

2021 | enero - junio  
ISSN (En línea): 2145-4086  
Medellín - Colombia

Nº. 25

# Lámparas

©Universidad Católica Luis Amigó  
Transversal 51A N°. 67B-90  
Medellín, Antioquia, Colombia  
Tel: (574) 448 76 66.  
Fondo Editorial Universidad Católica Luis Amigó  
www.ucatocaluisamigo.edu.co-fondo.editorial@amigo.edu.co

**Lámpsakos**  
N°. 25, enero-junio de 2021

**ISSN (En línea)**  
2145-4086

**Rector**  
Pbro. Carlos Enrique Cardona Quiceno

**Vicerrectora de Investigaciones**  
Isabel Cristina Puerta Lopera

**Director Facultad de Ingeniería y Arquitectura**  
Ramiro Antonio Giraldo Escobar

**Coordinadores de Programas**  
**Ingeniería de Sistemas**  
Ramiro Antonio Giraldo Escobar  
**Ingeniería Civil**  
Daniel Rojas Rodríguez  
**Ingeniería Industrial**  
Lucy Ocampo  
**Arquitectura**  
Amilkar David Álvarez Cuadrado

**Jefe Departamento de Fondo Editorial**  
Carolina Orrego Moscoso

**Diseño y diagramación**  
Arbey David Zuluaga Yarce

**Correctora de estilo**  
Leidy Andrea Ríos Restrepo

**Traductores**  
Julius Plaza, Sergio Pedraza, Luis Arturo Chaparro, Daniel Ortiz y Margarita Osorio.

*Lámpsakos*

## Editor de la revista

Ingrid-Durley Torres Pardo, MSc.

*Universidad Católica Luis Amigó. Medellín, Colombia*

## Comité Científico

Marcelo Becker, Ph.D

*Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil*

José María Yusta-Loyo, Ph.D

*Universidad de Zaragoza (Unizar), España*

Gustavo Alejandro Schweickardt, Ph.D

*Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina*

Bizuayehu Abebe-Worke, Ph.D

*Universidade da Beira, Covilhã, Portugal*

Aldo Pardo-García, Ph.D.

*Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia*

Marta Silvia Tabares-Betancur, Ph.D

*Universidad EAFIT, Medellín, Colombia*

Yuri Ulianov-López, Ph.D

*Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia*

Andrés Felipe Agudelo-Santamaría, Ph.D

*Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

## Comité Editorial

Rubén Ángel Galindo-Aires, Ph.D

*Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España*

Giner Alor-Hernández, Ph.D

*Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México*

Óscar Sapena-Vercher, Ph.D

*Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España*

Amit Chaudhry, Ph.D

*Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh, India*

Luis Fernando Garcés-Giraldo, Ph.D

*Corporación Universitaria Lasallista, Caldas (Ant), Colombia*

Nazly E. Sánchez-Peña, Ph.D

*Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia*

Nourou Khalidou Dia, Ph.D

*Université des Sciences, Technologies et de Médecin, Nouakchott, Mauritania*

Henry Alonso-Colorado, Ph.D

*Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

Julián Alberto Patiño-Murillo, Ph.D(c)

*Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia*

## Comité de Árbitros de la edición

Ms.C. WALTER HUGO ARBOLEDA MAZO

*Corporación Universitaria Adventista, Medellín, Colombia*

Ms.C. EDER ALONSO ACEVEDO MARIN

*Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia*

Ms.C. YOLFARIS NAIDIT FUERTES ARROYO

*Corporación Universitaria Remington, Medellín, Colombia*

Ms.C. GABRIEL JAIME POSADA HERNÁNDEZ

*Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia*

Ph.D. JORGE ELIECE GIRALDOPLAZAS

*Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia*

Ph.D. JAIME ALBERTO GUZMÁN LUNA

*Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia*

Ms.C. LUIS FELIPE LALINDE CASTRILLÓN

*Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia*

Ms.C. MAURICIO LÓPEZ BONILLA

*Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia*

Ms.C. ANDRÉS MAURICIO GRISALES AGUIRRE

*Universidad Católica Luis Amigó, Manizales, Colombia*

Ms.C. CARLOS EDUARDO CASTANG MONTIEL

*Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia*

Ms.C. LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

*Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia*

MS.C. MARIA JULIA NIETO CALLEJAS

*Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia*

Ms.C. FELIPE ARBELÁEZ SALAZAR

*Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia*

Ms.C. CARLOS AUGUSTO PORTILLA CUBILLOS

*Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia*

Ms.C. YENNY ALEJANDRA AGUIRRE

*Institución Universitaria Salazar y Herrera, Medellín, Colombia*

Ms.C. JAIRO ARBOLEDA ZUÑIGA

*Universidad Santiago de Cali / Universidad Pontificia Bolivariana Cali, Colombia*

## Contacto editorial

Universidad Católica Luis Amigó

## Dónde consultar la revista

<http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/index>

## Envío de manuscritos

<http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/user/register>

## Solicitud de canje

Biblioteca Vicente Serer Vicens  
Universidad Católica Luis Amigó  
Medellín, Antioquia, Colombia

## Correo electrónico

[lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)

Universidad Católica Luis Amigó  
Transversal 51A # 67B-90  
Medellín-Colombia  
Teléfono: (604) 4607004

## Lámpsakos - Acceso abierto

Órgano de divulgación de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó.

Hecho en Colombia / Made in Colombia.

Financiación y publicación realizada por la Universidad Católica Luis Amigó. En ningún momento de la edición o difusión se hacen cobros a los autores para sufragar alguna de estas actividades; de tal manera que no recibe aportes económicos de personas naturales ni jurídicas.

Los principios éticos de esta revista se describen en sus políticas editoriales y, además, se adhieren a los procedimientos dictados por el Committee on Publication Ethics (COPE), que podrán ser consultados en [www.publicationethics.org](http://www.publicationethics.org).

© 2021 Universidad Católica Luis Amigó

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/issn.2145-4086>



OPEN ACCESS

Licencia Creative Commons Atribución- No Comercial – Compartir Igual 4.0 Internacional.

La revista y los textos individuales que en esta se divulgan están protegidos por las leyes de copyright y por los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en <http://www.funlam.edu.co/modules/fondoeditorial/>

Derechos de autor. El autor o autores pueden tener derechos adicionales en sus artículos según lo establecido en la cesión por ellos firmada.

Los autores son moral y legalmente responsables del contenido de sus artículos, así como del respeto a los derechos de autor. Por lo tanto, estos no comprometen en ningún sentido a la Universidad Católica Luis Amigó.

La revista *Lámpsakos* es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Fundada en 2009, la revista tiene una periodicidad semestral (se publica en junio y diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación en línea de libre acceso, bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial.

Los temas tratados en la revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigativos, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos, productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la ingeniería.

Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en todas las disciplinas de la Ingeniería.

*Lámpsakos journal* is a publication sponsored by the Faculty of Engineering and Architecture of the Luis Amigó Catholic University, in the city of Medellín, Colombia. It aims to divulge original and unpublished articles as a result of scientific and technological research in the areas of engineering. It is published twice a year (issued in June and December) with national and international coverage. The journal is a free access online magazine, published under standards of scientific rigor and editorial quality.

Topics covered in the journal are addressed to all persons in academic, researching, scientific and professional areas from different educational and productive sectors and firms whose activities are performed on engineering.

The journal publishes papers of scientific, professional and technological in all the disciplines of engineering

*Lámpsakos*

# Índice general

## Presentación

Ingrid-Durley Torres Pardo

## Artículos de investigación

Research papers

<b>Comparative Solutions of Exact and Approximate Methods for Traveling Salesman Problem</b> Soluciones comparativas de métodos exactos y aproximados para el problema de los vendedores ambulantes	<b>1</b>
<b>Propuesta de mejora en los procesos logísticos, particularmente en el despacho de mercancías, de la compañía Boing Global S. de R.L.</b> Proposal for the improvement of logistic processes, especially in the dispatch of goods of the company Boing Global S. de R.L.	<b>13</b>
<b>Análisis numérico del flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ula-1b fuera de diseño</b> Numerical analysis of the over-expanded flow in the experimental conical nozzle ula-1b out of design	<b>25</b>
<b>Producción de acetinas (aditivos para combustibles) a partir de glicerol</b> Production of acetins (fuel additives) from glycerol	<b>38</b>
<b>Remote monitoring of operational parameters for the cane honey production process</b> Monitoreo remoto de los parámetros operacionales para el proceso de producción de miel de caña	<b>59</b>

# Presentación

**Ingrid Durley Torres Pardo**

**Estilo de citación de artículo:**

"I. D. Torres Pardo, "Presentación", *Lámpsakos*, no. 25, pp. VI-VII, enero-junio, 2021. DOI: 10.21501/21454086.4229

Con la edición No. 25, Lámpsakos migra al modelo de publicación continua, sin afectar la calidad de los artículos, ni la rigurosidad de los procesos. El modelo tiene como ventaja: la inmediatez en la publicación, por lo que se acortarán los tiempos de publicación y los autores no tendrán que esperar a que la revista complete la edición, por el contrario, una vez un artículo finalice su proceso editorial, si su dictamen es favorable, inmediatamente será publicado en el Open Journal System de la revista y difundido en diferentes medios, lo cual contribuirá a que el texto tenga más probabilidades de ser consultado por nuestros lectores y en consecuencia tendrá mayor oportunidad de ser citado.

La nueva edición de Lámpsakos está conformada por cinco manuscritos, cuatro de ellos orientados a la investigación, y uno de revisión teórica. Entre los primeros, los lectores encontrarán:

"Comparative Solutions of Exact and Approximate Methods for Traveling Salesman Problem" [1], el cual expone el problema del agente viajero, revisado desde dos principales métodos de optimización Exacto y Aproximado. El trabajo realiza una comparación de los

resultados alcanzados con 56 destinos, usando tres algoritmos: Branch and Bound algorithm (B&B), Elimination-based Fruit Fly Optimization Algorithm (EFOA) and Artificial Atom Algorithm (A<sup>3</sup>).

Seguido "*Propuesta de mejora en los procesos logísticos, particularmente en el despacho de mercancías, de la compañía Boeing Global S. de R.L.*" [2], en este se describe una investigación aplicada al caso a la compañía Boeing Global S. de R.L., ubicada en la zona libre de Colón (Panamá), en la cual se presentan inconvenientes relacionados con el despacho fuera de tiempo debido en gran medida, según los autores, al deficiente seguimiento del "Estatus de Entregas". El manuscrito se orienta a identificar el problema, mejorar los procesos y otorgar una propuesta de valor.

Desde el campo de la ingeniería y el modelamiento matemático y simulación, se reporta el manuscrito "*Análisis numérico del flujo sobre-expandido en la tobera cónica experimental ULA-1B fuera de diseño*" [3], este trabaja se centra en modelar algunos de los diferentes patrones de flujo y su comportamiento, los cuales ocurren debido a la influencia de las geometrías de las superficies internas de las paredes.

En “*Remote monitoring of operational parameters for the cane honey production proces*” [4], se describe la efectividad del uso de sensores y tecnologías de comunicación inalámbrica para monitorear los parámetros operacionales en tiempo real, para el proceso de producción de miel de caña. En el desarrollo de la investigación se utilizaron cinco sensores de temperatura, un sensor de pH y un sensor de nivel, cada uno de ellos atado a sus límites de valores de referencia. En cuanto a los hallazgos, los autores esperan a que constituyan un primer paso en el diseño de procesos agroindustriales.

Finalmente, en el último artículo de revisión teórica, se describen las rutas de valorización del glicerol y se muestra la esterificación como una de las más prometedoras para la transformación de glicerol en aditivos para combustibles. La revisión incluye los temas relacionados con las condiciones experimentales y catalizadores, usados para la transformación de glicerol en acetinas, todo esto recopilado en el manuscrito titulado “*Producción de acetinas (aditivos para combustibles) a partir de glicerol*” [5].

Esperamos que con la migración, se genere un mayor impacto de las investigaciones realizadas por los articulistas, por ello invitamos a todos los autores, lectores, pares y demás colaboradores, difundir las investigaciones del nuevo número de Lámpsakos, que aportan al desarrollo de la ciencia y la tecnología.

## REFERENCIAS

- [1]. A. Chandra, C. Natalia, y A. Naro “Comparative Solutions of Exact and Approximate Methods for Traveling Salesman Problem”, *Lámpsakos*, no. 25, pp. 1-12. DOI: 10.21501/21454086.3804
- [2]. L. Rojas, A. Herrera, Y. Torres, y M. Pachón, “Propuesta de mejora en los procesos logísticos, particularmente en el despacho de mercancías, de la compañía Boeing Global S. de R.L”, *Lámpsakos*, no. 25, pp. 13-24. DOI: 10.21501/21454086.3535
- [3]. S. L. Tolentino Masgo, y O. González Campos, “Análisis numérico del flujo sobreexpandido en la tobera cónica experimental ULA-1B fuera de diseño”, *Lámpsakos*, no. 25, pp. 25-37. DOI: 10.21501/21454086.3836
- [4]. O. E. Guijarro Rubio, V. R. Cerda Mejía, I. Benítez Cortés, G. L. Cerda Mejía, E. Guardado Yordi, B. Ortega Tenezaca, E. Gonzales Suárez, y A. Pérez Martínez, “Remote monitoring of operational: parameters for the cane honey production process”, *Lámpsakos*, no. 25, pp. 59-69, 2021. DOI: 10.21501/21454086.3991
- [5]. C. D. González Martínez, J. A. Guzmán Sánchez, D. Salazar Henao, y O. F. Arbeláez Pérez, “Producción de acetinas (aditivos para combustibles) a partir de glicerol”, *Lámpsakos*, no. 25, pp. 38-58. DOI: 10.21501/21454086.3816

**ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN**

**RESEARCH ARTICLE**

# Comparative Solutions of Exact and Approximate Methods for Traveling Salesman Problem

## Soluciones comparativas de métodos exáctos y aproximados para el problema de los vendedores ambulantes

Artículo de investigación

**Agung Chandra\***, **Christine Natalia\*\***  
**Aulia Naro\*\*\***

(Recibido el 19-08-2020. Aprobado el 01-11-2020. Publicado el 13-05-2021)

**Estilo de citación de artículo:**

A. Chandra, C. Natalia and A. Naro "Comparative Solutions of Exact and Approximate Methods for Traveling Salesman Problem", *Lámpsakos*, no. 25, pp. 1-12.  
DOI: 10.21501/21454086.3804

**Abstract:**

There are two major optimization methods: Exact and Approximate methods. A well known exact method, Branch and Bound algorithm (B&B) and approximate methods, Elimination-based Fruit Fly Optimization Algorithm (EFOA) and Artificial Atom Algorithm ( $A^3$ ) are used for solving the Traveling Salesman Problem (TSP). For 56 destinations, the results of total distance, processing time, and the deviation between exact and approximate method will be compared where the distance between two destinations is a Euclidean distance and this study shows that the distance of B&B is 270, EFOA is 270 and  $A^3$  is 288.38 which deviates 6.81%. For time processing aspect, B&B needs 12.5 days to process, EFOA needs 36.59 seconds,  $A^3$  needs 35.34 seconds. But for 29 destinations, exact method is more powerful than approximate method.

**Keywords:**

Branch and Bound, Elimination-based Fruit Fly Optimization, Artificial Atom Algorithm, Traveling Salesman Problem.

\* Magister Management (Manajemen), Magister Teknik (Civil Engineering Graduate School), Industrial Engineering Department of Industrial Engineering, Universitas Mercu Buana, Indonesia. email: [agung.chandra@mercubuana.ac.id](mailto:agung.chandra@mercubuana.ac.id), ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0338-1588>

\*\* Industrial Engineering (Teknik Industri), Department of Industrial Engineering, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Indonesia. email: [chrishnatalia@atmajaya.ac.id](mailto:chrishnatalia@atmajaya.ac.id)

\*\*\* Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Universitas Mercu Buana, Indonesia. email: [aulia.naro@mercubuana.ac.id](mailto:aulia.naro@mercubuana.ac.id)

**Resumen:**

Hay dos métodos principales de optimización: Exact y approximate. Un método exacto bien conocido, algoritmo de rama y atado (B&B) y métodos aproximados, el algoritmo de optimización de la mosca de la fruta basada en la eliminación (EFOA) y el algoritmo de átomo artificial (A3) se utilizan para resolver el problema del vendedor ambulante (TSP). Para 56 destinos, se compararán los resultados de la distancia total, el tiempo de procesamiento y la desviación entre el método exacto y el aproximado donde se encuentre la distancia entre dos destinos es una distancia euclídea y este estudio muestra que la distancia de B&B es 270, la EFOA es 270 y A3 es 288,38, lo que se desvía un 6,81%. Para el aspecto de procesamiento de tiempo, B&B necesita 12,5 días para procesar, EFOA necesita 36,59 segundos, A3 necesita 35,34 segundos. Pero para 29 destinos, el método exacto es más poderoso que el método aproximado.

**Palabras clave:**

Rama y atado, eliminación basada en la optimización de la mosca de la fruta, algoritmo de átomo artificial, problema de vendedor ambulante.

## 1. INTRODUCTION

In a fierce market environment, every profit organization is trying to be a competitive one. The goal is the same: Maximize profit and minimize cost. In big cities, we are dealing with a large concentration of transport needs in time and space that occur with specific periodicity, especially in rush hours [1]. Transport cost such as fuel consumption is one of the factors which affects financial condition and economic aspects [2]. Travel distance and travel time are two factors that have a great impact on transport cost. Jorgensen and Preston [3] concluded that there is a relationship between travel distance and fare. Rietveld, et.al [4] in their paper also stated that distance relates to fuel cost and cost of maintenance, repair, and depreciation. Those are the reasons why professionals and researchers are searching the methods for minimizing the travel distance, which is known as a traveling salesman problem (TSP). TSP [5] is the most popular combinatorial optimization problem, proven to be NP-Hard and the goal is to find a tour that minimizes the total distance. The tour visits every location only once and called a Hamiltonian cycle [6], [7], [8]. Many real-world problems can be modeled as variants of TSP as real-world problems are often more complicated than TSP [9], [10]. There are two major optimization methods: exact and approximate. Branch and bound and dynamic programming algorithms are categorized as exact methods. Metaheuristics such as single solution-based and population-based are categorized as approximate methods [11]. Each of these methods has some characteristics which exact method explores each and every possible solution to find the exact optimal solution, needs a mathematical convergence proof, computationally less efficient and on the other hand, the approximate method seeks to find a near-optimal solution, usually has natural, physical and biological principles, balancing between exploration (diversification) and exploitation (intensification), and computationally faster than exhaustive search [12]. The branch and Bound (B&B) algorithm as a first and well-known exact algorithm is a desirable algorithm to get an exact solution [13]. In the meanwhile, there are numerous comparative studies on metaheuristics algorithms. Yildirim and Karci

[14] shows that Artificial Atom Algorithm ( $A^3$ ) as a nature-inspired algorithm is better than Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Algorithm (PSO), Artificial Bee Colony (ABC) in their study of traveling salesman problem (TSP) for 81 provinces in Turkey. Huang, L., et al [15] have proved that the Elimination-based Fruitfly Optimization Algorithm (EFOA) has a better convergence rate and precision than other algorithms: RABNET, HACO, CGAS, ACOTM, HA, DWIO. Of course, the question arises: "How large is the gap for the results between exact and approximate method?" or in other words: "how large is the deviation between optimal and near-optimal solution?". In a complex world, one tends to solve the problem faster, more accurately, and with shorter distances. A shorter distance means less fuel consumption, less carbon dioxide emissions, and a greener environment [16], [17]. In this paper, the authors do a comparative study based on 56 locations between an exact – branch and bound (B&B) algorithm and approximate method – ( $A^3$ ) and EFOA algorithm to get the value about distance, processing time by MATLAB software, and deviation between two optimization methods.

