidad; el arriesgado o especulativo se refiere a inversionistas que asumen alto nivel de riesgo en busca de retornos más altos y entienden que pueden tener mayores pérdidas. Para la clasificación del cliente, las entidades financieras utilizan encuestas sencillas, dándole a cada pregunta una ponderación y al final el resultado lo ubica en alguna de las categorías descritas.

Sin embargo, la simplicidad con la que se determina el perfil de riesgo en Colombia deja abierta la posibilidad de que los portafolios de los inversionistas no queden organizados de acuerdo con sus preferencias reales y tolerancia al riesgo. Los límites reduccionistas en la determinación del perfil de riesgo, al evitar la complejidad del sistema, pueden llevar a errores en la toma de decisiones y en la selección de portafolios de inversión, implicando pérdidas no contempladas [2]. Por ejemplo, cuando hay momentos de alta volatilidad en el mercado los inversionistas pueden sufrir caídas notorias en sus portafolios, que los llevan a entrar en pánico y tomar decisiones que los impulsan a retirar su dinero y afrontar pérdidas aún mayores [3]. Por esta razón, las entidades financieras necesitan crear herramientas que permitan considerar la subjetividad de las preferencias de los inversionistas, sus expectativas y su grado de conocimiento.

Entre las herramientas novedosas que han tenido éxito en el campo financiero se encuentra la lógica difusa. Las bondades de este enfoque están en su capacidad de reconocer la imprecisión, la incertidumbre y la complejidad del entorno, propiedades básicas de las finanzas. Así, la lógica difusa ha permitido la modelación en áreas como el pronóstico en mercados financieros, las finanzas personales, las finanzas públicas, entre otras, constituyendo una herramienta que aún tiene mucho potencial de aplicación [4].

El objetivo de este trabajo es proponer un sistema de inferencia difuso, que considere múltiples variables internas y externas para determinar el perfil de riesgo de los inversionistas. El enfoque implica la consulta a expertos, el uso de información aproximada e imprecisa, aproximaciones matemáticas y simulaciones construidas a partir de lógica difusa. Esta propuesta se justifica en términos prácticos en

que al mejorar el perfilamiento de los inversionistas las entidades financieras pueden conocer mejor a sus clientes, los inversionistas pueden gestionar mejor sus recursos y el sistema financiero obtiene estabilidad ante situaciones de crisis, pues si la empresa conoce a sus clientes pueden tomar mejores decisiones.

Este documento presenta primero una revisión de literatura que contextualiza el perfil de riesgo en Colombia y la inferencia difusa; posteriormente, la metodología de construcción del sistema difuso para determinar el perfil de riesgo de los inversionistas; luego, los resultados del sistema mediante su aplicación en un grupo de inversionistas, y finalmente se discuten los hallazgos y se concluye respecto al alcance del sistema propuesto.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Perfil de riesgo de los inversionistas en Colombia

El término perfil de riesgo se refiere a los aspectos que determinan el grado de riesgo que una persona o empresa está dispuesta a asumir al momento de invertir su dinero. Básicamente, define la tolerancia frente al riesgo que implican decisiones de inversión [5]. Para establecer el perfil de riesgo de un inversionista se pueden considerar paradigmas teóricos que aparecen en la bibliografía financiera, como la teoría prospectiva, en la que los individuos utilizan un esquema heurístico para evaluar sus posibles pérdidas o ganancias en situaciones de riesgo [6], o las teorías psicológicas sobre la personalidad, como el modelo de los “cinco grandes”, en el que se establecen que los factores de apertura a la experiencia, la conciencia, la extraversión, la amabilidad y el neurotismo determinan el perfil del individuo [7], [8]. De esta forma, los procedimientos adoptados internacionalmente para este fin contemplan aspectos relacionados con la situación financiera, la experiencia, la tolerancia al riesgo, el horizonte temporal y los objetivos de inversión, entre otras [9].

En concordancia con lo anterior, en Colombia las entidades reguladas por la Superintendencia Financiera utilizan un sistema de encuesta con preguntas cerradas sobre edad, plazo de inversión, experiencia en inversiones, conocimiento financiero del inversionista y tolerancia a pérdidas. Cada pregunta tiene una ponderación y, de acuerdo con las opciones de respuesta, se suman los resultados determinando el nivel de tolerancia al riesgo, según el rango en que se encuentre. Las entidades clasifican a los inversionistas en las categorías conservador, arriesgado y moderado. Algunas entidades han establecido nuevas denominaciones, siguiendo el mismo método de lógica clásica o bivalente.

Tabla 1. Esquema de encuesta perfil de riesgo tradicional del sistema financiero en Colombia

Pregunta	Opciones de respuesta (puntaje)		
Edad actual	Mayor a 55 (1)	Entre 40 y 55 años (2)	Menor a 40 años (3)
¿Estaría dispuesto a aceptar temporalmente una pérdida nominal acumulada por alcanzar su rentabilidad esperada?	Definitivamente no (1)	Por un periodo de hasta un año (2)	Por un periodo de hasta 3 años (3)
Horizonte de tiempo para su inversión	Menos de 1 año (1)	1 a 5 años (2)	Más de 5 años (3)
¿Cómo clasifica su experiencia en inversiones?	Poca (1)	Media (2)	Mucha (3)
Suponiendo que su inversión se está desvalorizando en un 50%, ¿qué haría?	Retirar mi dinero (1)	Esperar (2)	Comprar más acciones (3)

Fuente: Elaboración propia a partir de [10] [12].

Cada pregunta tiene una ponderación o punto, como se muestra resaltado entre paréntesis en la Tabla 1. De acuerdo con las opciones de respuesta, se suman los puntos obtenidos y su sumatoria determina el nivel de tolerancia al riesgo entre las opciones conservador, moderado y arriesgado.

2.2 Aplicaciones de la inferencia difusa en mercados financieros

Algunos autores definen la lógica difusa como la lógica de los conceptos inexactos [13], [14], pues considera la idea de tener en cuenta variables lingüísticas que captan las propiedades de aproximación o los conceptos de imprecisión en un sistema, lo que permite que un elemento tenga valores intermedios en el grado de pertenencia a un conjunto determinado. Así, la lógica difusa es una herramienta que permite incorporar subjetividad e incertidumbre, por lo que es útil en varias áreas de estudio financiero, entre ellas la determinación de perfiles de riesgo de los inversionistas.

La inferencia difusa es un proceso en el que se obtiene nuevo conocimiento usando lógica difusa. Un sistema de inferencia difuso puede definirse como un conjunto de reglas o principios que incorpora las opiniones y experiencias de uno o varios expertos que tienen conocimiento en un tema determinado. La construcción de un sistema parte de una serie de pasos no estándar, pero que se pueden resumir en los siguientes: determinación de aquellas variables lingüísticas de entrada y la variable de salida, elaboración de las reglas difusas y defusificación [15], [16].

Entre las aplicaciones de la inferencia difusa en mercados financieros se destacan el análisis técnico en el mercado de valores a partir de reglas difusas [17], [18], el diseño de sistemas expertos para la selección de portafolios de inversión [19], [20], el análisis del riesgo de crédito [21], [22] con el fin de que dichos recursos sean invertidos a nombre de la empresa (inversionista), el análisis de la volatilidad macroeconómica [23], [24], la predicción de índices bursátiles [25] y la valoración financiera de empresas

[26], [27]. En ese sentido, la lógica difusa no contradice la modelación financiera tradicional, sino que la complementa, de forma que admite criterios aproximados en este tipo de sistemas. Sin embargo, aún no se ha aplicado en la determinación del perfil de riesgo de inversionistas.

3. MODELO PROPUESTO

A través de la lógica difusa es posible ampliar las valoraciones típicas que suelen limitarse a perfil de riesgo conservador, moderado y arriesgado. Dicha lógica, al admitir estas valoraciones subjetivas, logra incorporar otras valoraciones como “muy conservador” o “poco conservador”, donde la pertenencia a esas categorías no se basa en una lógica binaria clásica, sino que admite diferentes grados. Esto permite que los inversionistas, sin importar su heterogeneidad, se sientan identificados en un perfil de riesgo (difuso).

La Figura 1 muestra los tres perfiles de riesgo relacionados en tres conjuntos difusos, se representan mediante una función de pertenencia $f(x)$, cuyo rango es el intervalo $[0,1]$, en el que 1 significa total pertenencia del elemento (x) al conjunto, y 0 indica nula pertenencia. Por lo tanto, existen elementos que pertenecen parcialmente al conjunto y, a su vez, conjuntos diferentes que se intersectan. De esta forma, cualquier punto entre estos conjuntos tiene una pertenencia total o parcial [28].