## 2. METHODOLOGY AND THEORY

### Branch and Bound Algorithm

The term branch and bound was coined in conjunction with the TSP algorithm by Little, et.al in 1963. B&B methods solve a discrete optimization problem by breaking up its feasible set into successively smaller subsets, calculating bounds on the objective function, and using them to discard certain subsets from further consideration. The procedure ends when there is no better solution than the existing solution. [18]. There are several steps in this algorithm [19]:

Step 1: Collect the distance data between locations,  $d_{ij}$ , and arrange in the table, where  $i$  indicates the row and  $j$  indicate the column

Step 2: Reducing each element ( $d_{ij}$ );

$$\underline{d}_{ij}' = d_{ij} - r_i - c_j \text{ where } r_i = \min_j d_{ij} \text{ and } c_j = \min_i (d_{ij} - r_i)$$

$$b = \sum_{i=1}^n r_i + \sum_{j=1}^n c_j$$

Step 4: Branching: The penalty for not utilizing trajectory

$$\pi_j = \min_j d'_j + \min_i d'_i$$

The branching is the maximum penalty:

$$\pi = \max_j \pi_j$$

Step 5: Etiquette Calculating: Remove p line and q column in which related to position where element  $_{ij}$  which has a maximum penalty. This step is repeatedly using step 2 and step 3. The sum of reduced elements is marked with  $\sigma$ .

Step 6: Drawing the branching tree: assign b etiquette to the knot from which branching started.

$$b + \pi b + \pi \text{ to the non } (p, q)$$

$$b + \sigma b + \sigma \text{ to the } (p, q)$$

Step 7: Locating the knot with the smallest etiquette. And algorithm is completed when the table of distance contains routes only.

### Artificial Atom Algorithm ( $A^3$ )

$A^3$  is a metaheuristic algorithm and inspired by chemical compounding processes. This algorithm has been developed by modelling chemical ionic bond and covalent bond processes. The difference from other metaheuristic algorithm is the effect of parameter values on the result separately. There are three concepts: first is electron which represents each parameter value that

has an effect on the solution, second is atoms which consist of electrons and indicate candidate solutions and third is atom set which consists of atoms and is determined according to the size of the problem.  $A^3$  uses two basic operators: covalent bond and ionic bond [20].

Pseudo code for covalent bond operator is as follow:

```

i ← 1, 2, ..., βn // i ≤ βn
If E[Aj[i]] is better than E[Ar[i]]
    Copy value of Aj[i] to Ar[i]
Else
    Copy value of Ar[i] to Aj[i]

```

Pseudo code for ionic bond operator is as follow:

```

Ionic bond (AtomSet, m, n, β)
j ← 1, ... m // m: number of atoms
i ← βn + 1, ... n // β: Covalent rate
// n: Number of electrons
Aj[i] ← Li + η * (Ui - Li)
// Aj [i] ∈ AtomSet
// η: a random number generated between (0-1)
// Ui: upper bound for ith attribute
// Li: lower bound for ith attribute

```

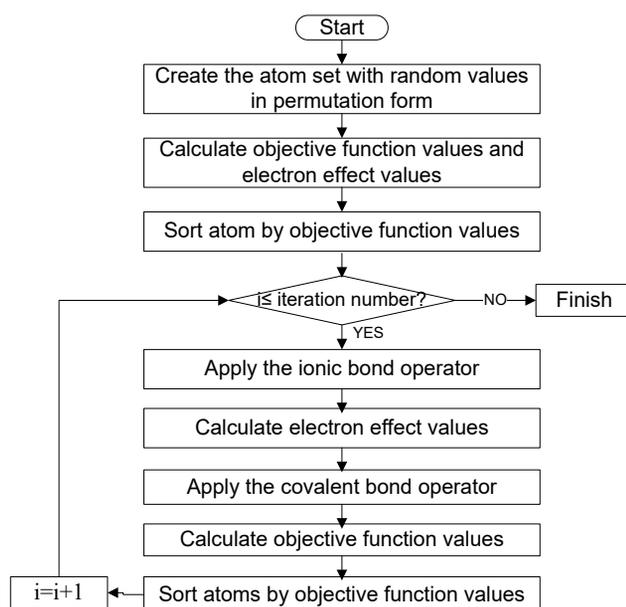


Figure 1. The Algorithm Steps of  $A^3$  Source: [14]

### Elimination-based Fruitfly Optimization Algorithm (EFOA)

In 2011, Fruit fly algorithm as a approximate algorithm is introduced by Wen Tsao Pan and originated from foraging behavior of fruit flies which have a keen vision and smell to find food quickly by following the odor concentration in the air. This algorithm has a simple structure and easily understood [21]. Because its simple structure then it can easily fall into the local optimum and produces low optimization precision. Then Huang, L., et al proposed improved fruit fly algorithm that eliminates some individuals – weak fruit flies and some new individuals are generated in fruit fly foraging process, and this proposed algorithm is called Elimination based Fruit Fly Optimization Algorithm–EFOA. In EFOA algorithm, the vision search algorithm is enhanced as follow:

$$X_i = c \times X_i + (1 - c) \times X_{best}$$

$$Y_i = c \times Y_i + (1 - c) \times Y_{best}$$

Where  $(X_{best}, Y_{best})$  indicates the current optimal individual and  $c$  is a random number from zero to one. After getting this, then calculate the odor concentration value smell:

$$S_i = \frac{1}{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}}$$

$$Smell = F(S_i)$$

$$Smell_{best} = \max(Smell)$$

The proposed algorithm is following:

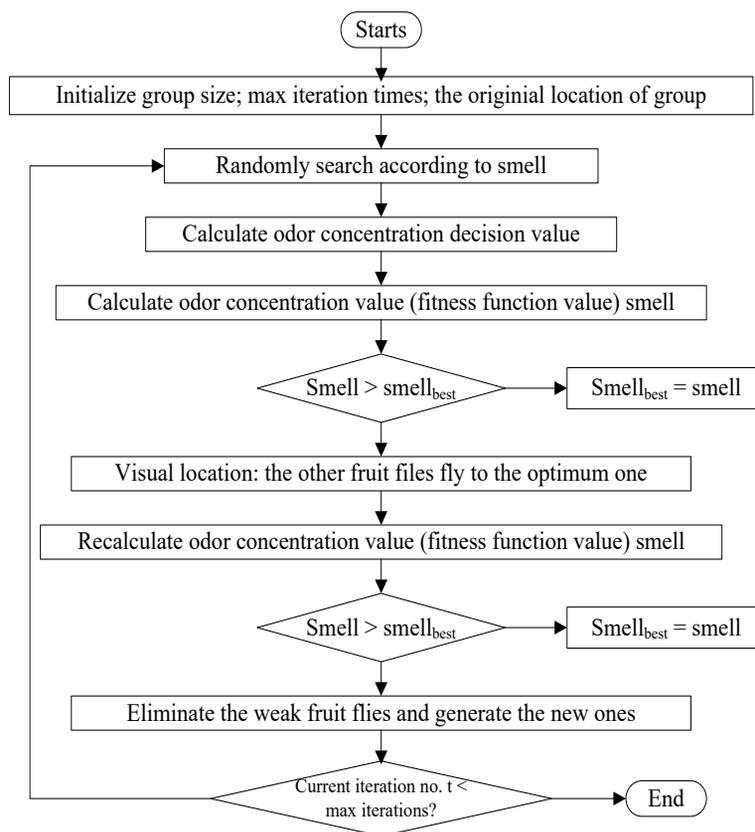


Figure 2. The Algorithm Steps of EFOA Source: [15]

### 3. RESEARCH FRAMEWORK – COMPARATIVE STUDY EXACT AND APPROXIMATE METHODS

In this research, we use 56 locations include coordinates and distance between two locations for both exact and approximate methods and software MATLAB R2015a and LINGO 18.0, Intel Core i5 7200 U CPU 2.5 GHz, 32 bit ACPI x64 based PC will be used to calculate the total distance and total processing time. MATLAB as a powerful software package is used for Approximate method – A<sup>3</sup> and EFOA algorithm and LINGO as a comprehensive tool for building and solving mathematical optimization more easier and more efficient which is used for Exact method – B&B algorithm in this study. This software is similar to CPLEX. These

results will be compared and the deviation between two methods is calculated. From this, we will know how large the gap is and which approximate method is closer to exact one. LINGO software is available on the LINDO system website [22].

### 4. RESULTS

B&B algorithm as an exact method produces 270 in distance in 1,088,494.17 seconds. On the other hand, approximate methods, A3 produces 288.38 in distance in average time 35.34 seconds, and EFOA produces 270 in distance in average time 36.59 seconds.

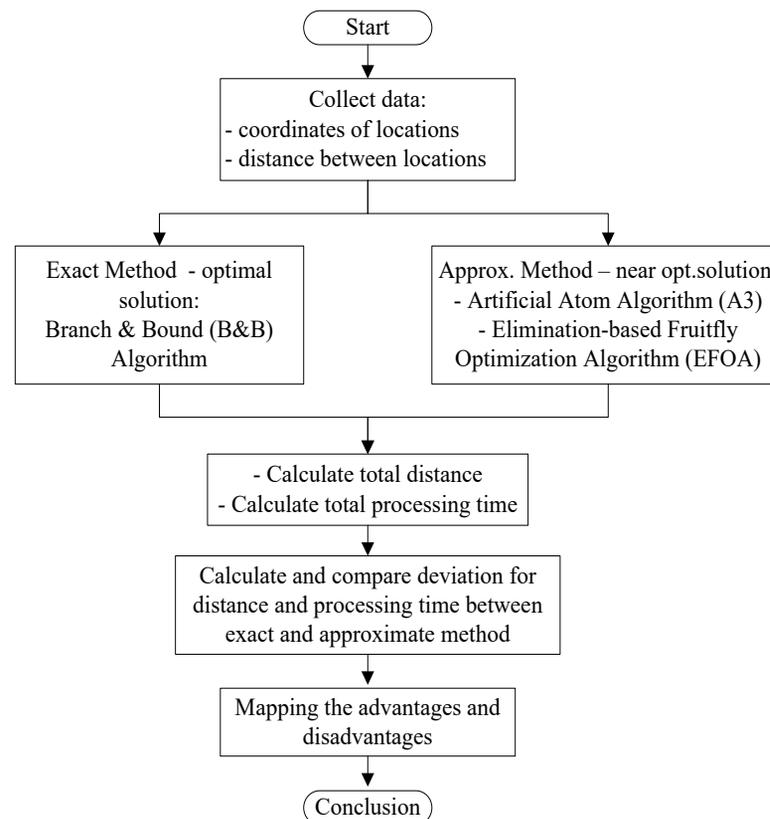


Figure 3. Research Framework

DOI: https://doi.org/10.21501/21454086.3804

Here are the results:

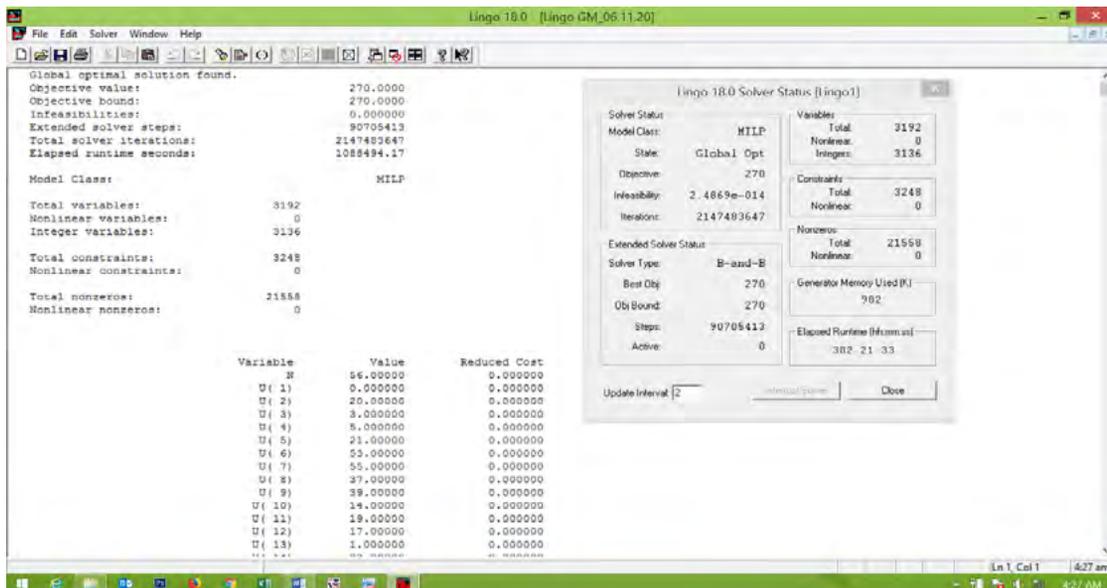


Figure 4. B&B Algorithm for 56 destinations by Lingo18.0

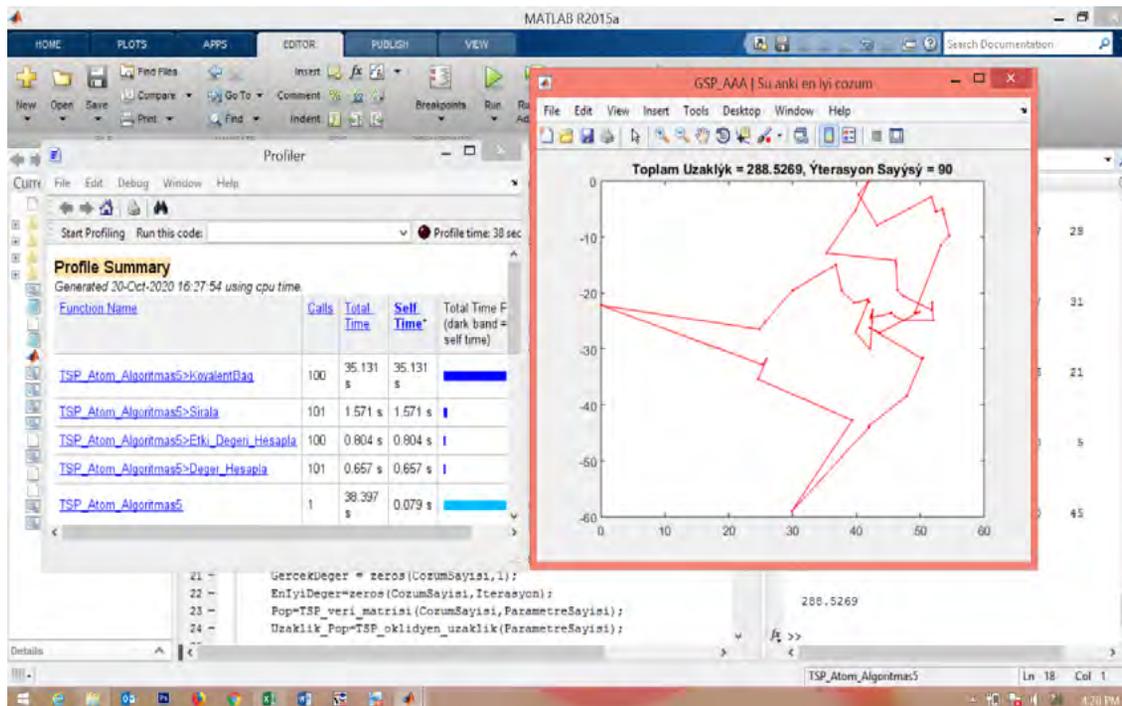


Figure 5. A3 algorithm for 56 destinations by Matlab

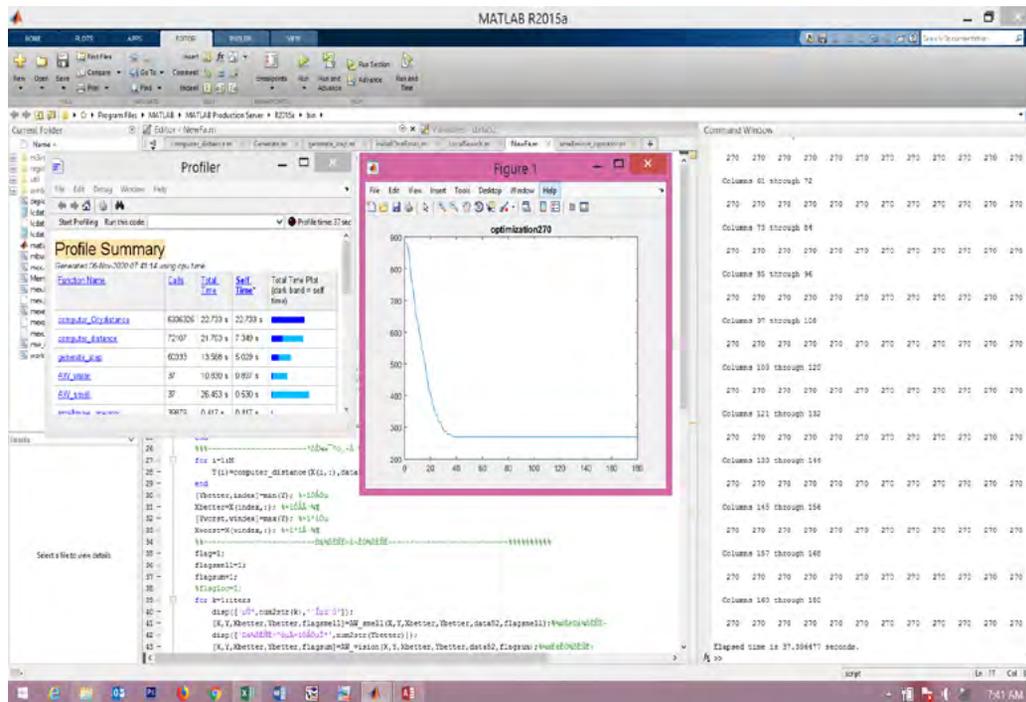


Figure 6. EFOA algorithm for 56 destinations by Matlab

The following table 1 shows the results:

Table 1. The Result of Algorithm for 56 destinations

No	Algorithm	Method	BKS	Average (distance)	Error (%)	Average time (seconds)
1	B&B	Exact	270	270	0	1,088,494.17
2	A3	Approximate	270	288.38	6.81	35.34
3	EFOA	Approximate	270	270	0	36.59

Note: BKS is Best Known Solution

These algorithms is also tested on tsplib\_bays29 (29 cities in Bavaria, street distances (Groetschel,Juenger,Reinelt), the result is:

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3804>

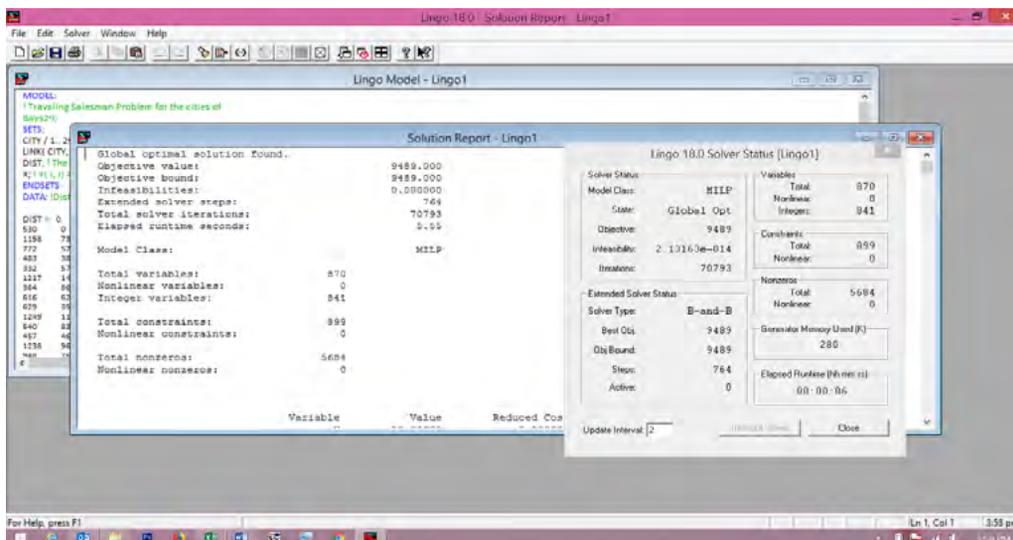


Figure 7. B&B algorithm for tsplib\_bays29

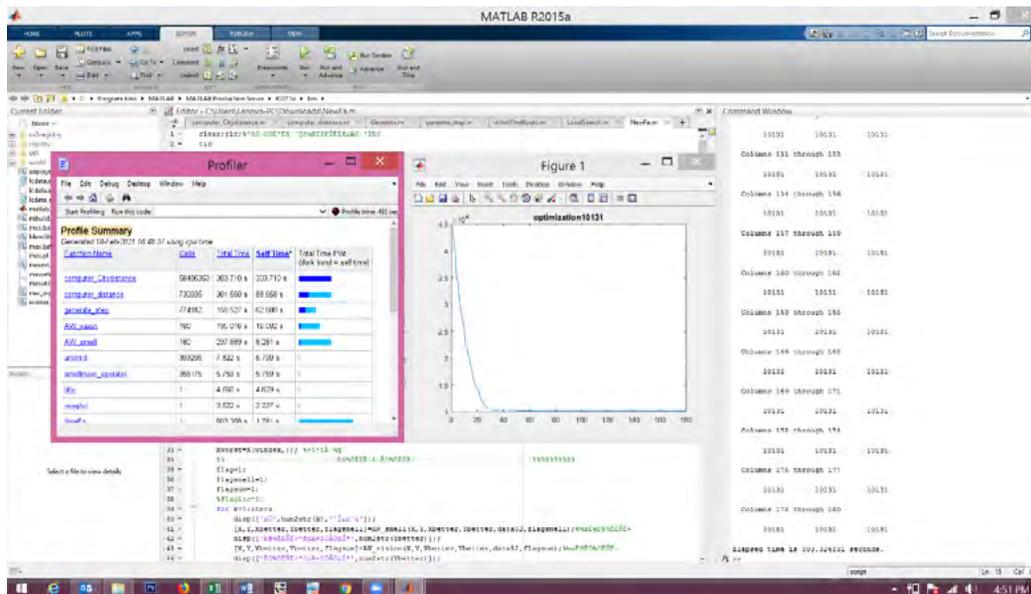


Figure 8. EFOA algorithm for tsplib\_bays29

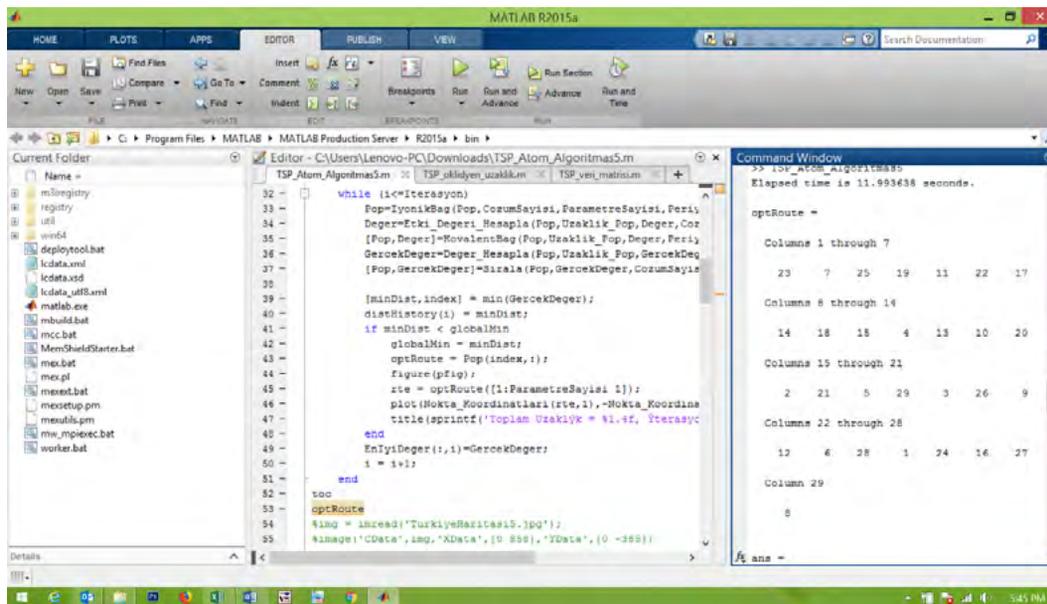


Figure 9. A3 algorithm for tsplib\_bays29

Table 2. The Result of Algorithm for 29 cities (tsplib\_bays29.tsp)

No	Algorithm	Method	BKS	Average (distance)	Error (%)	Average time (seconds)
1	B&B	Exact	9,489	9,489	0	5.65
2	A3	Approximate	9,489	10,689	12.65	11.99
3	EFOA	Approximate	9,489	10,135	6.81	415.5

From this case study for 56 destinations and tsplib\_bays29, the results show EFOA algorithm produces better total distance than A3 algorithm with deviation 0% and 6.81% from exact algorithm, but for A3 algorithm deviates 6.81% and 12.65% from exact algorithm. Time comparison is also produced and compared by these three methods, B&B spent million seconds which equals to twelve days, but for approximate methods produced only around thirty seconds for 56 destinations, but in less destinations, exact algorithms – B&B algorithm seems faster than approximate method.

## 5. DISCUSSION

One need to consider using exact method – B&B algorithm in solving traveling salesman problem, it is because the B&B method only suitable for solving less than 60 locations (Mataija, M., et al: 2016, p.261).

To overcome this obstacle of B&B method, one may consider to use approximate method, such as EFOA and A3, but for the number of locations is less than 30 points, exact method is more powerful than approximate method.

## 6. CONCLUSIONS

The results of searching the shortest distance for 56 locations, exact method – B&B algorithm is 270, and approximate method – EFOA algorithm has the same result with exact method, 270 in distance, another approximate method – A3 algorithm is 288.38 in distance, only deviates around 6.81% from exact method. From processing time aspect, both approximate method produce around 35 seconds and exact method in 12.5 days. But for tsplib\_bays29, where the number of locations is less than 30, exact method is powerful than approximate method

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3804>

## ACKNOWLEDGEMENTS

Funding: This research was supported by Universitas Mercu Buana, Department of Industrial Engineering.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

## 7. REFERENCES

- [1]. M. Gierszewski, and A. Kozlak, "The Impact of Congestion on The Cost of Public Transport in Starogard Gdanski", *Transport Economics and Logistics*, vol. 84, pp. 7-18, 2019. <https://doi.org/10.26881/etil.2019.84.01>
- [2]. L. Kavka, I. Dockalikova, Z. Cujan, and G. Fedorko, "Technological and Economic Analysis in Interior Parts Manufacturing", *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 204-212, 2020. <https://doi.org/10.12913/22998624/122062>
- [3]. F. Jorgensen, and J. Preston, "The Relationship between Fare and Travel Distance", *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 41, no. 3, pp. 451-468, 2007.
- [4]. P. Rietveld, B. Zwart, B. van Wee, and T. van den Horn, "On the Relationship between Travel Time and Travel Distance of Commuters", *European Congress of the Regional Science Association*. Zurich, 2016.
- [5]. J. D. Little, K. G. Murty, and D. W. Sweeney, "An Algorithm for the Traveling Salesman Problem", *Operations Research* vol. 11, no. 6, pp. 972-989, 1963. <https://doi.org/10.1287/opre.11.6.972>
- [6]. S. Saud, H. Kodaz, and I. Babaoglu, "Solving the Traveling Salesman Problem Using Optimization Algorithms", *IAIT Conference Proceedings. The 9th International Conference on Advances in Information Technology*, vol. 2017, pp. 17-32.
- [7]. I. Droste, "Algorithms for the Traveling Salesman Problem", Thesis, Universiteit Utrecht. Facuteit Betawetenschappen. Netherland, 2017.
- [8]. Chandra, A., Setiawan, B., "Optimizing the Distribution Routes Using Vehicle Routing Problem (VRP) Method," *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistik* Vol.05 no.2, 2018. Available at: <http://ejournal.stmt-trisakti.ac.id/index.php/jm-translog>
- [9]. V. Dimitrijevic, and Z. Saric, "An Efficient Transformation of The Generalized Traveling Salesman Problem into The Traveling Salesman Problem on Diagraphs," *Information Sciences*, vol. 102, Issues 1-4, pp. 105-110, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(96\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(96)00084-9)
- [10]. P. Baniasadi, M. Foumani, K. Smith-Miles, and V. Ejov, "A Transformation Technique for The Clustered Generalized Traveling Salesman Problem with Applications to Logistics", *European Journal of Operational Research*, vol. 285, no. 2, pp. 444-457, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.053>
- [11]. E. G. Talbi, *Metaheuristics; From Design to Implementation*, New Jersey: John Wiley and Sons, 2009.
- [12]. S. Bandaru, and K. Deb, "Metaheuristics Techniques", In: Sengupta, R.N., Gupta, A., Dutta, J., *Decision Science: Theory and Practices*, CRM Press, Taylor and Francis Group, 2016.
- [13]. G. Zhukova, M. Ulyanov, and M. Fomichev, "Exact Time Efficient Combined Algorithm for Solving the Asymmetric Traveling Salesman

- Problem". *Business Informatics*, vol. 3, no. 45, pp. 20-28, 2018. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2018.3.20.28>
- [14]. A. E. Yildirim, and A. Karci, "Application of Traveling Salesman Problem for 81 Provinces in Turkey Using Artificial Atom Algorithm", 7th International Conference on Advanced Technologies, 2018.
- [15]. L. Huang, G. C. Wang, T. Bai, and Z. Wang, "An Improved Fruit Fly Optimization Algorithm for Solving the Traveling Salesman Problem", *Frontiers of Information Technology and Electronic Engineering*, vol. 18, pp. 1525-1533, 2017. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1601364>
- [16]. G. Dukic, V. Cesnik, and T. Opetuk, "Order Picking Methods and Technologies for Greener Warehousing" *Strojarstvo*, vol. 52, no. 1, pp. 23-31, 2010.
- [17]. A. Chandra, and B. Setiawan, "Minimasi Jalur Distribusi di PT. XYZ dengan Metode Improved Cluster First Route Second", *Jurnal Metris*, vol. 20, pp. 11-16, 2019, Available: <http://ojs.atmajaya.ac.id/index.php/metris/article/view/1449>
- [18]. E. Balas, and P. Toth, "Branch and Bound Methods for the Traveling Salesman Problem", Management Science Research Report no. MSRR 488, 1983.
- [19]. M. Mataija, M. R. Segic, and F. Jozic, "Solving the Traveling Salesman Problem Using the Branch and Bound Method", *Zbornik Veleucilista u Rjeci*, vol.4, no.1, pp. 259-270, 2016.
- [20]. A. E. Yildirim, and A. Karci, "Application of Artificial Atom Algorithm to Small Scale Traveling Salesman Problem", *Journal of Soft Computing*, vol. 22, pp. 7619-7631, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00500-017-2735-z>
- [21]. H. Iscan, and M. Gunduz, "Parameter Analysis on Fruit Fly Optimization Algorithm", *Journal of Computer and Communications*, vol. 2, no. 4, pp. 137-141, 2014. <https://doi.org/10.4236/jcc.2014.24018>
- [22]. E. Duka, "Traveling Salesman Problem Solved by Branch and Bound Algorithm in Lindo Programming", 2018. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3152830>

# Propuesta de mejora en los procesos logísticos, particularmente en el despacho de mercancías, de la compañía Boing Global S. de R.L.

Proposal for the improvement of logistic processes, especially in  
the dispatch of goods of the company Boing Global S. de R.L.

Artículo de investigación

**Leidi Rojas\***, **Andrés Herrera\*\***  
**Yudy Torres\*\*\***, **Mateo Pachón\*\*\*\***

(Recibido el 30-04-2020. Aprobado el 06-06-2020. Publicado el 18-01-2021)

#### Estilo de citación de artículo:

L. Rojas, A. Herrera, Y. Torres, y M. Pachón, "Propuesta de mejora en los procesos logísticos, particularmente en el despacho de mercancías, de la compañía Boing Global S. de R.L.", *Lámpsakos*, no. 25, pp. 13-24. DOI: 10.21501/21454086.3535

#### Resumen:

La compañía Boing Global S. de R.L., ubicada en la zona libre de Colón (Panamá), tiene una problemática asociada a incumplimientos en promesas de servicio establecidas para el área de despachos, acarreando con ello multas, sanciones y costos adicionales. Dichas multas varían entre el 10 % y el 25 % del valor de las órdenes; Boing Global ha pagado en los últimos tres años alrededor de 180.000 USD por incumplimientos. El despacho fuera de tiempo se debe en gran medida al deficiente seguimiento del "Estatus de Entregas", un formato donde es consignada la información de entregas: la problemática para la recolección y uso de datos, dado que no hay indicadores utilizables en tiempo real, descoordina las diferentes áreas, afectando directamente el flujo de información.

Como los datos podrían transformarse en información valiosa que disminuya las pérdidas asociadas al pago de multas por incumplimientos, se plantea: i) estudiar la línea base de información, ii) plantear estrategias que puedan mejorar la situación actual y, por último, iii) evaluar la importancia de la propuesta. Lo anterior con miras a mejorar el flujo de información y los indicadores.

El presente estudio tiene una gran importancia para la compañía a nivel económico y de gestión con miras a mejorar continuamente los procesos y generar valor para las partes interesadas. La solución tendrá un enfoque que permita reducir multas y sanciones; adicionalmente, la recopilación de datos y la interpretación de los mismos puede mejorar el flujo de información de la organización.

#### Palabras clave:

Gestión de despachos; Indicador logístico; Flujo de información; Estudio de caso; Despacho de mercancías.

\* Especialista en Logística, programa ELYGCA, Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano; Bogotá Colombia. Contacto: [julieth.rojasp@gmail.com](mailto:julieth.rojasp@gmail.com)

\*\* Especialista en Logística, programa ELYGCA, Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano; Bogotá Colombia. Contacto: [andres94\\_19@hotmail.com](mailto:andres94_19@hotmail.com)

\*\*\* Especialista en Logística, programa ELYGCA, Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano; Bogotá Colombia. Contacto: [yudyiliana@gmail.com](mailto:yudyiliana@gmail.com)

\*\*\*\* Maestría en Ingeniería, Universidad nacional de Colombia; Afiliación: Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano; Bogotá Colombia.

Contacto: [mpachonr@poligran.edu.co](mailto:mpachonr@poligran.edu.co), Orcid: 0000-0003-0737-4796; [https://scholar.google.es/citations?user=77Sx7tAAAAAJ&hl=es&citsig=AMD79oqmSlfO1yPzkjm\\_IP80wg56yvOWXw](https://scholar.google.es/citations?user=77Sx7tAAAAAJ&hl=es&citsig=AMD79oqmSlfO1yPzkjm_IP80wg56yvOWXw)

**Abstract:**

Boing Global S. de R.L., located in the free zone of Colón, Panama, has a problem associated with noncompliance with the service promises established for the shipping area, which results in fines, penalties and additional costs. These fines range from 10% to 25% of the value of the orders; Boing Global has paid around US\$180,000 in the last three years for non-compliance. Out-of-time delivery is largely due to poor tracking of Delivery Status, the format in which delivery information is recorded: the problem of data collection and use, since there are no real-time indicators to use, means that the different areas are not synchronized, which directly affects the flow of information.

Since the data could be transformed into valuable information that could reduce the losses associated with the payment of fines for non-compliance, the proposal is to: i) study the baseline information, ii) propose strategies that could improve the current situation and, finally, iii) evaluate the importance of the proposal. The above with a view to improving the flow of information and indicators.