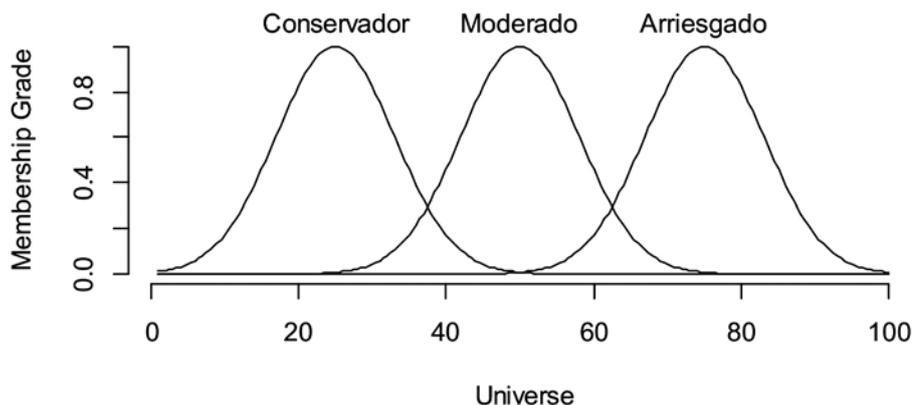


Figura 1. Aproximación difusa de los perfiles de riesgo

Fuente: Elaboración propia.

Con este modelo es posible evaluar qué tan conservador, moderado o arriesgado puede ser un inversionista, estableciendo valoraciones lingüísticas para cada una de las variables que se consideren relevantes. De esta manera, es factible incorporar múltiples características propias del individuo (aspectos internos) y la coyuntura o entorno en el que se encuentra (aspectos externos), que determinen su propensión o aversión al riesgo.

En resumen, se trata de construir un sistema de inferencia difuso, en el que las variables de entrada están dadas por aspectos como edad, tolerancia a las pérdidas, plazo de inversión, conocimiento en inversión y la percepción del crecimiento económico, mientras que la variable de salida es el perfil de riesgo. Siguiendo el método Mamdani [29], se establece un conjunto de reglas mediante el expertizaje, que mediante el proceso de defusificación permite establecer una función de pertenencia a un conjunto difuso denominado Perfil de riesgo (Figura 2).

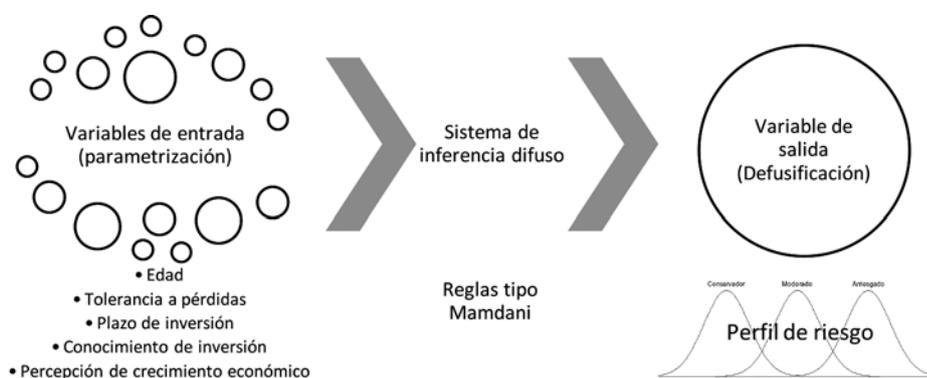


Figura 2. Sistema de inferencia difuso de Mamdani

Fuente: Elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

Para definir la estructura del modelo se siguió el proceso de inferencia difusa descrito: a) selección de las variables de entrada y salida, b) elaboración de las reglas difusas y c) defusificación. El proceso se programó mediante el *software* R Project, apoyado mediante la librería *fuzzySim* [30]. A continuación, se detalla cada una de estas etapas.

4.1 Variables de entrada

4.1.1 Edad

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe [31] divide a la población en cuatro grandes grupos de edad: juvenil (0 a 19 años), adultos jóvenes (20 a 39 años), adultos de mediana edad (40 a 59 años) y personas mayores (60 años y más). Con base en esta clasificación, se utilizaron conjuntos difusos de forma trapezoidal, tomando los cortes del conjunto “Joven” y “Adulto” en 40 años, “Adulto” y “Adulto Mayor” en 60 años.

- Joven: <40 años
- Adulto: entre 40 y 60 años
- Adulto mayor: >60

Los puntos de corte en la Figura 3 son 40 y 60 años, teniendo en cuenta que son los límites en los que una persona pasa gradualmente de una categoría a otra. Los cortes con el eje horizontal son una consecuencia de la trayectoria de las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos.

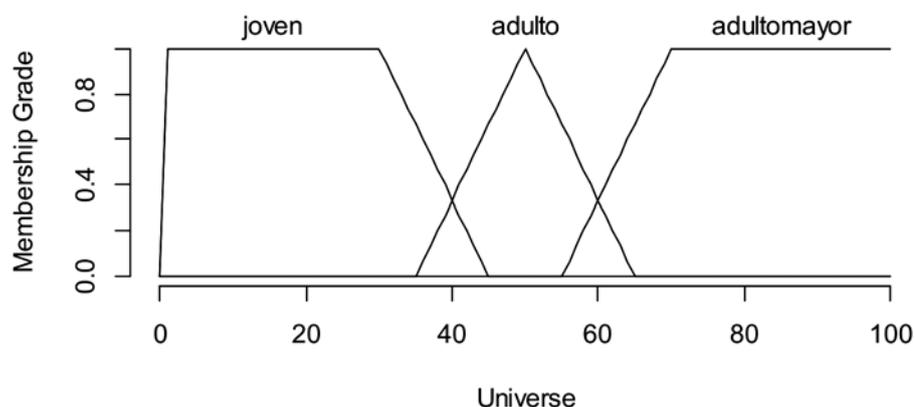


Figura 3. Conjuntos difusos para la variable edad

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Tolerancia a pérdidas

En esta variable el potencial inversionista debe dar una valoración de acuerdo con su percepción sobre lo que está dispuesto a perder en una inversión. Concretamente, la pregunta es:

*Si usted contara con \$100 para invertir en este momento,
¿cuánto estaría dispuesto a arriesgar con el fin de alcanzar su ganancia objetivo,
teniendo en cuenta que esa cantidad puede perderse?*

Los rangos para establecer esta variable se obtuvieron a través de un proceso de consulta a expertos, que contó con el apoyo de diez profesionales financieros⁴, a quienes se les indagó de manera independiente sobre sus consideraciones individuales y establecieron los intervalos que determinaron como lógicos para las valoraciones: baja, media, alta. Los resultados de la opinión de los expertos se resumen el Anexo 2, y en esta variable en particular, se reflejan en la Figura 4 y la Tabla 2.

⁴ Los profesionales se seleccionaron teniendo en cuenta que son expertos en finanzas, cuentan con una titulación mínima de Maestría afin al área, y desempeñan un papel en el sector. Se consideran expertos en la medida en que tienen conocimiento y experiencia en este tipo de análisis, como docentes, consultores, investigadores y analistas (Anexo 1)

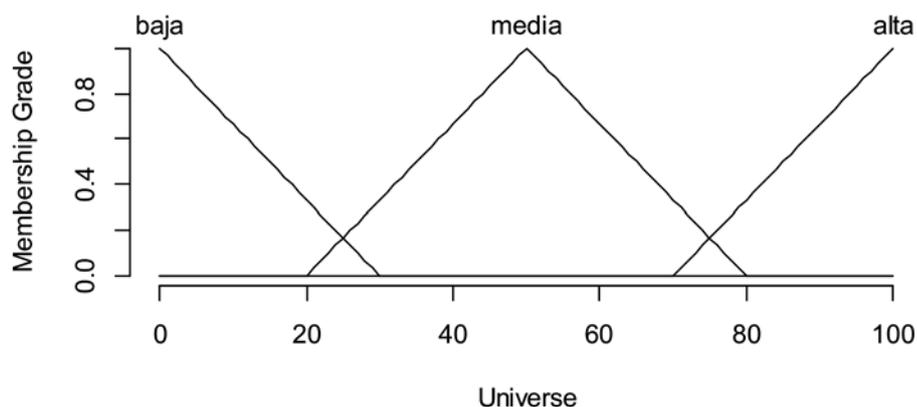


Figura 4. Conjuntos difusos para la variable tolerancia a pérdidas

Fuente: Elaboración propia.

Se estableció un universo para la variable [0-100] y se indagó a los expertos sobre la forma más adecuada de ordenarla. Con los resultados de la consulta se identificaron rangos para los conjuntos trapezoidales. Los expertos definieron que el rango y tamaño de la función fuera 50 y por simetría se encuentra que la mitad de las mismas corresponde a 25. Por esta razón, los puntos de corte de las funciones fueron 25 (corte entre “baja” y “media”) y 75 (50+25, corte entre “media” y “alta”). Los cortes con el eje horizontal (30 y 80) son resultado de la trayectoria de la función de pertenencia. Así, por ejemplo, una tolerancia a pérdida baja se encuentra entre 0 y 30, con 0 como el valor que pertenece totalmente a este nivel.