This study is of great importance to the company at an economic and management level with a view to continuously improve processes and generate value for stakeholders. The solution will have an approach to reduce fines and penalties; additionally, data collection and interpretation can improve the flow of information in the organization

**Keywords:**

Dispatch management; Logistics indicator; Information flow; Case study; Dispatch of merchandise.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3535>

## 1. INTRODUCCIÓN

Considerando el entorno globalizado y la gran competencia, se parte de la filosofía de mejora continua para identificar problemáticas y, de esta forma, impactar positivamente en una organización. En este orden de ideas, la compañía objeto de estudio cuenta con una problemática referente a las multas por incumplimientos. Lo anterior denota una falta de coordinación y de flujo información en la cadena logística, asunto al que hay que atender, pues de la adecuada interacción entre una empresa y sus clientes se podrá lograr una relación a largo plazo que sea beneficiosa [1].

Los errores con los clientes causan que estos busquen nuevos proveedores; por consiguiente, los errores pueden deteriorar el negocio de una compañía [2]; por otro lado, si las compañías solucionan los inconvenientes rápidamente, por ejemplo en temas de incumplimiento, se puede mantener una imagen positiva ante los clientes [3]. Si bien la compensación en el caso de estudio particular se materializa en una multa, el objetivo de la compañía debería ser controlar estos sistemas e interacciones de modo tal que no tengan un impacto negativo para la compañía ni en el presente por sanciones económicas ni mucho menos en el futuro por la pérdida de clientes [4]. Además, el compromiso de una compañía con el aprendizaje, por ejemplo en materia de prestación de un servicio, hace que los servicios logísticos sean efectivos [5]. En efecto, uno de los factores más relevantes en una organización de carácter logístico es la calidad en sus servicios y su capacidad de respuesta ante la demanda [6], [7].

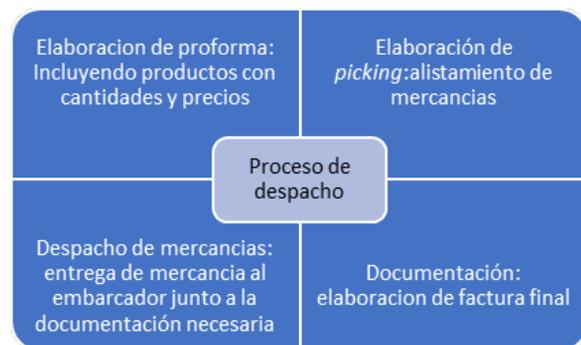
Iniciando la segunda década del siglo XXI, las compañías optan por encontrar oportunidades de mejora en todas las tareas internas del departamento logístico para así lograr disminuir los costos innecesarios, aumentar la eficiencia y mejorar la productividad. Dada las complejidades de cada una de las tareas involucradas en los procesos logísticos, existen diferentes herramientas cuantitativas que facilitan este trabajo recopilando información y ofreciendo bases suficientes para la toma de decisiones; así los directivos dirigen todos sus esfuerzos a la búsqueda incansable de resultados adecuados [8].

Un ejemplo exitoso de desarrollo de este reto en las compañías es la Comercializadora Mayorista de Villa Clara, compañía en la cual se establecieron sistemas de indicadores que influyen en la mejora del nivel de servicio al cliente en el área logística: la consecución de datos reales y específicos permitieron incrementar la calidad en las diferentes funciones [9]. Un resultado similar a este es lo que se pretende lograr con el presente estudio.

### Sobre Boing Global S. de R.L.

Esta es una compañía panameña constituida hace aproximadamente diez años y dedicada a la distribución de juguetes en su territorio y en varios países de la región, como Perú, Chile, Ecuador, Guatemala, Costa Rica, República Dominicana y Honduras. Entre los grandes retos que tiene la empresa para la ejecución adecuada de sus funciones, se encuentra la elaboración de indicadores que permitan la identificación de oportunidades de mejora tanto del proceso logístico de despacho de mercancías como de la toma de decisiones. La compañía tiene un procedimiento logístico para el movimiento de la mercancía, el cual se describe a continuación:

Figura 1. Proceso para el despacho de mercancías



Fuente: datos aportados por la compañía Boing Global S. de R.L.

Dado el contexto de aplicación del presente estudio, es necesario tener claro qué significa la palabra indicador. Estévez y Pérez [10] definen los indicadores como una propuesta que analiza un atributo o característica que es observable. Esto permite juntar un concepto

claro y veraz con una serie de información recopilada y luego analizada por medio de medidas estadísticas, todo para describir, comparar, explicar o prever hechos.

Mediante un análisis de la información de la compañía en estudio, se busca mejorar el proceso logístico de despacho de mercancías. Mora García [11] formula una teoría en su libro *Indicadores de la gestión logística*, teoría con la que explica cómo en todas las empresas existen varios factores que son importantes en cualquier proceso logístico o de producción; para que dichos procesos puedan llevarse a cabo con éxito, deben implementarse sistemas que faciliten el flujo de información y, de esta forma, tener una medición efectiva y controlada para los diferentes niveles de la compañía.

De acuerdo con lo anterior, si en una compañía se ejecuta una medición adecuada, y si esta permite coordinar los diferentes flujos logísticos considerando y pormenorizando cada nivel de la organización y cada tarea, se puede definir con mayor propiedad unos objetivos realistas y concretos, dejando de lado las posibles ineficacias y las metas que no se encaminen a fortalecer las estrategias de la compañía [12]. Esto facilitaría que la compañía en estudio mejore la consulta de novedades y la solución de estas en el despacho de las mercancías.

Dadas las dificultades en el proceso de despacho de mercancías de la compañía Boeing Global S. de R.L., se propone realizar aquí una medición de resultados en cada tarea, favoreciendo la recolección de información para el mejoramiento de procesos, es decir, para la identificación veraz de las oportunidades de mejora de las áreas críticas. Así mismo, se propone aquí analizar a fondo los resultados desfavorables en la consecución de los objetivos de la organización [11].

En el ensayo "Implementación y uso de indicadores de gestión en el área logística como herramienta para toma de decisiones", se establece la importancia de una herramienta cuantitativa como base principal para la recolección de información, la mayor certeza en las

decisiones y la mejora de los procesos. Esto favorece la realización de las tareas, y fortalece la consecución de los logros y la búsqueda de la excelencia [13].

Con la implementación de indicadores en el área logística, se buscará que los responsables de las tareas que la componen puedan entender mejor el funcionamiento del área misma y obtener información real sobre el desempeño de cada parte del proceso [14]. Los indicadores logísticos se encargan de catalogar y medir el comportamiento de los procesos en diferentes áreas y tareas de la cadena logística; para este caso de estudio, los indicadores se enfocan en el despacho de mercancías y en las tareas que se integran para ejecutar las labores de entrega de órdenes.

### Ejecución de indicadores logísticos

Es común ver cómo las organizaciones invierten en desarrollos y plataformas que permiten obtener información de manera segura y rápida para la toma de decisiones, a diferencia de la tardanza propia de cuando se obtiene la información de manera manual [9]. La ausencia de una herramienta tecnológica para la obtención de la información implica que haya duplicaciones, demoras en el análisis de los datos e información desactualizada. Un *software* debe tener una metodología establecida en etapas o fases de progresión lineal y secuencial y con ello se asegura que los datos sean verídicos [9].

Para lograr tener una herramienta tecnológica apropiada y atenuar la problemática de la compañía, es necesario que el *software* que sea implementado contenga los indicadores específicos para el área de despachos y se alimente con la información real que arroja cada una de las operaciones ejecutadas. Dichos indicadores deben estar encaminados a identificar las oportunidades de mejora para favorecer la toma de decisiones [15].

Según Román Rojo [16], la clave para la ejecución de indicadores en cualquier proceso es identificar los factores más importantes de éxito y, posteriormente,

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3535>

transformarlos en información medible, cuantificable. Así se puede medir y elaborar un reporte de objetivos alcanzados.

Cuando el desarrollo está enfocado a indicadores logísticos, estos siempre deben tener ciertas cualidades para que sean funcionales: deben ser sistémicos, flexibles, de mejoramiento continuo e interactivos. La toma de decisiones depende de la asertividad de los directivos a la hora de interpretar los resultados de los indicadores [16]. Para el caso de la compañía Boing Global, se propone adquirir una herramienta tecnológica con dichas características. Esta plataforma permitirá hacer una planificación de entregas y despachos, facilitará ver las entregas en tiempo real y hacer una estimación de las órdenes más próximas, así como cuantificar despachos y medir el cumplimiento de estos. Además, es importante mencionar que la compañía tendrá así un amplio análisis de datos y un excelente ejecutor de informes.

### Elaboración de proforma

Mediante un archivo plano se ingresa al sistema el pedido del cliente, en este proceso se detallan términos de pago, término de entrega, precios y descuentos. Una vez grabado, el sistema genera un archivo en formato pdf con un número de proforma asignado automáticamente. Este documento le permite al cliente verificar su orden, tanto los artículos solicitados como los respectivos precios, para dar una aprobación final y oficializar el pedido. En algunas ocasiones la realización de la proforma se retrasa, ya que se realizan distintos cambios en las cantidades, de acuerdo con las existencias que efectivamente haya en el inventario.

Estos pasos se realizan en la sede principal, ubicada en la ciudad de Bogotá; sin embargo, una vez solicitado el despacho, el trámite del pedido se ejecuta directamente en la bodega de Panamá, ciudad encargada de administrar toda la mercancía.

### Picking

Una vez se aprueba la orden y el cliente solicita el despacho de la mercancía, empieza el *picking*, proceso mediante el cual el sistema extrae del inventario actual las unidades solicitadas. Esto tiene la finalidad de que en la bodega de Panamá se alisten los productos que incluye la proforma. El sistema genera un número de *picking* y bajo ese número la bodega imprime el documento que le servirá de guía para trabajar la orden. Es importante aclarar que la proforma tiene la posibilidad de alistarse parcialmente, de acuerdo con las negociaciones previas con el cliente.

En el proceso de *picking* se realizan operaciones de etiquetado de productos y embalaje o reempaque, según las diferentes solicitudes de los clientes. Estos procesos pueden tomar varios días, dependiendo de la cantidad de productos que preparar y de la mano de obra disponible; esta tarea ocasiona demoras para la entrega a los embarcadores de cada cliente, incurriendo en el incumplimiento de las fechas pactadas.

### Documentación

Una vez lista la mercancía, se emiten los documentos con los que se entregará la carga: factura, lista de empaque, certificados de origen y certificados legales especiales que requiera cada cliente, quien antes del envío debe dar su aprobación final.

### Despacho

En este proceso se realiza la entrega de la mercancía al respectivo embarcador de cada cliente. El término de entrega o incoterm de Boing Global es FCA (*Free Carrier*), que se refiere al término de negociación por el que el cliente recoge la mercancía en las bodegas de la compañía.

Boing contacta al embarcador y valida las instrucciones para entregar la mercancía en las condiciones y tiempos establecidos. Esta parte del proceso tiene

especial importancia, en él deben realizarse las labores necesarias para entregar la mercancía a tiempo al respectivo embarcador, pero se han presentado demoras que constituyen incumplimientos con los compromisos pactados y causan costos adicionales y pérdidas económicas para la compañía.

## Diagnóstico

Actualmente, la empresa Boing Global tiene problemas con los despachos de mercancía, ya que el 40,85 % de estos llegan fuera del tiempo acordado. Esto se debe al poco control y planeación que se tiene en este proceso, a pesar de que este es clave para tener un buen nivel de servicio y, por ende, fidelizar a los clientes.

A continuación, se relaciona la participación de cada país en cada uno de los despachos realizados a lo largo del 2019. La tabla 1 nos muestra cómo se distribuyen las demoras y el porcentaje de participación por clientes, esta información podría ser de utilidad en un futuro al negociar las responsabilidades y los montos de las multas por incumplimiento; adicionalmente, nos indicaría cuáles son esos países destino que se considerarán como los pocos vitales y, de esta forma, realizar un control con mayor eficiencia.

**Tabla 1.** Participación por país en los despachos de la compañía

País destino	Región	% de participación	% En los que se presente demora
Aruba	Caribe	0,35%	33,33%
Anguilla	Caribe	0,46%	50%
Antillas Holandesas	Caribe	0,12%	100%
Barbados	Caribe	0,12%	100%
Caimán, Islas	Caribe	0,35%	33,33%
Granada	Caribe	0,12%	0%
Trinidad y Tobago	Caribe	0,81%	57,14%
Panamá	Centroamérica	42,70%	42%
Costa Rica	Centroamérica	12%	48,10%
Republica dominicana	Centroamérica	3,70%	46,90%
El salvador	Centroamérica	6,30%	30,90%
Honduras	Centroamérica	1,90%	50%
Nicaragua	Centroamérica	4,50%	35,90%
Puerto rico	Centroamérica	0,30%	33,30%
Guatemala	Centroamérica	5,70%	34,70%
Perú	Suramérica	3%	38,46%
Bolivia	Suramérica	1,16%	30%
Chile	Suramérica	3,70%	43,75%
Ecuador	Suramérica	6,25%	37,04%
Paraguay	Suramérica	1,27%	27,27%
Uruguay	Suramérica	1,74%	46,67%
Colombia	Suramérica	2,55%	31,82%
Argentina	Suramérica	0,12%	100%
Venezuela	Suramérica	0,69%	33,33%

Fuente: datos aportados por la Compañía Boing Global S. de R.L.

Este es un proceso que se encuentra centralizado en el Centro de Distribución (CEDI), ubicado en la zona libre de Colón, Panamá, y su ejecución adecuada garantiza la satisfacción final del cliente. Sin embargo, los resultados del nivel de servicio son bajos. La promesa que se le realiza a cada uno de los clientes se hace de acuerdo con la región de destino, ya sea el Caribe, Centroamérica o Suramérica, como se observa en la tabla 2.

**Tabla 2.** Nivel de servicio por región

Región	Nivel de servicio fijado
Caribe	10 días hábiles a partir del <i>picking</i>
Centroamérica	5 días hábiles a partir del <i>picking</i>
Suramérica	10 días hábiles a partir del <i>picking</i>

Fuente: datos aportados por la compañía Boing Global S. de R.L.

La cantidad de despachos realizados desde enero hasta noviembre del 2019 se distribuye de la siguiente manera por región:

**Tabla 3.** Cantidad de despachos de 2019

CANTIDAD DE DESPACHOS POR REGIÓN 2019	
Región Caribe	14
Región Centroamérica	667
Región Suramérica	177

Fuente: datos aportados por la compañía Boing Global S. de R.L.

No se cuenta con ningún indicador que facilite la evaluación de los problemas y la toma de decisiones para la solución de dichos problemas o novedades. Los retrasos solamente son evidenciables cuando llegan las quejas de los clientes o cuando se radican en el departamento contable las facturas de las multas o sanciones en las que incurre la empresa por las demoras.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3535>

**Tabla 4.** Multas y sanciones de la compañía en los últimos tres años

Descripción multa o sanción	AÑO			Total (USD)
	2017	2018	2019	
Sanciones por omisión e la reglamentación aduanera	12715	23550	15640	51905
Sanciones por retraso en proceso documental	13450	22340	15860	51650
Multa por omisión de documentos	9789	17524	14230	41543
Multa por incumplimiento en acuerdo comercial	10540	12950	11635	35125
			<b>Sumatoria</b>	<b>180223</b>

Fuente: datos aportados por la compañía Boing Global S. de R.L.

Esto ha generado que la empresa pierda confiabilidad en sus procesos, lo que se puede observar en la reducción de la cantidad de órdenes de compra del 2018 al 2019.

**Tabla 5.** Cantidad de órdenes de compra por año

Órdenes de compra	
Año 2018	Año 2019
514	423

Fuente: datos aportados por la compañía Boing Global S. de R.L.

De manera adicional, se tiene un riesgo latente de que la empresa tenga una pérdida de un cliente actual o un posible cliente futuro, ya que existen países con un número elevado de incumplimiento, como lo son las Antillas Holandesas, Barbados y Argentina, con un 100 % de incumplimiento.

Los actores de la cadena de abastecimiento han perdido confianza en el proceso, ya que los proveedores no están percibiendo la misma cantidad de volumen en la compra de artículos. Por otro lado, la desconfianza de los clientes ha obligado a la elaboración de cláusulas sobre demoras con la fecha pactada de entrega de los productos; en el último año, los costos por dichas cláusulas se elevaron en un 10%, lo cual representa entre 10.000 USD y 35.00 USD.

Demora en despachos: el nivel de servicio se representa como el nivel de satisfacción de los clientes, ya que nos muestra la capacidad que tiene la compañía de atender las operaciones dentro de un plazo determinado.

El nivel de servicio que se maneja en la actualidad es fijado de acuerdo con la cantidad de días que la bodega debe demorarse para entregar la orden; dentro de este tiempo ya está contemplado: realizar la proforma, ejecutar el *picking* y elaborar la documentación legal según los requerimientos de cada cliente.

Un alto nivel de servicio implica un gran esfuerzo logístico en todos los eslabones de la cadena. Para lograrlo, se debe tener una constante comunicación y sincronización, de manera que ninguna parte falle y, a su vez, todos los resultados sean cada vez más competitivos en el mercado.

El nivel de servicio actual en la compañía Boing Global es bajo, lo que se debe a que la capacidad de reacción es mínima con respecto a la cantidad de requerimientos recibidos. Esto es evidenciable en las tres zonas en las que la compañía centra sus despachos (tablas 1 y 2).

A continuación, se relacionan las gráficas de las operaciones realizadas para cada una de las regiones con su respectivo nivel de servicio: en color azul se encuentra el número de despachos y en color naranja el nivel de servicio alcanzado. Este nivel de servicio también se basa en los acuerdos pactados en cada negociación con los clientes y se determina por:

- Procesos adicionales como etiquetado o reempacado;
- Cantidad de productos que enviar;
- Aprobación de la documentación de manera oportuna.

**Figura 2.** Cantidad de despachos con incumplimiento, región Caribe, 2019

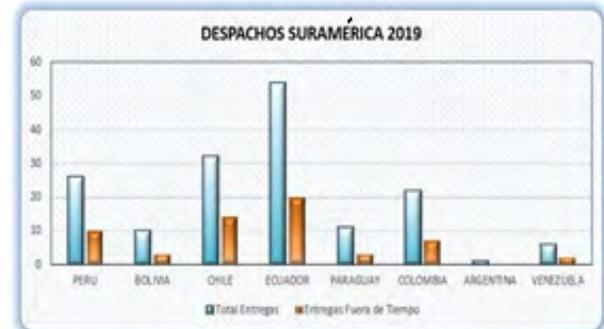
Fuente: datos aportados por la compañía Boing Global S. de R.L.

El envío a la zona Caribe cuenta con diez días hábiles a partir de la realización del proceso de *picking*; de los catorce despachos realizados en 2019, el 57 % no cumplió con esta promesa al cliente.

**Figura 3.** Cantidad de despachos con incumplimiento, región Centroamérica, 2019

Fuente: datos aportados por la compañía Boing Global S. de R.L.