Tabla 2. Grados de pertenencia para la variable Tolerancia a pérdidas, según expertizaje

Tolerancia a pérdidas	Grados de pertenencia		
	Universe	Baja	Media
0	1	0	0
10	0,667	0	0
20	0,333	0	0
30	0	0,25	0
40	0	0,75	0
50	0	1	0
60	0	0,75	0
70	0	0,25	0
80	0	0	0,25
90	0	0	0,75
100	0	0	1

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Plazo de inversión

El Banco Bilbao Vizcaya Argentaria [32] y los criterios contables tradicionales en Colombia clasifican específicamente el corto plazo de 0-1 año (12 meses), mediano plazo de un año (12 meses), 5 años (60 meses) y largo plazo > 5 años (>60 meses). Por tanto, se estableció un universo de 0 a 100, cuantificado en meses y se establecieron las variables de la siguiente manera:

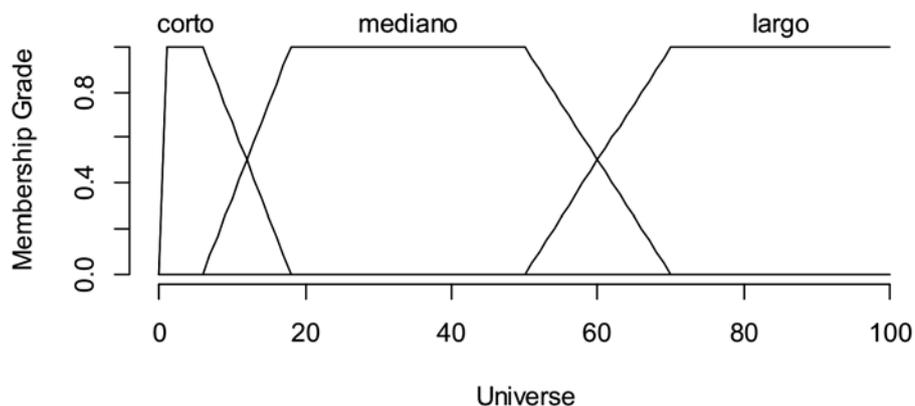


Figura 5. Conjuntos difusos para la variable Plazo de inversión

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos de corte son 12 y 60 meses, teniendo en cuenta que aquí es donde va transitando gradualmente a la siguiente categoría, según los rangos definidos con base en la información recopilada.

4.1.4 Conocimiento en inversión

Esta variable depende del nivel educativo del inversionista, su profesión, la experiencia previa en inversiones, etc. Para conocer estos aspectos se realiza la siguiente pregunta al potencial inversionista: En una escala de 0 a 100, ¿cuánto conocimiento considera que tiene en inversiones? Califíquese en esa escala.

Los rangos para establecer esta variable se obtuvieron a través de consulta con expertos, como se hizo con la variable "Tolerancia a pérdidas" (Anexo 2). Para establecer los puntos de corte de las funciones se tomó el promedio de los límites inferiores y superiores establecidos por los expertos, obteniendo las siguientes funciones trapezoidales.

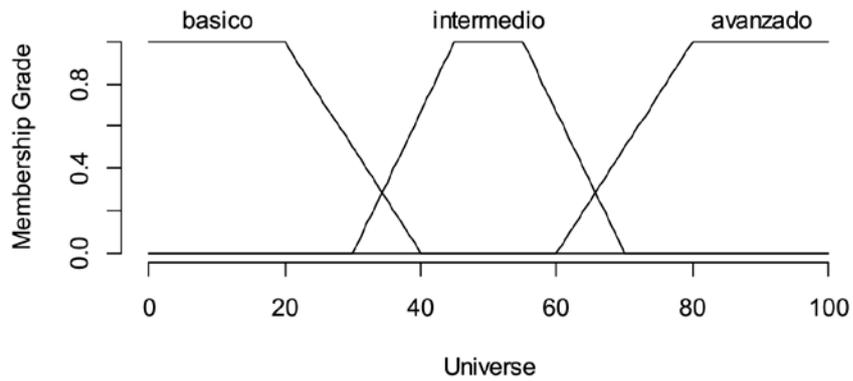


Figura 6. Conjuntos difusos para la variable Conocimiento en inversión

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Percepción de crecimiento económico

Esta variable corresponde al crecimiento de la economía y permite incorporar al sistema la percepción de crecimiento del país. Es posible parametrizar su medida preguntando directamente al potencial inversionista.

*¿Su percepción actual sobre la economía es negativa o positiva?
 ¿De 0 a 50, califique qué tan positiva o negativa es esta percepción?*

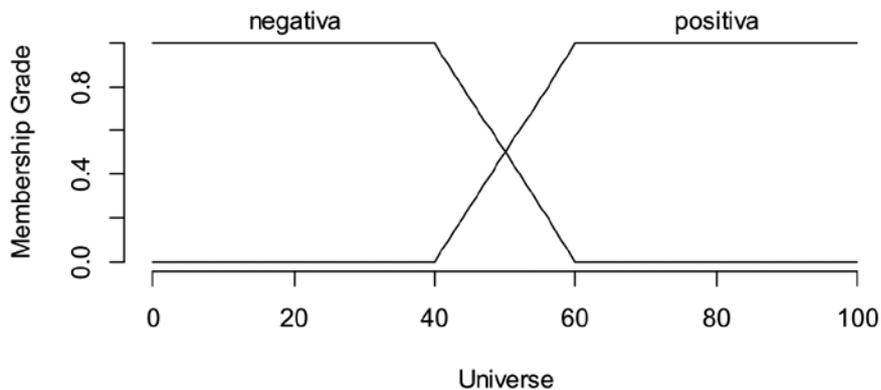


Figura 7. Conjuntos difusos para la variable Percepción de crecimiento económico

Fuente: Elaboración propia.

Si el inversionista contesta “Negativa”, se ubica en el primer conjunto (rango 0-50). Una vez el potencial inversionista conteste su calificación, se tiene el valor de esta variable de entrada para alimentar el

sistema. Si el inversionista responde que considera un crecimiento nulo (0), esto lo clasifica en el punto medio del universo (50). Si contesta “Positiva”, se ubica en el segundo conjunto (rango 50-100). Como su calificación se establece de 0 a 50 por simplicidad en la pregunta inicial, el resultado debe convertirse de forma simétrica para alimentar el sistema.

4.1.6 Variable de salida: Perfil de riesgo

Corresponde al perfil de riesgo del inversionista, según el análisis que hace el sistema de las respuestas a las variables de entrada. Las categorías son: muy conservador (M.cons), conservador (Cons), moderado (Mod), arriesgado (Arriesg) y muy arriesgado (M.arriesg).

Para obtener la variable de salida, el sistema hace una “agregación”, unificando las reglas y los valores asignados para obtener un solo conjunto difuso como resultado⁵, es decir, el “Perfil de Riesgo”. El *software* se encarga de realizar esta agregación, tomando como base el método Mamdani [29].

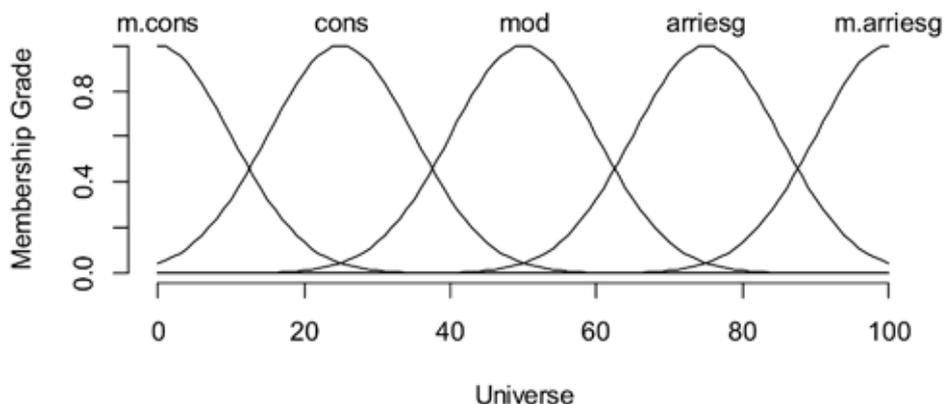


Figura 8. Conjuntos difusos para la variable de salida Perfil de riesgo

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Reglas al sistema

Al sistema se de deben dar las reglas, es decir, informarle cómo reaccionar ante cambios en las variables de entrada. Estas se llaman reglas “Si - Entonces” y son la base de conocimiento del sistema. Se basan en el conocimiento y experiencia de expertos humanos, quienes por definición contemplan diversas posiciones, lo cual determina el carácter difuso del sistema [33].

⁴ A través del proceso de agregación el sistema arroja una función normal que estadísticamente admite un grado de pertenencia mayor que cero en tres conjuntos, es decir, intersección entre tres conjuntos; sin embargo, la interpretación práctica puede limitarse a la intersección de dos conjuntos.

En la etapa anterior se definieron tres conjuntos difusos para cada una de las primeras cuatro variables y dos conjuntos en la variable “Percepción de crecimiento económico”. Por conteo estadístico se pueden dar 162 posibles combinaciones. Sin embargo, basta un conjunto reducido de reglas para la agregación y obtener un resultado para la variable Perfil de riesgo. En la Tabla 3 se presentan en detalle las reglas “Si - Entonces” definidas para el sistema, donde además se simplifican algunas que tienden a tener valoraciones en común.