El nivel de servicio para la zona Centroamérica, que cuenta con cinco días hábiles para realizar el proceso de *picking*; de los 667 despachos de 2019, el 41.2 % no cumplió con esta promesa al cliente.

**Figura 4.** Cantidad de despachos con incumplimiento, región Suramérica, 2019

Fuente: datos aportados por la compañía Boing Global S. de R.L.

El nivel de servicio para la zona Suramérica, que cuenta con diez días hábiles para el *picking*; de los 177 despachos, el 37.2 % no cumplió con esta promesa.

Los diferentes retrasos en el despacho de las mercancías han causado que la compañía asuma multas y sanciones que han incrementado y que en los últimos tres años ascienden a 180.000 USD aproximadamente.

## Propuesta

Con el fin de evaluar los logros, medir el progreso o detectar fallos en el proceso de despacho de mercancías de la compañía Boing Global, se propone implementar indicadores por medio de un *software* llamado Beetrack, que requiere una única inversión de 8.000 USD.

Beetrack es un *software* desarrollado y vendido por una empresa especializada en soluciones tecnológicas para el uso de herramientas cuantitativas; él sirve específicamente para manejar indicadores logísticos dentro de cualquier compañía y posee diferentes módulos que se pueden ajustar a la necesidad de cada comprador. Esta plataforma es amigable y permite recopilar información para arrojar informes y datos de las operaciones que realiza la empresa [17].

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3535>

La plataforma se compone de diferentes indicadores o *key performance indicators* (KPI) para medir el desempeño de la distribución según los requerimientos especiales y el tipo de operación que tenga el comprador de la licencia. Así, las estadísticas de los despachos y las ejecuciones de los embarcadores se podrán medir en tiempo real. Además, es posible visualizar y modificar las entregas de mercancía desde un *smartphone*, lo que facilita el acceso y recolección de información desde cualquier lugar [17]. Los indicadores que maneja el *software* Beetrack para el uso logístico en la compañía Boing Global son los siguientes:

### Indicador I

El primer indicador de logística que se recomienda usar por medio de la plataforma Beetrack es: KPI sobre el total de despachos [17].

Este indicador tiene como finalidad calcular el número de despachos enviados a cada cliente. Esto se definirá de acuerdo con la cantidad total de despachos:

#### Fórmula 1

$$\text{Indicador R1} = \frac{\text{Despachos enviados por cliente}}{\text{Despachos programados por cliente}}$$

A su vez, este indicador esta soportado por la plataforma Beetrack para el cumplimiento y avance de la información suministrada en el *software* mismo.

Este indicador tiene como función principal controlar la operación del día a día. La plataforma crea un estado para cada uno de los despachos que salen de la bodega, estado que el respectivo personal de bodega debe alimentar continuamente. Con ello se busca conocer el estado real y tener la visibilidad de los despachos que se retrasan o no se envían.

Este indicador se evaluará con los siguientes estados:

#### 1. No entregados

#### Fórmula 2

$$\text{Indicador G1} = \frac{\text{Despachos no entregados}}{\text{Despachos programados}}$$

#### 2. En ruta:

#### Fórmula 3

$$\text{Indicador G2} = \frac{\text{Despachos no enviados}}{\text{Despachos programados}}$$

### Indicador II

El segundo indicador propuesto para ser ejecutado en la compañía es: KPI logístico sobre el cumplimiento de entregas. Este mide el número de despachos agrupados por cumplimiento de entrega, considerando los tiempos acordados con cada cliente:

#### Fórmula 4

$$\text{Indicador R2} = \frac{\text{Despachos atrasados}}{\text{Despachos programados}}$$

Este indicador de resultado principal tendrá a su vez tres indicadores de gestión, los cuales serán agrupados de acuerdo con los territorios en los que la compañía realiza la distribución de despachos (Caribe, Centroamérica, Suramérica). De manera adicional, la herramienta Beetrack permitirá agrupar los despachos por cumplimiento de entrega, teniendo en cuenta la fecha estipulada con cada cliente; los estados son:

- Entregas a tiempo;
- Atrasadas;

- No definido;
- Adelantados.

Estos grupos permiten saber el estado real de la carga y cómo está cumpliéndose el compromiso que la compañía tiene con cada cliente.

Este indicador se evaluará así:

### 1. Caribe:

$$\text{Indicador G1} = \frac{\text{Despachos atrasados Caribe}}{\text{Despachos programados}}$$

La promesa al cliente es de diez días hábiles después del *picking*.

### 2. Centroamérica:

$$\text{Indicador G2} = \frac{\text{Despachos no enviados Centro America}}{\text{Despachos programados}}$$

La promesa al cliente es de cinco días hábiles después del *picking*.

### 3. Suramérica:

$$\text{Indicador G3} = \frac{\text{Despachos atrasados Sur}}{\text{Despachos programados}}$$

La promesa al cliente es de diez días hábiles después del *picking*.

Estos indicadores serán soportados por todas las herramientas que brinda la aplicación para su gestión y ejecución, tales como la tabla de resumen y la de últimas guías ingresadas. Con ello se puede gestionar cada embarcador con la siguiente información:

- Datos del documento de transporte;
- Fecha del despacho;
- Usuario móvil asignado;
- Tiempo de entrega en tiempo real.

Si es requerido, también podrán anexarse detalles más amplios, como mapas y fotos que comprueben que la orden fue entregada satisfactoriamente. El impacto que tendría la compañía puede ser muy positivo, ya que a la fecha no se maneja un sistema de indicadores que arroje información real de las operaciones que realizan a diario; por ende, esto será un apoyo para cualquier tipo de consulta o decisión.

Los indicadores proporcionarán datos concretos para la identificación de los retrasos en el área y, así mismo, el área directiva podrá tomar las decisiones oportunas para optimizar sus resultados y disminuir el impacto de los costos adicionales. Se espera que con el uso de esta herramienta y con la recopilación de información de los indicadores, la compañía disminuya los retrasos en el despacho de órdenes, y que estos retrasos no superen el 10 % de los despachos totales.

## 2. CONCLUSIONES

Para efectuar el diagnóstico de la logística de la compañía Boing Global, se recopilaron los datos de todos los despachos de 2019. Se recomienda tener en cuenta que la empresa objeto de estudio, antes de la realización de la propuesta, tenía un flujo de información en relación con los incumplimientos casi inexistente; lo anterior no permitía realizar una adecuada gestión que tendiera al mejoramiento continuo y a la coordinación entre los diferentes elementos que componían el sistema.

Se analizaron los datos antes mencionados y, de acuerdo con las fechas de entregas de cada orden, se logró estimar que aproximadamente el 40 % de las órdenes ha presentado algún tipo de retraso. Por otro lado, se llevó a cabo un resumen del proceso desde la confirmación del cliente y la entrega de mercancía a los respectivos embarcadores, se analizaron los envíos a las regiones y el porcentaje de retraso en las entregas de cada una, de acuerdo con los días estipulados. Como parte del trabajo se cotizó el *software* Beetrack y se propuso el uso de indicadores logísticos por medio

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3535>

de esta plataforma, que permitiría tener información confiable y real de todos los despachos realizados a diario y, con ello, facilitar la toma de decisiones.

El manejo de los indicadores propuestos convertirá la información de entrega de mercancías, mediante una base de datos, en información útil, que arrojará gráficas, tablas y, en términos generales, informes de fácil interpretación y acceso. Lo anterior alude al acceso por medio de la nube. La inversión para la aplicación del nuevo *software* es muy baja y viable para la aprobación por parte de los directivos de Boing Global, considerando el costo de la no calidad reflejada en las multas año tras año por incumplimientos.

La generación de retrasos se da principalmente por la combinación de la carencia de una herramienta que brinde información, que permita tomar decisiones de manera adecuada; y por otro lado la situación actual de la compañía al no poseer ningún sistema de indicadores con el que se pueda obtener información confiable de las operaciones. Lo anterior genera retrasos en el despacho de órdenes. Y, como consecuencia, la situación implica incumplimientos con los compromisos pactados, lo que a su vez origina diferentes multas y sanciones, que ascienden aproximadamente a 180.000 USD (tabla 4).

Adicionalmente, no hay acceso a información real que sirva como base para la toma adecuada de decisiones y, de esta forma, para la coordinación de las oportunidades de mejora en cada parte del proceso de despacho de mercancías. Se estima que con la ejecución de la propuesta de manejo de indicadores por medio del *software* Beetrack u otro que tenga similares capacidades, la compañía podrá tener datos confiables y reportes que apoyen la toma de decisiones y que favorezcan la identificación de fallas y retrasos en el despacho de órdenes. En consecuencia, se espera aumentar el nivel de servicio de la compañía, evitar el pago de sanciones y multas por dichas demoras y detener la llegada de peticiones, quejas o reclamos resultantes de dichos retrasos, reduciendo el impacto tanto a nivel logístico como a nivel económico de la organización.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de intereses con ninguna institución o asociación comercial de cualquier índole.

## 3. REFERENCIAS

- [1]. Y. Wen-Hsiang, C. Shih-Kuan y T. Cheng Mei, "The study of evolution among logistic service quality, service compensation and long-term cooperation commitment", *Procedia Manufacturing*, vol. 39, pp. 1493-1500, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.299.
- [2]. M. A. McCollough, L. L. Berry y M. S. Yadav, "An empirical investigation of customer satisfaction after service failure and recovery", *Journal of Service Research*, pp. 121-137, 2000, doi: 10.1177/109467050032002.
- [3]. J. G. Maxham, "Service recovery's influence on consumer satisfaction, positive word-of-mouth, and purchase intentions", *Journal of Business Research*, vol. 54, no. 1, pp. 11-24, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(00\)00114-4](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(00)00114-4).
- [4]. N. Sabharwal, H. Soch y H. Kaur, "Are we satisfied with incompetent services? A scale development approach for service recovery", *Journal of Services Research*, vol. 10, no. 1, pp. 125-142, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2HxTnVB>.
- [5]. Y. Yuan, B. Feng, F. Lai y B. J. Collins, "The role of trust, commitment, and learning orientation on logistic service effectiveness", *Journal of Business Research*, vol. 93, pp. 37-50, 2018, doi: 10.1016/j.jbusres.2018.08.020.
- [6]. A. Gulc, "Models and Methods of Measuring the Quality of Logistic Service", *Procedia Engineering*, vol. 182, pp. 255-264, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.187.

- [7]. K, Dziekoński y J. Chwiećko, "Innovativeness of enterprises within TSL", *Economics and Management*, vol. 5, no. 2, pp. 176–193, 2013, doi: 10.12846/j.em.2013.02.11.
- [8]. D. Butilca y L. Ilieş, "Balanced scorecard versus score in supply chain management – A theoretical approach", *Managerial Challenges of the Contemporary Society*, no. 2, pp. 39-44, 2011.
- [9]. A. González Pérez y M. García Pérez, "Diseño de un sistema de información de indicadores logísticos", *Visión de Futuro*, vol. 20, no. 2, pp. 1-6, 2016.
- [10]. G. J. Estévez y G. Pérez, *Sistema de indicadores para el diagnóstico y seguimiento de la educación superior en México*, México: ANUIES, pp. 55-70, 2008.. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=tubgwrqX4ZkC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
- [11]. L. A. Mora García, *Indicadores de la gestión logística*, Bogotá, Colombia: FESC, sin fecha. [En línea] Disponible en: [http://www.fesc.edu.co/portal/archivos/e\\_libros/logistica/ind\\_logistica.pdf](http://www.fesc.edu.co/portal/archivos/e_libros/logistica/ind_logistica.pdf).
- [12]. A. F. Hatre, *Indicadores de gestión y cuadro de mando*. Asturias: Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias, 2017.
- [13]. J. D. Peñaloza López, "Implementación y uso de indicadores de gestión en el área logística como herramienta para toma de decisiones", trabajo de grado, Facultad de Estudios a Distancia, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/14559>.
- [14]. R. B. Handfield y E. L. Nichols, *Supply Chain Redesign: Transforming Supply Chains Into Integrated Value Systems*. Upper Sadle River, Estados Unidos: Financial Times Management, 2002.
- [15]. A. Y. Martínez, "Una metodología para el diseño de sistemas de información, basada en el estudio de sistemas blandos", *Espacios*, vol. 25, no. 2, pp. 49-60, 2004. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a04v25n02/04250232.html>.
- [16]. A. Román Rojo, "Visión estratégica y gestión del desempeño", *Gestión Hospitalaria*, vol. 14, no. 4, pp. 145-147, 2003.
- [17]. Beetrack, "KPI en logística de despachos: los 4 indicadores más importantes", 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.beetrack.com/es/blog/4-kpis-claves-para-la-logistica-de-despachos>.

# Análisis numérico del flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ULA-1B fuera de diseño

## Numerical analysis of the over-expanded flow in the experimental conical nozzle ULA-1B out of design

Artículo de investigación

**San Luis B. Tolentino Masgo\***  
**Omar González Campos\*\***

(Recibido el 12-10-2020. Aprobado el 04-03-2021. Publicado el 10-05-2021)

### Estilo de citación de artículo:

S. L. Tolentino Masgo y O. González Campos, "Análisis numérico del flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ULA-1B fuera de diseño", *Lámpsakos*, no. 25, pp. 25-37. DOI: 10.21501/21454086.3836

### Resumen:

En las toberas supersónicas, ocurren diferentes patrones de flujo y su comportamiento está influenciado por las geometrías de las superficies internas de las paredes. En el presente trabajo se simula en 2D el campo de flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ULA-1B fuera de diseño, para dos casos de longitudes de garganta:  $L_g = 15 \text{ mm}$  y  $L_g = 1 \text{ mm}$ ; con el fin de analizar el campo de número de Mach, presión y temperatura. Se empleó el código ANSYS-Fluent y se aplicó el modelo RANS; las ecuaciones gobernantes: conservación de la masa, cantidad de movimiento, energía, y estado; así como el modelo de turbulencia de Menter y la ecuación de Sutherland para la viscosidad en función de la temperatura. En la sección de la garganta de mayor longitud, los resultados mostraron choques oblicuos, fluctuaciones de velocidad, presión y temperatura; para la garganta de menor longitud no hubo fluctuaciones; para ambos casos, el flujo en la divergente presentó picos de velocidad en el rango de **2,5 – 3 Mach**. Se concluye que, para la menor longitud de garganta el flujo se acelera sin perturbaciones en dicha sección; en la divergente se presenta un chorro supersónico y una separación de flujo.

### Palabras clave:

Choque oblicuo; Fluctuación; Flujo sobrexandido; Longitud de garganta; Modelo RANS; Modelo de turbulencia; Patrón de flujo; Separación de flujo; Simulación; Tobera cónica.

\* Magister en Ingeniería Mecánica, estudiante del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, vicerrectorado Puerto Ordaz, Bolívar – Venezuela, investigador colaborador en la Universidad Nacional de Ingeniería, integrante del Grupo de Modelamiento Matemático y Simulación Numérica, Lima-Perú. Contacto: sanluist@gmail.com

\*\* Ingeniero civil, estudiante de la Maestría en Diseño y Construcción de Obras Viales de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco-Perú. Contacto: omargc17@gmail.com

**Abstract:**

In supersonic nozzles, different flow patterns occur and their behavior is influenced by the geometries of the internal surfaces of the walls. In the present work, the over-expanded flow field is simulated in 2D in the experimental ULA-1B conical nozzle out of design, for two cases of throat lengths:  $L_g = 15 \text{ mm}$  and  $L_g = 1 \text{ mm}$ ; in order to analyze the field of Mach number, pressure and temperature. The ANSYS-Fluent code was used and the RANS model was applied; the governing equations: conservation of mass, momentum, energy, and state; as well as the Menter turbulence model and the Sutherland equation for the viscosity as a function of temperature. In the longest throat section, the results showed oblique shocks, speed, pressure and temperature fluctuations; for the shorter throat there were no fluctuations; for both cases, the flow in the divergent presented speed peaks in the range of **2,5 – 3 Mach**. It is concluded that, for the shorter throat length, the flow accelerates without disturbances in said section; in the divergent there is a supersonic jet and flow separation.

**Keywords:**

Oblique shock; Fluctuation; Over-expanded flow; Throat length; RANS model; Turbulence model; Flow pattern; Flow separation; Simulation; Conical nozzle.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3836>

## 1. INTRODUCCIÓN

La diferencia de presión en las toberas supersónicas establece las condiciones para que un flujo esté sobrexandido, adaptado o subexpandido [1]. Para un flujo sobrexandido en la sección divergente se presenta la onda de choque, adyacente a la pared ocurre la separación y recirculación del flujo. La capa límite turbulenta interactúa con la onda de choque y causa inestabilidad en su posición. Además, se presentan gradientes adversos de presión, transición de choque libre, vórtices, asimetría y cargas laterales de presión [1], [2], [3], [4].

Mediante el empleo de equipos experimentales, la turbulencia del flujo es captada en imágenes mediante la técnica Schlieren, propuesta por el físico alemán August Toepler en 1864 [5], [6]. Aplicando la dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés) [7], [8] se puede simular la turbulencia del flujo en un dominio, lo cual permite cuantificar las magnitudes de los parámetros termodinámicos, tales como: presión, temperatura densidad, número de Mach, entre otros.

Un grupo de toberas cónicas experimentales con longitud de garganta diseñadas y fabricadas por la Universidad de Los Andes (ULA) y el Grupo de Ciencias Atmosféricas y del Espacio (GCAE), como parte del proyecto cohete sonda serie ULA que desarrolla la Comisión Rectoral del Programa de Ciencias Espaciales (CRPCE) en Venezuela, fueron empleadas en los cohetes sonda de la serie ULA-1 y ULA-2 que emplean combustible sólido de nitrato de potasio y sacarosa ( $\text{KNO}_3 + \text{SO}$ ) [9]. Las toberas fueron sometidas a ensayos experimentales en estática para medir la presión [10] y la temperatura [11]. El grupo de toberas de la serie ULA tienen el ángulo medio de la divergente menor de  $\alpha < 12^\circ$ , por lo cual son consideradas toberas fuera de diseño; puesto que en los diseños de toberas el ángulo medio de la divergente se encuentra en el rango de  $12^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$  [1].

Estudios realizados del campo de flujo aplicando la CFD a dominios computacionales 2D de las toberas de la serie ULA clasificadas como: ULA-1A XP con relación de longitud y diámetro de la garganta  $L_g/D_g = 1,1$

[12], [13] y ULA-2 con  $L_g/D_g = 0,9136$  [14] reportaron fluctuaciones de velocidad, presión y temperatura en la sección de la garganta como consecuencia de los choques oblicuos en dicha sección, así como influencia en el desarrollo del flujo en la divergente al disminuir la longitud de garganta. Los resultados numéricos con respecto a las fluctuaciones de temperatura en la pared de la sección de la garganta corroboraron los resultados experimentales de Parco [11]. Cabe señalar que la pared de la tobera se dilata en las regiones donde se presenta la mayor temperatura, mientras que los saltos de temperatura se presentan en la posición del choque; mediante el mecanismo de transferencia de calor por conducción el gradiente térmico que se distribuye en la pared interactúa con el flujo de su entorno por convección.

Debido a la presencia de choques oblicuos en la sección de la garganta se motivó en continuar con la investigación para una tobera de la serie ULA-1 clasificada como ULA-1B. En la Fig. 1 se muestra el cohete sonda portador de la tobera ULA-1B experimental durante la prueba de rendimiento. Cabe señalar que otros autores han realizado estudios experimentales y numéricos para toberas sin longitud de garganta, para diferentes ángulos medio de la divergente, enfocando sus estudios en la separación del flujo [15], la inestabilidad y la asimetría [16], [17], [18].



Fig. 1. (a) Posición del cohete sonda ULA-1B en la plataforma de lanzamiento. (b) Lanzamiento del cohete sonda portador de la tobera experimental ULA-1B, realizado en el Centro de Adiestramiento Militar General "José Laurencio Silva", Venezuela [9].

En el presente trabajo se simula el campo de flujo sobrepandido en la tobera cónica experimental ULA-1B fuera de diseño con ángulo medio  $\alpha = 11^\circ$  en la divergente, con el objeto de analizar y determinar la longitud que debe tener la sección de la garganta para que el flujo no presente fluctuaciones de velocidad en dicha sección. El trabajo está estructurado como sigue: en la sección 2 se presenta la metodología, allí se expone el fundamento matemático, el dominio computacional y el método de solución computacional; en la sección 3 se presentan los resultados y las discusiones; en la sección 4 se exponen las conclusiones; seguidamente, en la sección 5 se presenta el trabajo a futuro.

## 2. METODOLOGÍA

### Fundamento matemático

La simulación del campo de flujo compresible fue resuelta con el modelo de las ecuaciones de Navier-Stokes de número de Reynolds promedio (RANS, por sus siglas en inglés).

Las ecuaciones gobernantes (1)–(4) empleadas en condiciones estacionarias [19] se expresan como:

Conservación de la masa:

$$\nabla \cdot (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

Cantidad de movimiento:

$$\nabla \cdot (\rho u_i u_j) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \nabla \cdot (-\rho \overline{u_i' u_j'}) \quad (2)$$

Conservación de la energía:

$$\nabla \cdot (u_i (\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T + (\bar{\tau}_{eff} \cdot u_i)) \quad (3)$$

Ecuación de estado del gas ideal:

$$p = \rho RT \quad (4)$$

Los términos de los parámetros de las ecuaciones gobernantes son los siguientes: densidad  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>); velocidad  $u$  (m/s); presión  $p$  (Pa); tensor de tensiones  $\bar{\tau}$ ; tensiones de Reynolds  $-\rho \overline{u_i' u_j'}$  que cierra la ecuación (2); fluctuaciones  $u'$ ; energía total  $E$  (J); temperatura  $T$  (K); conductividad térmica efectiva  $k_{eff}$ , tensor de tensiones efectivo  $\bar{\tau}_{eff}$ ; y constante del gas  $R$  (J/(kg·K)).

Los parámetros termodinámicos, tales como presión, temperatura y densidad están en función del número de Mach  $M$ . El número de Mach es un parámetro dominante y una medida unidimensional que está definida como la velocidad relativa de un objeto o flujo entre la velocidad del sonido, y su importancia reside en su relación con la compresibilidad de un gas, así como en que permite clasificar al flujo para diferentes rangos. Las consideraciones son las siguientes: flujo incompresible  $M < 0.3$ ; flujo subsónico  $0.3 < M < 0.8$ ; flujo transónico  $0.8 < M < 1.2$ ; flujo sónico  $M = 1$ ; flujo supersónico  $1.2 < M < 5$ ; y flujo hipersónico  $M > 5$ . Cabe señalar que White [20] considera flujo hipersónico para  $M > 3$  y Anderson [21] para  $M > 5$ . En el presente trabajo se simuló para el rango de Mach  $0 < M < 3$ .

El número de Mach en cualquier posición de la tobera se determina con la ecuación analítica (5), para un flujo cuasi-unidimensional, la cual es útil para comparar la velocidad del flujo en la simetría axial con los resultados numéricos computacionales. Los procedimientos para obtener la ecuación analítica están sustentados en [20].

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left( \frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2}{\frac{\gamma+1}{2}} \right)^{\frac{\gamma+1}{2\gamma-2}} \quad (5)$$

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3836>

La posición en función de la relación de áreas se expresa como  $A/A^*$ , siendo  $A$  ( $\text{mm}^2$ ) el área local y  $A^*$  ( $\text{mm}^2$ ) el área de la garganta de la tobera, conocido como área crítica. La relación de calores específicos,  $\gamma$ , es un parámetro adimensional.

Para la viscosidad del flujo en función de la temperatura se tomó en consideración la ecuación de la ley de Sutherland [2], [22], la cual se expresa como:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{T_0 + S}{T + S} \quad (6)$$

La viscosidad de referencia es  $\mu_0 = 1,716$  ( $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ ), la temperatura de referencia  $T_0 = 273,11$  (K) y la temperatura efectiva  $S = 110,56$  (K) [19]. La temperatura efectiva  $S$  es conocida como la constante de Sutherland, la cual es una característica del gas y está tabulada para rangos de temperatura de diferentes tipos de gases [22].

El gas que se produce en la cámara de combustión por la quema del propelente sólido compuesto por nitrato de potasio y sacarosa se aproximó a los parámetros del aire para la simulación del flujo en el dominio computacional, por lo cual, para las cargas de presión y temperatura se establecieron como valores constantes la relación de calor específico  $\gamma = 1,4$ , la constante del gas  $R = 287$   $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ , el calor específico a presión constante  $C_p = 1006,43$   $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  y la conductividad térmica  $k = 0,0242$   $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ . [19]. Es importante señalar que el combustible sólido en la cámara de combustión se quema de manera heterogénea, y esto hace que los parámetros del gas no sean fácilmente medibles; en ese sentido, al considerar un gas homogéneo se facilita el empleo de la ecuación de estado del gas ideal.

Para la simulación de la turbulencia del flujo se empleó el modelo de turbulencia SST  $k - \omega$  de Menter [23], el cual es un modelo compuesto por dos ecuacio-

nes: una para la energía cinética específica  $k$  y la otra para la tasa de disipación específica  $\omega$ , la cual mejora las respuestas en el desarrollo del flujo con presencia de gradientes adversos de presión y separación de flujo. Es de resaltar que el modelo de Menter ha sido evaluado previamente y comparado con datos experimentales, reportando mejores prestaciones con respecto a los modelos  $k - \epsilon$  estándar de Launder y Spalding,  $k - \omega$  estándar de Wilcox,  $k - kl - \omega$  de transición de Walters y Cokljat, y RSM de Launder *et al.*; por tanto, es un modelo adecuado para la simulación de la turbulencia en dominios computacionales con presencia de ondas de choque [24], [25].

### Dominio computacional

La tobera cónica experimental ULA-1B tiene una longitud de garganta  $L_g = 15$  mm, cuyas dimensiones son las siguientes: el diámetro de la convergente  $D_c = 63,57$  mm, de la garganta  $D_g = 16,46$  mm y de la divergente  $D_d = 53,61$  mm; la relación de longitud y diámetro de la garganta  $L_g/D_g = 0,911$ ; el ángulo medio de la divergente es  $\alpha = 11^\circ$ . Las dimensiones de la tobera están reportadas en [9].

El diseño de la tobera para  $\gamma = 1,4$  corresponde a una velocidad supersónica  $M = 3,98$  a la salida, calculada con la ecuación (5); no obstante, esta magnitud no se obtiene a la salida de la tobera en el presente trabajo, sino valores menores, pues las simulaciones numéricas son para un flujo sobrexandido, ya que después del choque en la divergente la velocidad del flujo se acelera.

Para la simulación del flujo se consideró un dominio 2D con simetría axial, por la simetría que tiene la tobera ULA-1B, la cual se muestra en la Fig. 2, allí se señalan donde fueron aplicadas las condiciones de borde (C. B.). En la misma figura, en el dominio mallado, se muestra la sección que comprende una pequeña región de la cámara de combustión, la tobera y una región del ambiente de la atmósfera donde se descarga el flujo.

Además, se consideró un segundo dominio con longitud de garganta  $L_g = 1 \text{ mm}$ , que tiene  $L_g/D_g = 0,06$ , pero no fue incluido en la figura por ser similares.

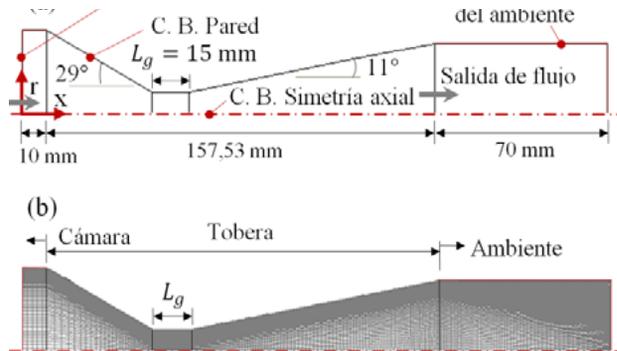


Fig. 2. (a) Dominio computacional 2D en el plano de simetría con el eje x. (b) Dominio mallado con 24500 celdas cuadriláteras.

Se tomaron las siguientes consideraciones para las condiciones de borde, para los dos casos de los dominios 2D con longitud de garganta:  $L_g = 15 \text{ mm}$  y  $L_g = 1 \text{ mm}$ .

Condición a la entrada: el flujo en la cámara de combustión se estableció a la presión de **709 kPa** y de la temperatura a **1673,15 K**.

Condición a la salida: la presión del ambiente de la atmósfera se fijó a **98 kPa** y de la temperatura a **293,15 K**. Siendo la relación de presión  $rp = 7,234$ , el cual es la división de la presión de la cámara entre la presión del ambiente.

Condición en las paredes: las paredes de la cámara y de la tobera se consideraron adiabáticas; la velocidad del flujo en esas paredes se estableció nula por la condición de no deslizamiento.

Condición en la simetría axial: en la simetría axial, en el eje x, la velocidad del flujo en la dirección radial es nula.

El análisis de sensibilidad de mallado se realizó en la plataforma ANSYS-Meshing en Workbench, se discretizó el dominio con longitud de garganta  $L_g = 15 \text{ mm}$  mediante la interacción ICM-CFD para un mallado con

celdas cuadriláteras estructuradas; en la dirección radial se discretizó para 100 celdas y en la dirección del eje x con 245 celdas, siendo el dominio mallado con 24500 celdas cuadriláteras, tal como se ilustra en la misma Fig. 2. Para el mallado se aplicó en la dirección radial hacia las paredes *bias factor* igual a 50, para ajustar el crecimiento de las celdas y tener una alta densidad de ellas en la región de la capa límite. En promedio, el análisis del espaciamento mínimo de la celda en la pared de la tobera se obtuvo  $y^+ < 0,99$ , y la calidad de la malla  $Q_{EAS} = 0,52$ . Para la calidad de la malla se aplicó el sesgo equiángulo, el cual debe estar en el rango de  $0 \leq Q_{EAS} \leq 1$  para que la malla sea de buena calidad [26]. Para el dominio mallado con longitud de garganta  $L_g = 1 \text{ mm}$  no se realizó ningún análisis, ya que la geometría de la tobera es la misma y sólo ha disminuido la longitud de la garganta.

### Método de simulación computacional

Para la simulación del flujo se empleó el código ANSYS-Fluent versión 12.1, el cual aplica el método de volumen finito (MVF). Se consideró la solución de análisis basado en densidad para un fluido compresible y simetría axial 2D para un flujo en estado estacionario. Para la turbulencia del flujo se seleccionó el modelo de turbulencia SST  $k - \omega$  Menter, y para la viscosidad en función de la temperatura la ecuación de Sutherland.

Para la presión de entrada, se definió la intensidad turbulenta con valor de 1,5% y la relación de la viscosidad turbulenta con magnitud de 10; así mismo para la presión de salida, para la intensidad turbulenta de contraflujo con magnitud 1,5% y la relación de la viscosidad turbulenta de contraflujo con magnitud de 10. En consecuencia, el desarrollo del campo de flujo en el dominio computacional está sujeto a las condiciones de la carga de presión aplicada. El efecto de la gravedad no se tomó en cuenta, debido a que el dominio computacional 2D tiene una simetría axial en el eje x, por tanto, los resultados numéricos del campo de flujo son simétricos alrededor del eje.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3836>

En cuanto a la discretización espacial: para el gradiente se optó por las celdas basados en el mínimo cuadrado; para el flujo, la energía cinética turbulenta y para la tasa de disipación específica se seleccionó la opción: Second Order Upwin. El monitor residual se acondicionó para un valor fijo de 0,00001, tanto para continuidad, velocidad, y energía. Las simulaciones de los dominios 2D para  $L_g = 15 \text{ mm}$  y  $L_g = 1 \text{ mm}$  reportaron iteraciones en el rango de 14500 – 16800 para obtener los resultados del campo de flujo de número de Mach, presión y temperatura. Para la simulación computacional se empleó un equipo con las siguientes características: Laptop marca Síragon, modelo M54R, Intel Core 2 Duo, dos procesadores de 1,8 GHz, memoria RAM de 3 GB.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección, se presentan los resultados numéricos del campo de flujo sobrexexpandido y de los perfiles para el número de Mach, presión estática y temperatura estática.

Los campos de flujo para la tobera con longitud de garganta  $L_g = 15 \text{ mm}$  y  $L_g/D_g = 0,911$  se muestra en la Fig. 3 para el campo de número de Mach, en la Fig. 4 para la presión estática y en la Fig. 5 para la temperatura estática. En cada figura se muestra cómo el flujo se comporta dentro y fuera de la tobera. Las magnitudes de los parámetros termodinámicos fluctúan en diferentes regiones del campo de flujo, presentando magnitudes máximas y mínimas que, en consecuencia, definen un patrón de comportamiento para un flujo sobrexexpandido. En la sección de la garganta y la divergente el flujo presenta ondas de choque oblicuas. Para la tobera con menor longitud de garganta se muestra una línea sónica para el número de Mach. En la divergente se observa donde se da el inicio de la separación del flujo de las paredes.

Desde el inicio de la separación del flujo hacia la salida de la tobera se observa el chorro supersónico en la región central del flujo. En cuanto al flujo adyacente a la pared adiabática, después de la separación del flujo una región del mismo presenta recirculación

por la caída de presión, que es menor a la presión de la atmósfera, donde una cierta cantidad de masa de aire del ambiente de la atmósfera ingresa rozando las paredes y posteriormente sale juntamente con el chorro supersónico. Como consecuencia de la separación de la capa límite, las ondas de choque se propagan hacia la salida de la tobera. Las líneas de contorno ilustran como están distribuidos el número de Mach, la presión y la temperatura.

Así mismo, los campos de flujo para la tobera con longitud de garganta  $L_g = 1 \text{ mm}$  y  $L_g/D_g = 0,06$  se muestran en la Fig. 6 para el campo de número de Mach, en la Fig. 7 para la presión estática y en la Fig. 8 para la temperatura estática. El comportamiento del flujo es ligeramente diferente de la sección divergente respecto del caso de la tobera con  $L_g = 15 \text{ mm}$ ; sin embargo, el campo de flujo de la sección de la garganta muestra que no existe presencia de choques oblicuos, por lo que la aceleración del flujo en esa región no presenta fluctuaciones.

En el ambiente de la atmósfera, el chorro supersónico es conocido como pluma. Se observa que el flujo sale de la tobera a velocidad supersónica. En la atmósfera la onda se amortigua aguas abajo, por lo que la magnitud de la velocidad, presión y temperatura fluctúan en la región central del flujo, siendo de menor intensidad hacia los laterales de la dirección axial.

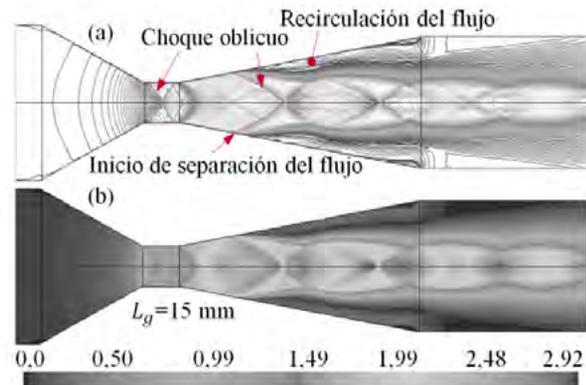


Fig. 3. Campo de flujo de número de Mach en la tobera y en una sección del ambiente de la atmósfera: (a) Líneas de contorno y (b) gradiente. Longitud de garganta  $L_g = 15 \text{ mm}$ .

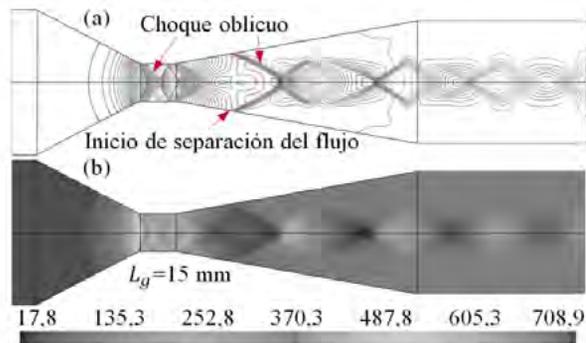


Fig. 4. Campo de flujo de presión estática (kPa) en la tobera y en una sección del ambiente de la atmósfera: (a) líneas de contorno y (b) gradiente. Longitud de garganta  $L_g = 15$  mm.

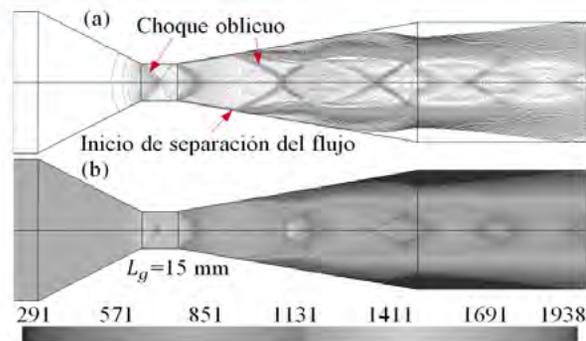


Fig. 5. Campo de flujo de temperatura estática (K) en la tobera y en una sección del ambiente de la atmósfera: (a) líneas de contorno y (b) gradiente. Longitud de garganta  $L_g = 15$  mm.