Tabla 3. Reglas del sistema de inferencia difuso

Perfil	Edad	Tolerancia a las pérdidas	Plazo	Conocimiento en inversión	Percepción de crecimiento económico
Muy conservador	Joven o adulto o adulto mayor	Baja	Corto o mediano o largo	Básico	Negativa o positiva
	Joven o adulto o adulto mayor	Baja	Corto o mediano o largo	Intermedio	Negativa
Conservador	Joven o adulto o adulto mayor	Media	Corto o mediano o largo	Básico	Negativa
	Joven o adulto o adulto mayor	Media	Corto o mediano o largo	Intermedio	Negativa o positiva
Moderado	Joven o adulto o adulto mayor	Baja	Corto o mediano o largo	Avanzado	Negativa o positiva
	Joven o adulto o adulto mayor	Alta	Corto o mediano o largo	Básico	Negativa o positiva
	Joven o adulto	Media	Corto o mediano o largo	Avanzado	Positiva
Arriesgado	Joven o adulto	Alta	Corto o mediano o largo	Intermedio	Positiva
Muy arriesgado	Joven o adulto	Alta	Mediano o largo	Avanzado	Negativa o positiva

Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, la Tabla 3 permite identificar: edad, “Joven”; tolerancia a pérdida, “Baja”; plazo, “Corto”; conocimiento en inversión, “Básico”; percepción de crecimiento económico, “Negativa”, entonces, perfil “Muy Conservador”. Sin embargo, otras combinaciones permiten clasificar al inversionista como “Muy Conservador”, por lo que se pueden simplificar a través del conector lógico “o”, de la siguiente manera: si edad “Joven o Adulto”, tolerancia a pérdida “Baja”, plazo “Corto”, conocimiento en inversión “Básico”, percepción de crecimiento económico “Negativa”, entonces, perfil “Muy Conservador”.

4.3 Defusificación

La inferencia difusa evalúa las variables de entrada en el marco de las reglas difusas, cuyos valores de pertenencia se computan simultáneamente para obtener conjuntos de salida difusos, a partir de los cuales se realiza una agregación, generando un nuevo conjunto de salida difuso caracterizado por un grado de pertenencia sobre la variable de salida (perfil de riesgo). Finalmente, el paso de un conjunto difuso de salida al cálculo de un valor numérico real se conoce como defusificación y se calcula como el valor esperado de la variable de salida, dentro de dicho conjunto difuso. Simplemente este es el valor más representativo del perfil de riesgo en este modelo.

Para efectos de este estudio se utilizó el método de defusificación centroide, según el cual el sistema determina el valor esperado de la variable de salida como un promedio ponderado del valor x en el conjunto difuso, que resulta en el centro del área formada por el conjunto difuso [34]. Este es el método más utilizado debido a que es más robusto a cambios de las observaciones [16]. Finalmente, el sistema está listo para arrojar resultados del perfil de riesgo de un inversionista, teniendo en cuenta las variables mencionadas y sus clasificaciones detalladas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para probar el sistema de inferencia se aplicó a tres clientes (potenciales inversionistas), seleccionados de forma no probabilística. A continuación se mencionan los resultados de la aplicación del sistema en cada cliente y sus implicaciones.

Ciente 1

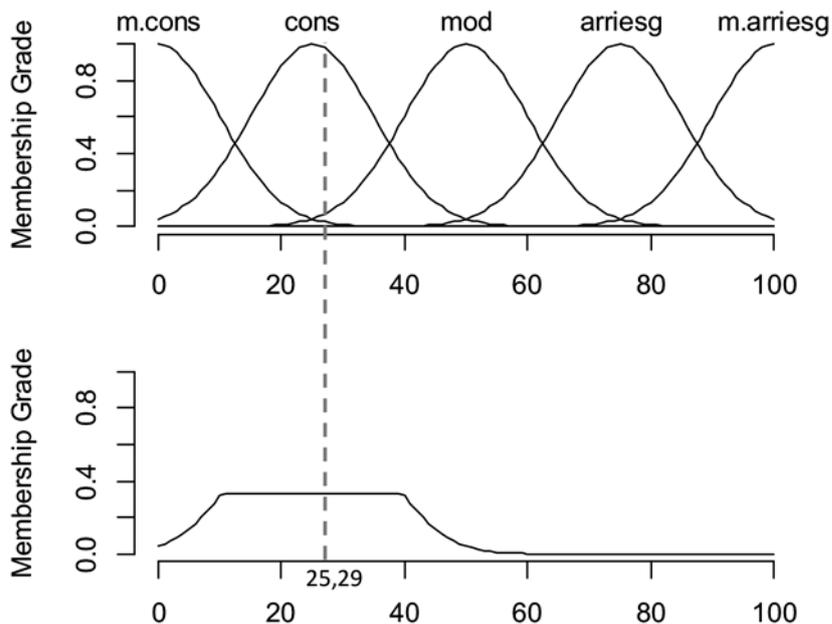
Mujer de 32 años que desea invertir su dinero con el objetivo de estudiar un doctorado en tres años (36 meses). A continuación, se comparan los resultados, teniendo en cuenta la encuesta tradicional explicada en la Tabla 1 y el sistema de inferencia difuso desarrollado.

Según la encuesta tradicional, este cliente se clasifica en un perfil moderado, mientras que la defusificación arroja un valor numérico de 25,29 (centroide), por lo que el sistema de inferencia difuso establece una mayor tendencia del cliente al perfil conservador. El conjunto difuso del cuadrante inferior muestra que el cliente presenta un grado de pertenencia de 0,35 al perfil conservador, lo que también ocurre, pero parcialmente, en el perfil moderado. Por lo tanto, este cliente, a pesar de tener cierta pertenencia al perfil moderado, prefiere que en su portafolio de inversión se incluya con menos riesgo.

Tabla 4. Resultados comparativos entre encuesta tradicional y el sistema de inferencia difuso

Encuesta tradicional		Sistema de inferencia difuso	
Pregunta	Resultado	Pregunta para variable Entrada	Resultado
Edad actual	3	Edad	32
¿Estaría dispuesto a aceptar temporalmente una pérdida nominal acumulada por alcanzar su rentabilidad esperada?	2	Si usted contara con \$100 para invertir en este momento, ¿cuánto estaría dispuesto a arriesgar con el fin de alcanzar su ganancia objetivo, teniendo en cuenta que esa cantidad puede perderse?	30
Horizonte de tiempo para su inversión	2	Plazo	36
¿Cómo clasifica su experiencia en inversiones?	2	En una escala de 0 a 100, ¿cuánto conocimiento considera que tiene en inversiones?	50
Suponiendo que su inversión de desvalorizara en un 50%, ¿qué haría?	1	¿Su percepción actual sobre la economía es negativa o positiva? De 0 a 50, califique qué tan positiva o negativa es esta percepción.	30
Σ Total de los resultados encuesta tradicional	10	Resultado sistema de inferencia difuso	25,29
Perfil de riesgo	Moderado	Perfil de riesgo	Pertenece al conjunto "Conservador" y parcialmente al conjunto "Moderado"

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 9.** Resultados para cliente 1 con sistema de inferencia difuso

Fuente: Elaboración propia.

Al establecer de manera inequívoca que es cliente de perfil moderado, la encuesta tradicional llevaría a un asesor a sugerir un portafolio moderado estándar sin contemplar la tendencia conservadora del cliente y, en consecuencia, asumiendo más riesgo que el que el que desea asumir el cliente.

Cliente 2

Hombre de 57 años que busca mejorar su pensión a futuro. Su objetivo es invertir su dinero a seis años. A continuación, se realiza comparativo de resultados.

Tabla 5. Resultados comparativos entre encuesta tradicional y el sistema de inferencia difuso

Encuesta tradicional		Sistema de inferencia difuso	
Pregunta	Resultado	Pregunta para variable Entrada	Resultado
Edad actual	1	Edad	57
¿Estaría dispuesto a aceptar temporalmente una pérdida nominal acumulada por alcanzar su rentabilidad esperada?	1	Si usted contara con \$100 para invertir en este momento, ¿cuánto estaría dispuesto a arriesgar con el fin de alcanzar su ganancia objetivo, teniendo en cuenta que esa cantidad puede perderse?	0
Horizonte de tiempo para su inversión	3	Plazo	72
¿Cómo clasifica su experiencia en inversiones?	1	En una escala de 0 a 100, ¿cuánto conocimiento considera que tiene en inversiones?	0
Suponiendo que su inversión de desvalorizara en un 50%, ¿qué haría?	1	¿Su percepción actual sobre la economía es negativa o positiva? De 0 a 50 califique qué tan positiva o negativa es esta percepción.	60
∑ Total de los resultados Encuesta tradicional	7	Resultado sistema de inferencia difuso	7,67
Perfil de riesgo	Conservador	Perfil de riesgo	Pertenece al conjunto "Muy conservador" y parcialmente al conjunto "Conservador".

Fuente: Elaboración del autor.