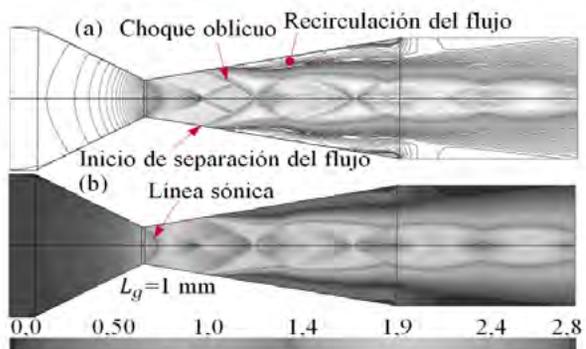


Fig. 6. Campo de flujo de número de Mach en la tobera y en una sección del ambiente de la atmósfera: (a) Líneas de contorno y (b) Gradiente. Longitud de garganta  $L_g = 1$  mm.

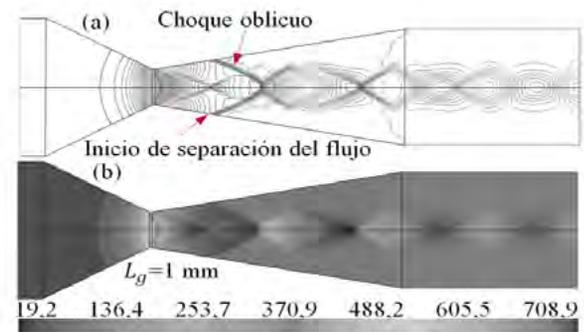


Fig. 7. Campo de flujo de presión estática (kPa) en la tobera y en una sección del ambiente de la atmósfera: (a) Líneas de contorno y (b) Gradiente. Longitud de garganta  $L_g = 1$  mm.

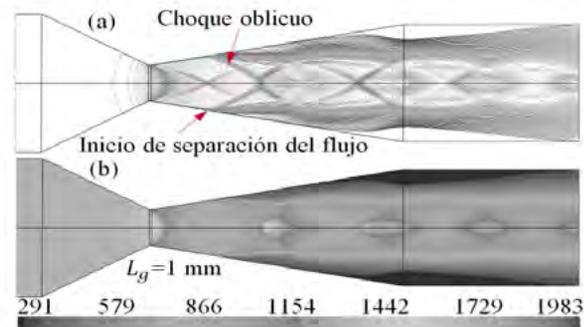


Fig. 8. Campo de flujo de temperatura estática (K) en la tobera y en una sección del ambiente de la atmósfera: (a) líneas de contorno y (b) gradiente. Longitud de garganta  $L_g = 1$  mm.

Los perfiles evaluados en la simetría axial, en el eje  $x$ , indicados en la Fig. 9 para el número de Mach, en la Fig. 10 para la presión estática y en la Fig. 11 para la temperatura estática, definen un patrón de comportamiento. Allí, para la tobera con  $L_g = 15$  mm, en la sección de la garganta se muestra cómo el flujo se desacelera producto de la onda de choque, en cuya región pequeña se presenta un disco de Mach, así como también se incrementan la presión y la temperatura; mientras que para la tobera con  $L_g = 1$  mm el flujo se acelera sin perturbaciones en la sección de la garganta, por lo cual presenta un buen desarrollo. En la sección divergente, al comparar ambos casos de las toberas con longitud de garganta se muestra el comportamiento de las trayectorias de los perfiles, en ellas se observan picos y cómo influyen en su comportamiento cuando la tobera tiene una longitud diferente de la garganta. Para el caso de la velocidad del flujo del chorro supersónico, los picos de magnitud máxima se encuentran en el rango de

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3836>

2,5 – 3 Mach, y a mitad de la sección divergente, para la tobera con  $L_g = 15 \text{ mm}$ , el flujo presenta una magnitud ligeramente mayor de Mach 1, mientras que para la tobera con  $L_g = 1 \text{ mm}$  se tiene un valor menor de Mach 1. En la salida de la tobera, para  $L_g = 15 \text{ mm}$  y  $L_g = 1 \text{ mm}$ , el flujo presenta un valor en el rango de número de Mach 1,2 – 1,5, la presión en el rango de 100 – 200 kPa y la temperatura en el rango de 1100 – 1200 K.

La presión y la temperatura del flujo en la pared adiabática se muestran en la Fig. 12, para la tobera con  $L_g = 15 \text{ mm}$ , donde la trayectoria del perfil muestra que en la sección de la garganta se presentan fluctuaciones y cuyos comportamientos son distintos al comparar con las Fig. 10 y 11. Donde se inicia la separación del flujo, la presión se incrementa ligeramente y luego tiene un comportamiento con tendencia horizontal ubicándose en la salida de la tobera a  $\sim 100 \text{ kPa}$ ; mientras que la temperatura presenta una magnitud máxima de  $\sim 1900 \text{ K}$  en el instante antes del choque oblicuo, con un valor incluso mayor que el de la cámara de combustión, de  $1673,15 \text{ K}$ , y después del choque disminuye a  $\sim 400 \text{ K}$ , por lo cual se presenta un choque térmico en esa región de la pared consecuencia del salto de temperatura, desde  $\sim 1900 \text{ K}$  a  $\sim 400 \text{ K}$ . En la salida de la tobera, el flujo alcanza la temperatura de  $\sim 300 \text{ K}$ .

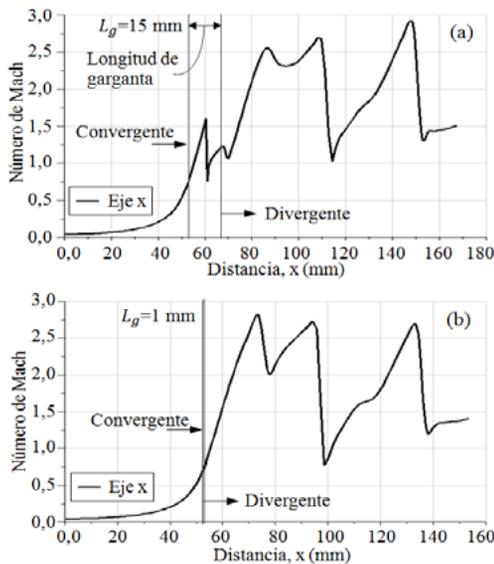


Fig. 9. Patrón de número de Mach en la simetría axial, eje x: (a) longitud de garganta 15 mm y (b) longitud de garganta 1 mm.

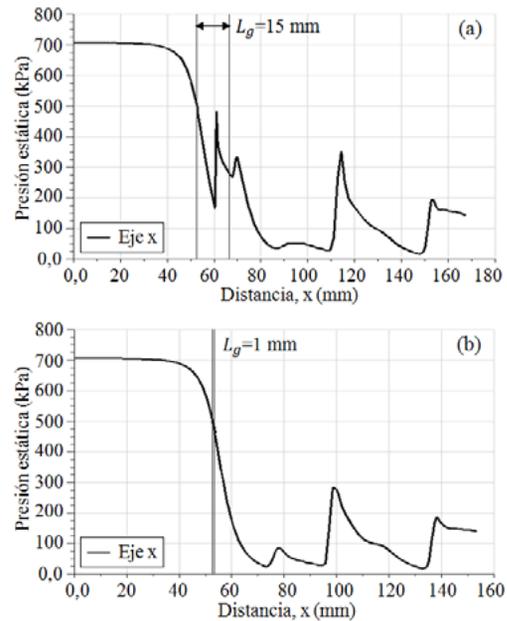


Fig. 10. Patrón de presión estática en la simetría axial, eje x: (a) longitud de garganta 15 mm y (b) longitud de garganta 1 mm.

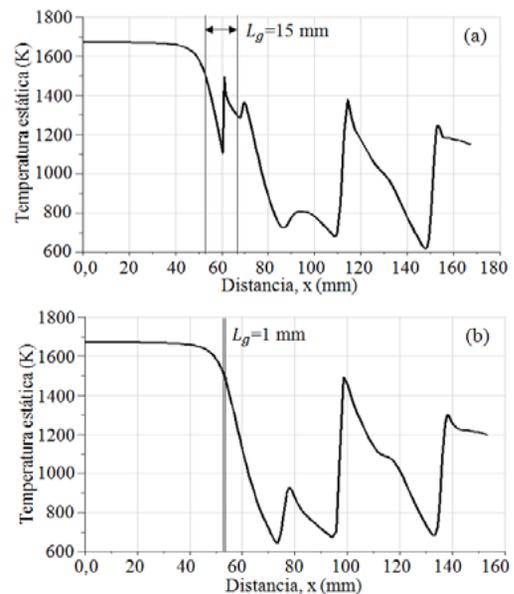


Fig. 11. Patrón de temperatura estática en la simetría axial, eje x: (a) longitud de garganta 15 mm y (b) longitud de garganta 1 mm.

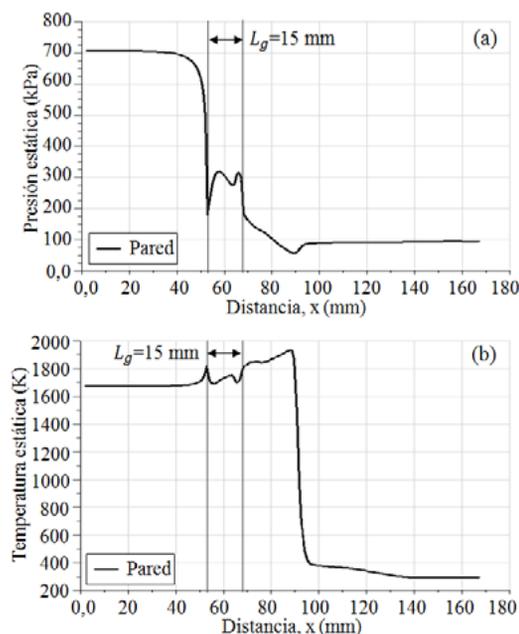


Fig. 12. (a) Patrón de presión estática en la pared. (b) Patrón de temperatura estática en la pared. Para ambos casos: longitud de garganta 15 mm.

Para una longitud  $L_g = 1 \text{ mm}$  no existe desaceleración del flujo en esa sección, tal como puede verse en la Fig. 9. Por tanto, para longitudes en el rango de  $1 \text{ mm} < L_g < 15 \text{ mm}$  las fluctuaciones están presente e influyen en diferentes regiones del campo de flujo en la divergente.

El comportamiento del flujo obtenido en el presente trabajo para la tobera cónica experimental ULA-1B con  $L_g = 15 \text{ mm}$  y  $L_g/D_g = 0,911$ , así como con  $L_g = 1 \text{ mm}$  y  $L_g/D_g = 0,06$ , para la carga de presión aplicada  $rp = 7,234$ , tiene algunas cercanías de resultados numéricos con respecto al estudio realizado para un flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ULA-2 [14] con  $L_g = 21,38 \text{ mm}$  y  $L_g/D_g = 0,9136$ , así como para  $L_g = 1 \text{ mm}$  y  $L_g/D_g = 0,042$ , y carga de presión  $rp = 7,234$ . Mientras que la tobera ULA-1B tiene un ángulo medio de la divergente  $\alpha = 11^\circ$ , la tobera ULA-2 tiene  $\alpha = 9^\circ$ , aunque ambas presentan comportamientos similares de patrones de flujo en la sección convergente, en la sección de la garganta y en la sección divergente, así como comportamientos similares de los perfiles de presión y temperatura en las paredes adiabáticas en la divergente. Para un proceso con transferencia de calor, el efecto térmico interviene en

la interacción del campo de flujo, donde a través de las paredes se transfiere el flujo de calor por conducción y desde la pared con su entorno por convección [27], [28], sin embargo, para el caso de la tobera ULA-1B se han considerado paredes adiabáticas, en consecuencia, todo el mecanismo de transferencia de calor se presenta para el flujo dentro de la tobera, además, el patrón de flujo (Fig. 9) muestra que para valores mayores de  $L_g/D_g > 0,1$  en la sección de la garganta los parámetros del flujo presentan fluctuaciones.

Otro estudio realizado para un flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ULA-1A XP [12], [13] con  $L_g = 16,7 \text{ mm}$  y  $L_g/D_g = 1,10$ , así como con ángulo medio variable en el rango  $\sim 11,5 < \alpha < \sim 13,5^\circ$ , y carga de presión  $rp = 6,234$ , presentó fluctuaciones similares con respecto a la tobera ULA-1B en la sección de la garganta y en la divergente; allí el flujo, para la tobera ULA-1A XP al ser estudiada para  $L_g = 1 \text{ mm}$  y  $L_g/D_g = 0,0659$ , no presentó desaceleración en la sección de la garganta. Otros casos de estudios en toberas planas y cónicas fuera de diseño, sin longitud de garganta, han reportado patrones de flujo en la divergente, con ondas de choque oblicuas que tienen diferentes configuraciones, así como cargas de presiones laterales [16], [18], [29], [30] donde se evidencia que la distribución de presión en la pared es diferente para una tobera con pared curva [31].

Un caso de estudio aplicando el esquema First Order Upwin para un flujo subexpandido en la tobera cónica experimental clasificada como Helios-X [32], la cual tiene una longitud de garganta  $L_g = 6,01 \text{ mm}$ ,  $L_g/D_g = 1,07$ ,  $\alpha = 15^\circ$ , y carga de presión  $rp = 68,92$ , reportó un comportamiento escalonado de la velocidad del flujo en la sección de la garganta sin presencia de choque oblicuo. Cabe resaltar, los resultados numéricos para el esquema First Order Upwin en regiones críticas donde se presentan saltos de magnitudes de los parámetros termodinámicos suavizan las curvas, sin embargo, en las regiones donde el flujo es totalmente desarrollado las curvas son similares con respecto al esquema Second Order Upwin. Como hipótesis, para un flujo subexpandido en la tobera ULA-1B aplicando el esquema Second Order Upwin debe presentarse fluc-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3836>

tuaciones de la velocidad en la sección de la garganta. En ese sentido, la tobera ULA-1B debe ser estudiada para incrementos de presión de entrada variable hasta alcanzar un flujo subexpandido en la salida de la misma, y así poder tener un criterio más amplio en el análisis del campo de flujo.

#### 4. CONCLUSIONES

Basándose en los análisis realizados del flujo sobrexandido en la tobera cónica ULA-1B, para los dos casos de longitud de garganta  $L_g = 15 \text{ mm}$  y  $L_g = 1 \text{ mm}$  se concluye que:

En la sección de la garganta, para la tobera con  $L_g = 15 \text{ mm}$ , el flujo presenta ondas de choque, fluctuaciones de velocidad, presión y temperatura, superando un pico de velocidad de Mach 1,5; mientras que, para la tobera con  $L_g = 1 \text{ mm}$  el flujo se acelera a velocidad transónica sin presencia de ondas de choque. Sin embargo, al disminuir la longitud de garganta, en la divergente el flujo presenta regiones con velocidad transónica y supersónica. Para la tobera con  $L_g/D_g > 0,1$  el flujo presenta fluctuaciones en la sección de la garganta.

Para ambos casos de la tobera con longitud de garganta, en la divergente el flujo presenta un chorro supersónico con picos de velocidad en el rango de  $2,5 - 3 \text{ Mach}$ , mientras que en la salida de la tobera el flujo presenta valores en el rango de  $1,2 - 1,5 \text{ Mach}$ .

La presión del flujo en la pared de la divergente tiene un comportamiento con tendencia horizontal hacia la salida de la tobera, y la presión de salida en la simetría axial, en el eje x, se encuentra en el rango de  $100 - 200 \text{ kPa}$ . Las cargas laterales de presión del flujo en las paredes de la divergente, después del choque, disminuye a una presión menor a la del ambiente de la atmósfera, por lo cual induce al flujo a presentar una recirculación.

La temperatura en la pared de la divergente alcanza un pico máximo de magnitud máxima de  $\sim 1900 \text{ K}$ , la cual es mayor a la temperatura de la cámara de combustión, y después de la separación del flujo la temperatura disminuye a  $\sim 400 \text{ K}$ , por lo cual se presenta un choque térmico en esa región de la pared. La temperatura en la simetría axial, en el eje x, a la salida de la tobera se encuentra en el rango de  $1100 - 1200 \text{ K}$ .

#### 5. TRABAJOS FUTUROS

En un trabajo a futuro se tiene previsto realizar simulaciones 2D y 3D para diferentes cargas de presión a la entrada de la tobera ULA-1B con longitud de garganta hasta alcanzar un flujo subexpandido, con el fin de determinar la evolución progresiva de la fluctuación en todo el campo de flujo.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Rectoral del Programa de Ciencias Espaciales (CRPCE) y al Grupo de Ciencias Atmosféricas y del Espacio (GCAE) de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela, por el gran aporte de asesoría técnica recibida en sus instalaciones.

#### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de intereses con ninguna institución o asociación comercial de cualquier índole.

#### 6. REFERENCIAS

- [1]. G. P. Sutton and O. Biblarz, *Rocket propulsion elements*, 9th ed., New York, USA: John Wiley & Sons, 2016.
- [2]. J. D. Anderson, *Fundamentals of aerodynamics*, 6th ed., New York, USA: McGraw-Hill, 2017.