Según la encuesta tradicional, este cliente está clasificado como conservador. Sin embargo, algunos portafolios conservadores en el sistema financiero tienen una pequeña composición de riesgo que podría desvalorizar el portafolio más de lo que admitiría un cliente de estas características. Como se evidencia en la Figura 10, el sistema de inferencia difuso muestra que este cliente tiene una alta pertenencia al conjunto muy conservador; por lo tanto, no toleraría una posible desvalorización en su portafolio.

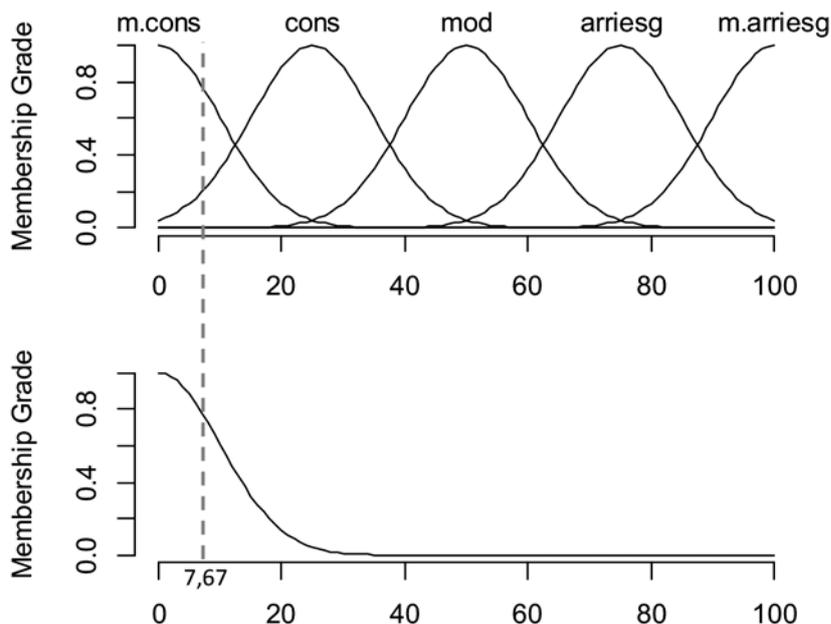


Figura 10. Resultados para cliente 2 con sistema de inferencia difuso

Fuente: Elaboración propia.

En este cliente existe una alta pertenencia (0,8) al conjunto muy conservador y una menor pertenencia al conjunto conservador. En tal sentido, debe sugerirse al cliente inversiones en depósitos a la vista, como Certificados de Depósito a Término (CDT), cuyo riesgo de desvalorización es mínimo.

Cliente 3

Hombre de 24 años, recién graduado, que ahorra para su postgrado y tiene un plazo de aproximadamente 50 meses para su objetivo de inversión.

Este cliente corresponde a un perfil arriesgado, según la encuesta tradicional, lo cual se corrobora el análisis del sistema de inferencia difuso. Se trata de un cliente que puede tolerar bastante riesgo. Según sus características, es capaz de evaluar bajo su propio criterio, pues cuenta con amplio conocimiento en inversiones. La Figura 11 refleja el hecho de que este cliente es uno de los más arriesgados, por lo que estaría dispuesto a asumir mayores riesgos que un individuo arriesgado promedio.

Tabla 6. Resultados comparativos entre encuesta tradicional y sistema de inferencia difuso

Encuesta tradicional		Sistema de inferencia difuso	
Pregunta	Resultado	Pregunta para variable Entrada	Resultado
Edad actual	3	Edad	24
¿Estaría dispuesto a aceptar temporalmente una pérdida nominal acumulada por alcanzar su rentabilidad esperada?	3	Si usted contara con \$100 para invertir en este momento, ¿cuánto estaría dispuesto a arriesgar con el fin de alcanzar su ganancia objetivo, teniendo en cuenta que esa cantidad puede perderse?	80
Horizonte de tiempo para su inversión	2	Plazo	50
¿Cómo clasifica su experiencia en inversiones?	3	En una escala de 0 a 100, ¿cuánto conocimiento considera que tiene en inversiones?	90
Suponiendo que su inversión de desvalorizara en un 50%, ¿qué haría?	3	¿Su percepción actual sobre la economía es negativa o positiva? De 0 a 50, califique qué tan positiva o negativa es esta percepción.	40
Σ Total de los resultados Encuesta tradicional	14	Resultado sistema de inferencia difuso	89,78
Perfil de riesgo	Arriesgado	Perfil de riesgo	Pertenece parcialmente al conjunto "Arriesgado y Muy arriesgado"

Fuente: Elaboración propia.

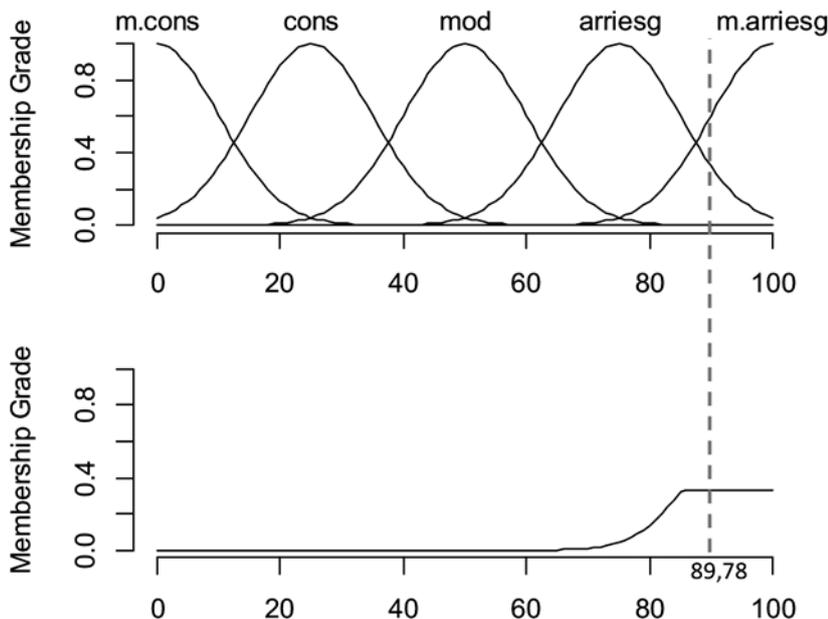


Figura 11. Resultados para cliente 3 con sistema de inferencia difuso

Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

Este documento describe la forma como actualmente se suelen determinar los perfiles de riesgo, para lo cual propone un enfoque alternativo que reconozca las particularidades de los inversionistas. Los resultados de esta investigación son ilustrativos en cuanto a las implicaciones de adoptar criterios reduccionistas en la identificación del perfil de riesgo de los inversionistas. Los criterios excesivamente simplificadores pueden llevar a asesorías equivocadas y a la toma de decisiones que no contemplan las verdaderas preferencias de los agentes.

La heterogeneidad de los individuos y la complejidad del sistema financiero requieren una permanente innovación en los procesos de clasificación de los clientes, que permita la optimización de sus portafolios. No obstante, esto no se debe limitar a modelos basados en lógica matemática tradicional, sino al reconocimiento de cualidades subjetivas y con alto grado de imprecisión, lo que requiere una mirada humana y experta. La aplicación de un sistema de inferencia difuso para determinar el perfil de riesgo de inversionistas es un mecanismo válido, mediante el cual se puede obtener más información sobre los potenciales inversionistas, ayudando a las entidades financieras, a los asesores de inversión, a los investigadores y analistas de portafolios a tomar decisiones mucho más acertadas al momento de diseñar soluciones de inversión para sus clientes. Además, cuenta con mayor amplitud en la clasificación y generación de información adicional sobre la tendencia del apetito de riesgo de los inversionistas.

El sistema de inferencia difuso es una alternativa que busca complementar los métodos actuales y los expertos desempeñan un papel importante en su desarrollo, pues su conocimiento permite determinar los parámetros del sistema, que tiene la bondad de admitir un alto número de variables de entrada, en el que se combinan aspectos externos e internos al individuo, como la “percepción de crecimiento económico”, lo que incorpora un aspecto dinámico en las preferencias. Adicionalmente, es posible incorporar otras valoraciones como “Perfil de riesgo muy conservador” o “Muy arriesgado”, con el fin de ampliar la categorización de los clientes inversionistas y que las entidades financieras puedan ajustar o diseñar nuevas soluciones de inversión para ellos.

Finalmente, cuanto más expertos enriquezcan este sistema y más información sobre los determinantes del perfil inversionista se obtenga, la precisión de los resultados será mayor. En este sentido, existe una potencial agenda de investigación que amplíe los resultados expuestos. Por ejemplo, es valioso el estudio del sistema propuesto mediante la incorporación de nuevas variables, la validación experimental y la ampliación en el número y tipo de expertos.

7. REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Hacienda y Crédito Público, *Decreto 661 del 17 de abril de 2018*. Bogotá, Colombia, 2018.

- [2] M. O. Rieger, "Why do investors buy bad financial products? Probability misestimation and preferences in financial investment decision", *J. Behav. Financ.*, vol. 13, no. 2, pp. 108–118, 2012, doi: 10.1080/15427560.2012.680991.
- [3] J. V. Sánchez, "El comportamiento del precio de las acciones t recesión económica. EEUU y México", *Rev. Latinoam. Econ.*, vol. 41, no. 160, pp. 84-107, 2010.
- [4] M. Sánchez, M. D. Oliver, and C. Sanchís, "Fuzzy logic and its uses in finance: A systematic review exploring its potential to deal with banking crises", *Mathematics*, vol. 7, no. 1091, pp. 1-22, 2019, doi: 10.3390/math7111091.
- [5] Autorregulador del mercado de valores de Colombia, "ABC del inversionista", *Educacion financiera para todos*, no. 1. p. 24, 2014.
- [6] A. Tversky and D. Kahneman, "Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty", *J. Risk Uncertain.*, vol. 5, pp. 297-323, 1992, doi: 10.1007/BF00122574.
- [7] N. Nicholson, E. Soane, M. Fenton-O'Creevy, and P. Willman, "Personality and domain-specific risk taking", *J. Risk Res.*, vol. 8, no. 2, pp. 157-176, 2005, doi: 10.1080/1366987032000123856.
- [8] S. D. Gosling, P. J. Rentfrow, and W. B. Swann, "A very brief measure of the Big-Five personality domains", *J. Res. Pers.*, vol. 37, no. 6, pp. 504-528, 2003, doi: 10.1016/S0092-6566(03)00046-1.
- [9] D. De Bortoli, N. Da Costa, M. Goulart, and J. Campara, "Personality traits and investor profile analysis: A behavioral finance study", *PLoS One*, vol. 13, no. 3, pp. 1-18, 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0214062.
- [10] Fiduciaria Central, "Perfil de riesgo para inversionistas". 2016.
- [11] BTG Pactual, "Cuestionario perfil de riesgo del cliente". 2020.
- [12] Skandia, "Encuesta Perfil de Inversión del Contrato Fondo de Pensiones Voluntarias Skandia Multifund". 2019.
- [13] E. Turunen, "Connecting a tenable mathematical theory to models of fuzzy phenomena" in *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 243rd ed., Berlin: Springer, 2009.
- [14] J. A. Goguen, "The logic of inexact concepts", *Synthese*, vol. 19, no. 3-4, pp. 325-373, 1969, doi: 10.1007/BF00485654.
- [15] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part II", *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 20, no. 2, pp. 419-435, 1990, doi: 10.1109/21.52552.
- [16] A. Reveiz and C. León, "Operational Risk Management using a Fuzzy Logic Inference System", *Borradores Econ.*, no. 574, pp. 1-30, 2009.
- [17] H. Dourra and P. Siy, "Investment using technical analysis and fuzzy logic", *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 127, no. 2, pp. 221-240, 2002, doi: 10.1016/S0165-0114(01)00169-5.
- [18] A. Escobar, J. Moreno, and S. Múnera, "A technical analysis indicator based on fuzzy logic", *Electron. Notes Theor. Comput. Sci.*, 2013, doi: 10.1016/j.entcs.2013.02.003.
- [19] O. Ece and A. S. Uludag, "Applicability of Fuzzy TOPSIS Method in Optimal Portfolio Selection and an Application in BIST", *Int. J. Econ. Financ.*, vol. 9, no. 10, p. 107, 2017, doi: 10.5539/ijef.v9n10p107.

- [20] M. G. Yunusoglu and H. Selim, "A fuzzy rule based expert system for stock evaluation and portfolio construction: An application to Istanbul Stock Exchange", *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, pp. 908-920, 2013, doi: 10.1016/j.eswa.2012.05.047.
- [21] S. Medina and O. O. Manco, "Diseño de un sistema experto difuso: evaluación de riesgo crediticio en firmas comisionistas de bolsa para el otorgamiento de recursos financieros", *Estud. Gerenciales*, vol. 23, no. 104, pp. 101-129, 2007, doi: 10.1016/s0123-5923(07)70019-0.
- [22] S. Medina and G. Paniagua, "Modelo de inferencia difuso para estudio de crédito", *DYNA*, vol. 75, no. 154, pp. 215-229, 2008.
- [23] M. Enciso, A. Andrés, and J. Campo, "Sistema de inferencia difuso para la inflación en Colombia", *Ensayos Sobre Polit. Econ.*, vol. 31, no. 71, pp. 73-84, 2013, doi: 10.1016/S0120-4483(13)70012-5.
- [24] L. Santana, "Una aplicación de la lógica difusa a la evaluación del balance de riesgos de la inflación y del crecimiento macroeconómico", *Cienc. Soc.*, vol. 38, no. 3, pp. 497-514, 2013.
- [25] A. Arango, J. Velásquez, and C. Franco, "Técnicas de lógica difusa en la predicción de índices de mercados de valores: una revisión de literatura", *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 12, no. 22, pp. 117-126, 2013, doi: 10.22395/rium.v12n22a10.
- [26] J. F. Díaz, E. Coba, and P. Navarrete, "Lógica difusa y el riesgo financiero. Una propuesta de clasificación de riesgo financiero al sector cooperativo", *Contaduría y Adm.*, vol. 62, pp. 1670-1686, 2017, doi: 10.1016/j.cya.2017.09.001.
- [27] M. D. Rojas, E. Zuluaga, and M. E. Valencia, "Sistema de inferencia difuso para la valoración de empresas", *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 13, no. 24, pp. 89-108, 2014, doi: 10.22395/rium.v13n24a6.
- [28] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965, doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [29] E. H. Mamdani, "Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis", *IEEE Trans. Comput.*, vol. 26, no. 12, pp. 1182-1191, 1977, doi: 10.1109/TC.1977.1674779.
- [30] A. M. Barbosa, "FuzzySim: applying fuzzy logic to binary similarity indices in ecology", *Methods Ecol. Evol.*, no. 6, pp. 853-858, 2015.
- [31] CEPAL, "La nueva era demográfica en América Latina y el Caribe. La hora de la igualdad según el reloj poblacional", in *Primera Reunión de la Mesa Directiva de la Conferencia Regional sobre Población y Desarrollo de América Latina y el Caribe*, 2014.
- [32] BBVA, "Corto, mediano y largo plazo: ¿cuál me conviene?", 2020. [Online]. Available: <https://www.bbva.mx/educacion-financiera/ahorro/corto-mediano-y-largo-plazo-cual-me-conviene.html>.
- [33] G. Bojadziev and M. Bojadziev, "Fuzzy Logic Control for Business, Finance, and Management", in *Advances in Fuzzy Systems: Applications and Theory*, Second., World Scientific, 2007.
- [34] J. Grajales, D. López, J. Muñoz, and R. Maldonado, "Control en cascada por métodos difusos", *Rev. EIA*, no. 8, pp. 181-193, 2007, doi: 10.24050/reia.v4i8.193.

ANEXOS

Anexo 1. Perfil de los expertos

La definición de algunas variables lingüísticas en este sistema de inferencia difuso se logró mediante las opiniones de diez expertos, cuyos nombres no se mencionan, acatando la Ley 1581 de 2012 de protección de datos personales.

#	Perfil
Experto #1	Profesional en finanzas y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. Cinco años de experiencia en asesoría financiera e inversión.
Experto #2	Profesional en economía, especialista en Estadística de la Universidad Nacional de Colombia y Magíster en Ciencias Económicas. Quince años de experiencia en investigación y estudios financieros.
Experto #3	Profesional en economía y Magíster en Economía de la Universidad de los Andes. Siete años de experiencia en estudios financieros.
Experto #4	Profesional en economía, especialista en Estadística. Diez años de experiencia en análisis de mercado financiero y bancario.
Experto #5	Profesional en economía y Magíster en Economía de la Universidad Javeriana. Ocho años de experiencia en estudios financieros
Experto #6	Profesional en administración de empresas y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. Quince años de experiencia como administrador de portafolios de inversión.
Experto #7	Ingeniero industrial y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. 20 años de experiencia como administrador de portafolios de inversión en el sistema financiero.
Experto #8	Contador público y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. ocho años de experiencia como administrador de portafolios de inversión en el sector financiero.
Experto #9	Administrador de empresas y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. Diez años de experiencia administrando portafolios de inversión.
Experto #10	Ingeniero financiero y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. Cinco años de experiencia en el área financiera y empresarial, asesorando portafolios de inversión.

Anexo 2. Preguntas para los parámetros de las variables “Tolerancia a las pérdidas”, “Conocimiento en inversión” y “Percepción de crecimiento económico”.

1. Según su experiencia, si tuviera que darle valoraciones de “Baja”, “Media” y “Alta” a la tolerancia a pérdidas de los inversionistas, en una escala de 0 a 100 ¿cómo la ordenaría? ¿cuál sería para usted el número que mejor representa estas tres valoraciones en esta escala?
2. Según su experiencia, si tuviera que darle valoraciones al conocimiento que demuestran los inversionistas como: “Básico”, “Intermedio” y “Avanzado” en una escala de 0 a 100 ¿cómo la ordenaría? ¿cuál sería para usted el rango lógico que mejor representaría estas tres valoraciones en esta escala?
3. ¿Considera que la tolerancia a las pérdidas de los inversionistas influye directamente en el perfil de riesgo?

4. ¿Considera que el conocimiento en inversiones influye directamente en el resultado del perfil de inversión?
5. ¿Cree usted que en un ambiente de inversión positiva para el país el inversionista puede ser más arriesgado?

Mediante estas preguntas se obtuvieron los siguientes resultados:

Preguntas	Experto										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	
2	Básico	0-40	0-30	0-20	0-30	0-33	0-30	0-40	0-40	0-33	0-40
	Intermedio	40-60	30-60	20-60	30-70	33-66	30-70	40-70	40-60	33-66	40-60
	Avanzado	60-100	60-100	60-100	70-100	66-100	70-100	70-100	60-100	66-100	60-100
3	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
4	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
5	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	

Fuente: Elaboración propia.

CÓDIGO DE ÉTICA – REVISTA INGENIARE

INGENIARE es una revista de divulgación científica para todas las áreas de la ingeniería, la cual se publica con periodicidad semestral. Todos los trabajos son sometidos a un proceso de revisión doble ciega, sin excepción. Todos los autores que deseen publicar en la Revista INGENIARE deberán expresar por escrito el carácter original e inédito del manuscrito presentado, además de manifestar explícitamente el acogerse a las políticas de ética de la revista, considerando y evitando los siguientes casos:

1. Publicaciones redundantes
2. Plagio
3. Datos alterados o falsos
4. Conflicto de intereses

I. PUBLICACIONES REDUNDANTES

En la carta de presentación de cada trabajo sometido a evaluación, los autores deben declarar explícitamente que éste no ha sido publicado total o parcialmente en otra revista científica. En caso de que se trate de la ampliación de un artículo ya publicado, debe declararse en el trabajo presentado.

Los trabajos presentados a la revista INGENIARE, puede detectarse la redundancia en estado de manuscrito, por alguno de los pares evaluadores, o en estado de artículo publicado, por parte de algún lector de la revista. En cualquier caso, ante el señalamiento de redundancia, el Comité Editorial procederá a realizar la respectiva investigación. En caso de encontrar que, en efecto, existe redundancia, se procederá a contactar a los autores, quienes deberán presentar por escrito una justificación del alcance de la redundancia, de la admisión de la culpa o del rechazo de la redundancia encontrada. El Comité Editorial estudiará el descargo presentado por el(los) autor(es).

- a. Si se trata de un artículo en revisión: De ser satisfactoria la explicación presentada, se procederá a rechazar el manuscrito y se notificará al(os) autor(es).
- b. Si se trata de un artículo publicado: De ser satisfactoria la explicación presentada, se notificará al(os) autor(es) y se les solicitará una carta donde se retracten, para ser publicada en la revista.

En cualquier caso donde el(los) autores no respondan a los requerimientos del Editor o el Comité Editorial, se contactará a la entidad donde los autores registran filiación sobre el caso, para notificar el caso y solicitar información de contacto de cada uno de los autores.

II. PLAGIO

Todo manuscrito presentado a consideración para publicación en la Revista INGENIARE debe referenciar adecuadamente todas las fuentes bibliográficas utilizadas, incluyendo lo referente a gráficas, tablas, ilustraciones o cualquier otro aparte, señalando con claridad la fuente cuando se trate de terceros,

de acuerdo a los lineamientos del documento “IEEE Citation Reference” vigente (Consultar los lineamientos para los autores). Al presentar el escrito a la Revista, los autores deberán garantizar por escrito que el texto fue sometido a su adecuada revisión para evitar plagio.

Todos los trabajos recibidos por el Comité Editorial son sometidos a una revisión de coincidencias con respecto a otros trabajos. Si no se detecta plagio, al trabajo se le asignan pares evaluadores de acuerdo a su temática, para continuar con el proceso de evaluación. Si se detecta plagio en un manuscrito, se procederá de la siguiente forma:

- a. Plagio evidente [p. ej. presentación de una larga porción de texto o datos sin atribución explícita a la(s) fuente(s) originales, presentándolo como propios]: El editor contactará al autor, notificándole el rechazo del artículo junto con la evidencia de plagio. El Comité Editorial evaluará la posibilidad de notificar el caso a la entidad a la cual el(los) autores reportan filiación así como al(los) autor(es) del texto objeto de plagio.
- b. Plagio menor [p.ej. fragmentos pequeños de texto o frases donde aparece(n) la(s) referencia(s) mal citada(s)]. El Editor contactará al(los) autor(es), solicitándole las correcciones respectivas. Una vez se reciban, si las correcciones son satisfactorias, se continuará con el proceso editorial. De lo contrario, se procederá a rechazar el artículo definitivamente y se le notificará de la decisión al(los) autor(es) del manuscrito.

En caso de que el plagio se detecte posterior a la publicación del artículo, el Comité Editorial estudiará las acciones a tomar de acuerdo a lo señalado por el COPE, lo cual incluye, pero no está limitado a:

- Publicación de una retracción por parte de los autores.
- Informar a los autores del texto original sobre el plagio acontecido y las acciones a ejecutar.
- Informar a la institución a la cual está(n) afiliado(s) el(los) autor(es) sobre el caso de plagio acontecido.

III. DATOS FALSOS

Todo artículo presentado a consideración para publicación en la Revista INGENIARE deberá partir de datos reales e información veraz, obtenidos por el(los) propio(s) autor(es) y señalando cuándo se parte de datos suministrados por fuentes secundarias o terciarias, en cuyo caso deberá mencionarse la fuente de manera explícita. Así mismo, deberá dársele a los datos un tratamiento objetivo y científico, sin someterlos a ningún tipo de procedimiento que los altere o sesgue para mostrar resultados favorables a la investigación cuando, en realidad, éstos muestren resultados parcial o totalmente desviados del objetivo de la investigación presentada. En caso de que los pares evaluadores de un manuscrito o los lectores del artículo ya publicado sospechen que un trabajo se basó en datos falsos o adulterados, deberán notificar el caso al editor de la revista INGENIARE, en cuyo caso se procederá a investigar bajo los criterios que plantea el COPE.

IV. CONFLICTO DE INTERESES

Todo manuscrito presentado a la revista INGENIARE para su revisión deberá adjuntar una declaración firmada por todos los autores donde se declara que tanto la investigación como el artículo a publicar no presenta conflicto de intereses [por ej. Con la institución que financia el estudio o la institución a la cual están afiliados los autores]. En caso de detectarse conflicto de intereses por parte de los revisores del artículo, en el estado de manuscrito, o de denunciarse por parte de algún lector, en el evento en que el artículo sea publicado, el Comité Editorial de la revista procederá de acuerdo a los lineamientos señalados por el COPE.

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

Ingeniare es una revista creada para la divulgación de los resultados de la investigación realizada en las distintas áreas de la ingeniería y ciencias afines, emitida con una periodicidad semestral. La Revista se ocupa de la publicación de artículos científicos producto de la investigación, sea esta básica o aplicada, siempre que procuren el desarrollo científico en los campos del saber relacionados con la Ingeniería.

De esta forma, Ingeniare pretende contribuir con la difusión e intercambio del conocimiento en los escenarios nacionales e internacionales, abriendo un espacio para la visibilidad de la producción científica, buscando también su consolidación como una fuente reconocida de consulta dentro de la comunidad académica y científica.

La Revista Ingeniare es editada por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre, Seccional Barranquilla. Actualmente, se encuentra indexada en la categoría C ante Publindex-Colciencias.

I. TIPOS DE ARTÍCULOS

Con el fin de cumplir con los criterios de calidad científica requeridos por el Comité Editorial de la Revista Ingeniare, los artículos presentados deben cumplir con la siguiente tipología:

- Artículo de investigación e innovación. Documento que presenta la producción original e inédita, publicada en una revista de contenido científico, tecnológico o académico, resultado de procesos de investigación, reflexión o revisión, que haya sido objeto de evaluación por pares. Los artículos de investigación e innovación abarcan la siguiente subclasificación:
- Artículos de Investigación científica y tecnológica: Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
- Artículos de reflexión: Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

- Artículo de revisión: Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de 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 por lo menos 50 referencias.
- Artículo corto: Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.

II. ESPECIFICACIONES

Los artículos que aspiran a la publicación en esta Revista deben remitirse vía E-mail, al correo electrónico a los correos electrónicos revistaingeniare@unilibrebaq.edu.co ó rdelahoz@unilibrebaq.edu.co, junto con una carta de presentación del autor o autores firmada y dirigida al Comité Editorial de la Revista, indicando el título completo de trabajo y tipo de artículo, nombre del proyecto en que trabaja (si es investigador) y nombre del grupo de investigación al que pertenece. La carta debe certificar la originalidad y el carácter inédito del artículo al tiempo que su exclusividad para la Revista Ingeniare.

III. PROCEDIMIENTO DE ENTREGA Y PUBLICACIÓN DE ARTICULOS

1. RECEPCIÓN:

El artículo se debe entregar, en formato impreso (original y dos copias) y en medio magnético, en archivo Word para Windows, igual para los cuadros y los gráficos en Excel, al Editor de la Revista, quien realiza una evaluación preliminar con el Comité Editorial.

2. EVALUACIÓN:

El Editor de la Revista enviará los diferentes artículos a pares evaluadores para que emitan un concepto profesional de la calidad del documento, así: Artículo publicable, artículo publicable con ajustes por parte del autor, artículo rechazado. El comité Editorial tendrá en cuenta estos conceptos para su publicación. De todas maneras, se comunicará a los autores sobre la decisión tomada.

3. CORRECCIÓN:

Si el artículo es publicable con correcciones, el autor será notificado de las correcciones anotadas por los pares y deberá entregar nuevamente el artículo con las correcciones señaladas, dentro del período de tiempo estipulado por el Editor de la Revista.

4. PUBLICACIÓN:

Una vez el artículo se recibe y se corrobora la realización de las correcciones o se trata de un artículo publicable sin correcciones, es enviado a prensa para su impresión. Al autor se le notifica la aceptación final del artículo con los datos de la publicación.

IV. REDACCIÓN:

Los artículos deben cumplir con lo expuesto a continuación:

- Debe escribirse en papel tamaño carta (21,6 x 27,9 cm), a espacio y medio, incluyendo resumen, tablas, diagramas, figuras y referencias, etc. El artículo debe estar dentro de un margen de 2,5 cm en todos los lados.
- Los artículos deben redactarse con un alto nivel de corrección sintáctica, sin errores ortográficos ni de puntuación y que evidencien una precisión y claridad en las ideas.
- Cada una de las tablas que aparezca en el documento en Word deben estarelaboradas en Hoja de Cálculo, preferiblemente Excel.
- Las fotografías que apliquen para ser vinculadas al documento deben estar adjuntas en una carpeta digital independiente llamada imágenes en formato JPG.

V. ESTRUCTURA

Los artículos presentados a la Revista Ingeniare deben llevar la siguiente estructura:

- Título: letra Arial 14, centrado y en mayúscula sostenida. Deberá referenciar a pie de página, título de la investigación, grupo y línea de investigación y nombre del investigador principal. El título debe ser presentado en español e inglés.
- Nombre completo del autor (es): letra Arial 12 y en pie de página en Arial 10 especificar sus títulos académicos, filiación institucional, dirección de correspondencia y email. También se puede incluir el grupo y línea de investigación al que pertenece, si se trata de un artículo de investigación.
- Resumen: letra Arial 12; debe contener entre 100 y 150 palabras, redactado en tercera persona y en tiempo pasado. Evite las citas textuales, las abreviaturas y las referencias bibliográficas.
- Abstract: el mismo contenido del resumen, escrito en idioma inglés.
- Palabras claves: letra Arial 12, entre 5 a 10 palabras que representen el contenido del documento.
- Keywords: son las mismas palabras escritas en el idioma inglés.
- Desarrollo del documento: 1. Introducción, 2.Revisión de la literatura, 3.Metodología, 4. Resultados y discusión, 5. Conclusiones y 6. Referencias. Debe emplearse como fuente Arial e interlineado 1,0 para todo el documento. Cada sección debe titularse usando números arábigos (1.2.3....), empleando negrita y mayúscula sostenida.
- Tablas, Diagramas y Figuras: deben estar en Arial 8, negrita y especificar la fuente o aclarar si fue elaborada por los autores del documento, al pie de la misma. (p.ej. "Tabla 1. Nombre de la tabla. Fuente: Elaboración de los autores").

- Referencias Bibliográficas: Corresponden a los textos referenciados en el artículo y deben aparecer al final del mismo. Cada referencia debe indicarse en números arábigos encerrados entre corchetes [] y en orden de aparición en el texto. Seguir el formato de norma IEEE. (Ver sección VII).

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Para las referencias bibliográficas se empleará el estilo definido por la IEEE, el cual emplea la asignación de un número arábigo consecutivo, encerrado entre corchetes, de acuerdo al orden de aparición dentro del documento. Este número debe corresponder a la fuente colocada en el listado final de referencias bibliográficas, organizando la información según su naturaleza así:

- Libros

[Número asignado] Iniciales del nombre del autor. Apellido(s). Nombre del libro en cursiva, no. edición, Ciudad de publicación, País: Editorial, año, capítulo (opcional), sección (opcional), páginas consultadas. Ejemplo: [1] S.N. Neftci, *Ingeniería financiera*. Ciudad de México, México: McGraw – Hill, 2008, pp.430-550.

- Capítulo de libro con editor principal

[Número asignado] Iniciales del nombre del autor. Apellido(s). “Nombre del capítulo del libro entre comillas,” en Nombre del libro en cursiva, no. edición, Ciudad de publicación, País: Editorial, año, capítulo (opcional), sección (opcional), páginas consultadas. Ejemplo: [2] F. Castrillón y R. Carvajal, “Materiales y diseño,” en *Introducción a la Ingeniería Sanitaria*, Z. Domínguez, Comp., Madrid: La muralla, 2007, pp. 99 – 114.

- Referencia de publicación seriada

[Número asignado] Iniciales del nombre del autor. Apellido(s). “Nombre del artículo entre comillas,” en Nombre de la publicación seriada, Vol. x, no. x, páginas consultadas, Abreviatura de la publicación seriada (opcional), mes/período, año. Ejemplo: [3] V. Charria, K. Sarsosa y F. Arenas. “Factores de riesgo psicosocial laboral: métodos e instrumentos de evaluación”, en *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, Vol. 29, n°. 4, pp. 380 – 391, diciembre, 2011.

- Artículo de revista electrónica

[Número asignado] Iniciales del nombre del autor. Apellido(s). (Año, Mes, día). Nombre del artículo. Nombre de la revista en cursiva [Tipo de medio]. No. Vol. (No. ejemplar), páginas consultadas. Disponible en: <http://www.direcciónweb> Ejemplo: [4] J. Areito Bertolín y A. Areito Bertolín. (2009, abr). Test de penetración y gestión de vulnerabilidad, estrategia clave para evaluar la seguridad. *Revista Española de Electrónica* [En línea]. (653), 1. Disponible en: http://www.redeweb.com/_txt/653/abril_2009.pdf

FORMATO DE EVALUACIÓN DE ARTÍCULOS

INSTRUCCIONES

Le agradecemos por su participación como par evaluador de la Revista INGENIARE. A continuación encontrará el formato de evaluación de artículos bajo los criterios definidos por el Comité Editorial, los cuales se dividen en dos categorías:

- **Criterios generales**, buscan evaluar la unidad del artículo en cuanto a su presentación
- **Criterios sobre el aporte**, buscan determinar el aporte del artículo al cuerpo de conocimiento y el grado de innovación presentado en la metodología, resultados y conclusiones.

Estos criterios son evaluados en una escala de 1 a 5, donde **1 es DEFICIENTE y 5 es EXCELENTE**. Después de evaluar estos aspectos, debe emitir su concepto de la siguiente forma:

- **Aceptado:** el artículo puede ser publicado en su estado actual
- **Aceptado con correcciones:** el artículo puede ser publicado, sujeto a la presentación de las correcciones planteadas por usted
- **Rechazado:** El artículo no es publicable debido a aspectos fundamentales de fondo

Al final del artículo puede presentar las observaciones que considere necesarias a los autores para mejorar el escrito. En caso de ser rechazado debe explicar a los autores los motivos.

Su evaluación constituye un aporte fundamental a la calidad de nuestra revista.

¡Gracias!

RICARDO DE LA HOZ L.
Editor
Revista Ingeniare

INGENIARE

NOMBRE DEL EVALUADOR:	
Lugar de Trabajo	
Cedula o Pasaporte	
NOMBRE DEL ARTÍCULO:	

I. CRITERIOS GENERALES DEL ARTÍCULO (Marque con "X")

CRITERIOS	5	4	3	2	1
a) Originalidad					
b) Contenido					
c) Actualidad					
d) Calidad de las referencias consultadas					
e) Redacción y coherencia del texto					
f) Calidad de los datos					
g) Metodología					
h) Resultados obtenidos e implicaciones					

II. CRITERIOS SOBRE EL APOORTE DEL ARTÍCULO (Marque con "X")

CRITERIOS	5	4	3	2	1
a) El estado del arte presentado en el artículo cubre literatura relevante sobre el tema					
b) Las referencias empleadas son pertinentes, de calidad y dan sustento a los argumentos presentados por los autores. Todas o su mayoría pertenecen a publicaciones en revistas científicas.					
c) Presenta aportes relevantes y de calidad al área de conocimiento sobre el cual versa el trabajo					
d) El artículo está acorde a la temática de la Revista Ingeniare					

III. CONCEPTO SOBRE EL ARTÍCULO

Considera que el artículo evaluado debe ser (Marque con "X"):

Aceptado	
Aceptado con correcciones	
Rechazado	

IV. OBSERVACIONES A LOS AUTORES (Explicar de qué manera los autores pueden mejorar el escrito o los motivos por los cuales fue rechazado)



UNIVERSIDAD LIBRE
Facultad de Ingenierías
Seccional Barranquilla