- [3]. T. V. Karman, "The fundamentals of the statistical theory of turbulence", *Journal of the Aeronautical Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 131–138, 1937, doi: <https://doi.org/10.2514/8.350>
- [4]. H. Schlichting and G. Klaus, *Boundary-layer theory*, 9th ed., Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2017.
- [5]. P. Krehl and S. Engemann, "August Toepler – the first who visualized shock waves", *Shock Waves*, vol. 5, no. 1, pp. 1-18, 1995, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02425031>
- [6]. G. S. Settles, "Toma ultrarrápida de imágenes de ondas de choque, explosiones y disparos". *Revista Investigación y Ciencia*, no. 356, pp. 74-83, may, 2006, <http://www.investigacion-y-ciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/genes-de-la-longevidad-419/toma-ultrarrapida-de-imgenes-de-ondas-de-choque-explosiones-y-disparos-5828>
- [7]. J. Blazek, *Computational fluid dynamics: principles and applications*, 3rd ed., Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2015.
- [8]. B. Andersson, et al., *Computational Fluid Dynamics, Engineers*. Cambridge University Press, 2012.
- [9]. V. Marcano, et al., "Progresos alcanzados en el proyecto universitario cohete sonda ULA", *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 13, no. 53, pp. 305–316, 2009, <http://uct.unexpo.edu.ve/index.php/uct/article/view/109>
- [10]. L. Lacruz, M. A. Parco, R. Santos, C. Torres, J. Ferreira y P. Benítez, "Análisis experimental de las oscilaciones de presión interna en un motor de combustible sólido para cohete sonda", *Revista Ciencia y Tecnología*, vol. 37, no. 2, pp. 81–88, 2016, <http://revistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaingenieria/article/view/7443>
- [11]. M. A. Parco, "Análisis experimental de temperaturas en la tobera de un motor de cohete de combustible sólido". Trabajo de Grado de Maestría, dirigido por P. R. Benítez, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, 2014.
- [12]. S. L. Tolentino, J. Ferreira, M. A. Parco, L. Lacruz y V. Marcano, "Simulación numérica del flujo sobre-expandido en la tobera cónica experimental ULA-1A XP", *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 21, no. 84, pp. 126–133, 2017, <http://www.uct.unexpo.edu.ve/index.php/uct/article/view/803>
- [13]. S. L. Tolentino, M. A. Parco, S. Caraballo, L. Lacruz, V. Marcano, J. Ferreira y J. Mírez, "Análisis numérico del comportamiento del flujo en la sección de la garganta de una tobera cónica experimental", *Revista Enfoque UTE*, vol. 12, no. 1, pp. 12-28, 2021, doi: <https://doi.org/10.2909/enfoqueute.676>
- [14]. S. L. Tolentino, y J. Mírez, "Análisis numérico del flujo sobreexpandido en la tobera cónica experimental ULA-2 fuera de diseño", *Lámpsakos*, no. 24, pp. 33-47, 2020, doi: <https://doi.org/10.21501/214540863707>
- [15]. C. A. Hunter, "Experimental, theoretical, and computational investigation of separated nozzle flows", *34th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & exhibit*, Cleveland, OH, July 1998. Disponible en: <https://doi.org/10.2514/6.1998-3107>
- [16]. S. Verma, M. Chidambaranathan and A. Hadjadj, "Analysis of shock unsteadiness in a supersonic over-expanded planar nozzle", *European Journal of Mechanics/B Fluids*, vol. 68, pp. 55-65, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2017.11.005>

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3836>

- [17]. E. Martelli, P. P. Ciottoli, L. Saccoccio, F. Nasuti, M. Valorani and M. Bernardini, "Characterization of unsteadiness in an overexpanded planar nozzle", *AIAA Journal*, vol. 57, no. 1, pp. 239-251, 2019, doi: <https://doi.org/10.2514/1.J057162>
- [18]. P. P. Nair, A. Suryan and H. Dong, "Computational study on reducing flow asymmetry in over-expanded planar nozzle by incorporating double divergence", *Aerospace Science and Technology*, vol. 100, pp. 1-18, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.105790>
- [19]. ANSYS, "Ansys Fluent 2019 R1: Theory guide", [Online]. Available: <https://go-pdf.online/out/2BE079D/ansys-fluent-theory-guide.pdf>, [consultado el 5 de julio de 2020].
- [20]. F. White, *Fluids Mechanics*, 8th ed., New York, USA: McGraw-Hill Education, 2016.
- [21]. J. Anderson, *Hipersonic and high temperature gas dynamics*, Virginia, USA: AIAA, 2019.
- [22]. W. Sutherland, "The viscosity of gases and molecular force", *Philosophical Magazine series 5*, vol. 36, no. 223, pp. 507-531, 1893, doi: <https://doi.org/10.1080/14786449308620508>
- [23]. F. R. Menter, "Two equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications", *AIAA Journal*, vol. 32, no. 8, pp. 1598-1605, 1994, doi: <https://doi.org/10.2514/3.12149>
- [24]. S. L. Tolentino, "Evaluation of turbulence models for the air flow in a planar nozzle", *Revista INGENIUS*, no. 22, pp. 25-37, 2019, doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.03>
- [25]. S. L. Tolentino, "Evaluación de modelos de turbulencia para el flujo de aire en un difusor transónico", *Revista Politécnica*, vol. 45, no. 1, pp. 25-38, 2020, doi: <https://doi.org/10.33333/rp.vol45n1.03>
- [26]. Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Fluid mechanics: Fundamentals and applications*, 4th ed., New York, USA: McGraw-Hill, 2017.
- [27]. C. Génin, A. Gernoth and R. Stark, "Experimental and numerical study of heat flux in dual bell nozzles", *Journal of Propulsion and Power*, vol. 29, no. 1, pp. 21-26, 2013, doi: <https://doi.org/10.2514/1.B34479>
- [28]. H. Ding, C. Wang and G. Wang, "Transient conjugate heat transfer in critical flow nozzle", *International Journal of Heat and Mass transfer*, vol. 104, pp. 930-942, 2017, doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.09.021>
- [29]. R. Arora, and R. Vaidyanathan, "Experimental investigation of flow through planar double divergent nozzles". *Acta Astronautica*, vol. 112, pp. 200-216, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2015.03.020>
- [30]. B. Zebiri, A. Piquet, and A. Hadjadj, "Analysis of shock-wave unsteadiness in conical supersonic nozzle", *Aerospace Science and Technology*, vol. 105, pp. 1-15, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106060>
- [31]. J. Östlund and B. Muhammed, "Supersonic flow separation with application to rocket engine nozzles", *ASME, Applied Mechanics Reviews*, vol. 58, no. 3, pp. 143-177, 2005, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1894402>
- [32]. S. L. Tolentino, R. Nakka, S. Caraballo and J. Mírez, "Numerical simulation of the flow under-expanded flow in the experimental conical nozzle helios-x", *Revista INGENIUS*, no. 25, pp. 81-93, 2021, doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n25.2021.08>

# Producción de acetinas (aditivos para combustibles) a partir de glicerol

## Production of acetins (fuel additives) from glycerol

Artículo de revisión

**Christian David González Martínez\***, **Jeovanny Alexis Guzmán Sánchez\*\***  
**David Salazar Henao\*\*\***, **Óscar Felipe Arbeláez Pérez\*\*\*\***

(Recibido el 22-11-2020. Aprobado el 03-03-2021. Publicado 10-05-2021)

**Estilo de citación de artículo: Espacio de uso exclusivo de la revista**

C. D. González Martínez, J. A. Guzmán Sánchez, D. Salazar Henao y O. F. Arbeláez Pérez, "Producción de acetinas (aditivos para combustibles) a partir de glicerol", *Lámpsakos*, no. 25, pp. 38-58. DOI: 10.21501/21454086.3816

### Resumen:

La elevada producción de glicerol, un subproducto de bajo costo proveniente de la industria del biodiésel, ha supuesto una amenaza tanto para el medio ambiente como para la economía. La transformación de glicerol en productos de valor agregado contribuiría positivamente a la economía del biodiésel. En este artículo de revisión se describen las rutas de valorización del glicerol y se presenta la esterificación como una de las más prometedoras para la transformación de glicerol en aditivos para combustibles; igualmente, se describen los resultados más relevantes entre 2010 y 2020 relacionados con las condiciones experimentales (temperatura, relación molar y tiempo de reacción), los catalizadores heterogéneos y la actividad catalítica (en términos de la conversión del glicerol y la selectividad) para la transformación de glicerol en acetinas (monoacetina, diacetina y triacetina). Se espera que esta revisión permita abordar esta técnica de valorización de manera rentable y ambientalmente sostenible.

### Palabras clave:

Energía renovable; Glicerol; Biodiésel; Glicerol; Monoacetina; Diacetina; Triacetina.

\* Estudiante de Ingeniería Mecánica, Universidad Cooperativa de Colombia, Semillero de investigación en energía y medio ambiente, Medellín-Colombia. Contacto: [christiand.gonzalez@campusucc.edu.co](mailto:christiand.gonzalez@campusucc.edu.co), ORCID: 0000-0002-2176-7134

\*\* Estudiante de Ingeniería Mecánica, Universidad Cooperativa de Colombia, Semillero de investigación en energía y medio ambiente, Medellín-Colombia. Contacto: [jeovanny.guzmans@campusucc.edu.co](mailto:jeovanny.guzmans@campusucc.edu.co), ORCID: 0000-0002-1226-1086

\*\*\* Estudiante de Ingeniería Mecánica, Universidad Cooperativa de Colombia, Semillero de investigación en energía y medio ambiente, Medellín-Colombia. Contacto: [david.salarh@campusucc.edu.co](mailto:david.salarh@campusucc.edu.co), ORCID: 0000-0001-7644-8555

\*\*\*\* Doctor en ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia, Grupo de investigación Termomec, Medellín-Colombia. Contacto: [oscar.arbelaez@campusucc.edu.co](mailto:oscar.arbelaez@campusucc.edu.co), ORCID: 0000-0001-8592-5333

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

**Abstract:**

The high production of glycerol, a low-cost by-product, from the biodiesel industry, has posed a threat to both the environment and the economy. The transformation of glycerol into value-added products would contribute positively to the biodiesel economy. In this review article, the valorization routes of glycerol are described; esterification is presented as one of the most promising routes for the transformation of glycerol in additive fuels. This review describes the most relevant results between 2010 and 2020 related to experimental conditions (temperature, molar ratio, and reaction time), heterogeneous catalysts, and catalytic activity (in terms of glycerol conversion and acetins selectivity) for the transformation of glycerol into acetins. (monoacetin, diacetin and triacetin). It is hoped that this review will allow this valuation technique to be addressed in a profitable and environmentally sustainable manner.

**Keywords:**

Renewable energy; Crude glycerol; Biodiesel; Glycerol; Monoacetin; Diacetin; Triacetin.

## 1. INTRODUCCIÓN

La urbanización y la industrialización han hecho que la energía sea considerada un factor vital para el desarrollo social y el progreso económico de la humanidad [1]. Para el año 2030, se espera que el consumo de la energía se duplique como efecto del crecimiento exponencial de la población mundial (Figura 1) [2]. El aumento en la población está ligado a la demanda continua de los combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural, diésel y petróleo), recursos dominantes para el suministro energético mundial; sin embargo, su uso provoca un aumento de las emisiones de dióxido de carbono (Figura 1) y del calentamiento global, así como la reducción de las reservas de petróleo, la inestabilidad de los precios de los combustibles, el aumento de la temperatura media en el mundo y una amenaza para la seguridad energética [3]. Asimismo, los derrames de crudo y la degradación de tierras cultivables y acuáticas, asociados con el uso de estos combustibles, lleva consigo el interés cada vez más creciente de diversos investigadores de todo el mundo en la búsqueda de fuentes energéticas alternativas que sean sostenibles y amigables con el medio ambiente [4].

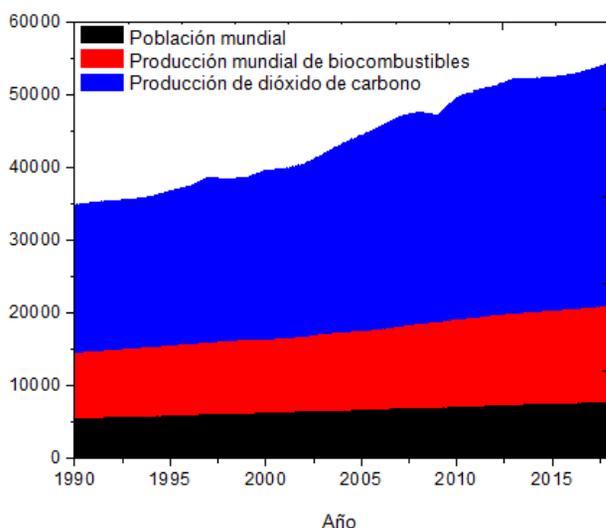


Fig. 1. Datos de la población mundial, emisiones de dióxido de carbono y producción de biocombustibles entre 1990 y 2015.

En relación con los requerimientos energéticos, las fuentes de energía primaria son el petróleo, el gas natural, el carbón, la energía hidroeléctrica, la energía solar y los biocombustibles; estos últimos, no obstante, tienen la

ventaja de que se pueden extraer a partir de la biomasa, la cual es un sustrato que suele estar uniforme y ampliamente distribuido a lo largo del mundo, no solo como biomasa no alimentaria, sino como biomasa residual [5]. Dentro de la oferta energética renovable, constituida principalmente por la energía solar, la eólica y los biocombustibles, estos últimos se catalogan como los principales suministros energéticos futuros, pues pueden usarse como energía regulable y controlada cuando el suministro de radiación solar y del viento es deficiente [6].

Los biocombustibles son candidatos prometedores para el abastecimiento de energía, de manera rentable y amigable con el medio ambiente; de hecho, su participación en la generación de energía muestra un crecimiento positivo [7] (Figura 1) y se espera que esta tendencia continúe en aumento [8]. Se considera biocombustible a cualquier forma de combustible que se derive de la transformación directa o indirecta de los recursos de biomasa [5]; los procesos de transformación de la biomasa en biocombustibles incluyen procesos de conversión biotecnológica (digestión y fermentación), termoquímicos (combustión, gasificación y pirólisis), mecánicos (extracción) y químicos (hidrólisis, hidrogenación), permitiendo su conversión en una diversidad de productos tales como biometano, bioetanol, biobutanol, biohidrógeno, biodiésel, entre otros [9].

Entre los diferentes biocombustibles, el biodiésel está ganando gran popularidad como medio alternativo cada vez más prevalente para diversas aplicaciones domésticas e industriales que satisfagan las necesidades energéticas mundiales [10]. En comparación con el diésel (llamado comúnmente petrodiesel), convencionalmente producido por destilación del petróleo, el biodiésel se produce a partir de diferentes fuentes renovables, es biodegradable, libre de azufre y benigno para el medio ambiente debido a la menor cantidad de contaminantes atmosféricos y emisiones de gases de efecto invernadero [11].

Desde las últimas dos décadas se han desarrollado distintas generaciones (de primera, segunda, tercera y cuarta) de biodiésel mediante la utilización de diversos precursores [12]. Las materias primas para la produc-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

ción de biodiésel de primera generación se derivan de fuentes empleadas en la producción de aceites comestibles, principalmente maíz, canola, trigo y girasol [13]. Los precursores para la producción de biodiésel de segunda generación incluyen fuentes de aceites no comestibles, tales como residuos lignocelulósicos, residuos forestales y bagazo [14]. El biodiésel de tercera generación es producido a partir de biomasa marina y materia prima proveniente de algas [15]. El biodiésel de cuarta generación es producido a través de algas o cianobacterias modificadas genéticamente a partir de tecnologías de biología sintética [16].

El principal factor de la globalización del biodiésel no solo se centra en su alta biodegradabilidad y baja toxicidad, sino también en su compatibilidad con los motores diésel, sin necesidad de modificaciones mecánicas [17]. En comparación con el diésel, el biodiésel es un combustible oxigenado, libre de parafinas y grupos aromáticos, con un mayor índice de cetano y una menor emisión de gases contaminantes [18]. Asimismo, tiene un menor efecto en el clima global y en la salud humana, convirtiéndose en una solución de energía renovable y sostenible [19]. Un análisis comparativo entre las propiedades del diésel y el biodiésel se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Análisis comparativo entre las propiedades del diésel y el biodiésel [20], [21], [22].

Parámetro	Diésel	Biodiésel
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	840	880
Contenido de oxígeno (%p/p)	0	11
Contenido de parafinas (%p/p)	67.6	0
Contenido de azufre (mg/kg)	<10	<1
Índice de cetano (%)	40	50-65
Punto de enturbiamiento (°C)	-5	-5-15
Emisiones de CO <sub>2</sub> (g/MJ)	80	60
Emisiones de CO (g/MJ)	1.52	0.69
Emisiones de NOx	*	+10
Emisiones de MP (g/MJ)	0.019	0.0083
Emisiones de SO <sub>2</sub> (g/MJ)	+5	*
Punto de fluidez (°C)	-36 a -30	-28 a -18
Viscosidad (mm <sup>2</sup> /s) **	2.0-4.5	1.9 - 6.0
Poder calorífico (MJ/Kg)	42.0-45.9	34.4-45.2

MP: Material particulado, \*comparado con el diésel. +en exceso. \*\*viscosidad cinemática a 40°C.

La Tabla 1 muestra que las emisiones de gases contaminantes como monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre y material particulado son menores en el biodiésel que en el diésel; sin embargo, tal como se indica, el biodiésel tiene un menor poder calorífico que el diésel convencional.

También se ha reportado que los parámetros de rendimiento del motor diésel como la potencia, el par al frenado, la eficiencia térmica de frenado y el consumo de combustible específico de la rotura se mejoran con el uso del biodiésel [23]. El principal inconveniente del biodiésel, en comparación con el diésel, es su alto punto de fluidez y enturbiamiento, su elevada viscosidad, la mayor emisión de óxidos de nitrógeno, su menor volatilidad, su menor contenido energético y sus malas características de pulverización [24]. Para disminuir los problemas relacionados con el uso del biodiésel se han propuesto diferentes alternativas como la modificación de las materias primas, el uso de aditivos, las modificaciones en el motor y las diferentes rutas de producción de biodiésel, que incluyen la pirólisis, la microemulsificación, la dilución y la transesterificación. Las principales estrategias sintéticas para la producción de biodiésel (pirólisis, micro emulsificación, dilución y transesterificación) se muestran en la Figura 2.

La pirólisis permite la desintegración térmica (entre 400-700 °C) de la biomasa proveniente de grasas animales, aceites vegetales, triglicéridos naturales y ésteres metílicos de ácidos grasos en productos gaseosos (alcanos, alquenos, compuestos aromáticos y ácidos carboxílicos) y líquidos con propiedades similares a los combustibles diésel [25]. Sin embargo, este método presenta altos costos económicos y elevados requerimientos energéticos; asimismo, la obtención de biodiésel mediante esta metodología genera un combustible con un número de cetano, una viscosidad, un punto de inflamación y una fluidez más baja que el diésel, pero con un poder calorífico similar [26]. La microemulsificación permite la dispersión en equilibrio termodinámico de microestructuras (1-50 nm) formadas a partir de líquidos inmiscibles, tales como aceites vegetales y un éster o aceites vegetales y alcoholes (metanol, etanol, butanol, hexanol, principalmente) con la adición de

un tensoactivo, de un codisolvente y un mejorador de cetano. La microemulsificación permite reducir la alta viscosidad de los triglicéridos [27]. La dilución no es propiamente un proceso químico, este implica la adición de diésel a los triglicéridos para reducir la viscosidad y mejorar el rendimiento del motor, y trae consigo diversos inconvenientes tales como un alto contenido de ácidos grasos libres en la solución formada y polimerización durante el almacenamiento [28]. En comparación con las demás metodologías, se ha reportado que la transesterificación es el método más utilizado y favorable en términos económicos para la producción de biodiésel a nivel industrial [29].

La transesterificación, conocida comúnmente como alcoholólisis de ácidos grasos libres, es una reacción química entre un aceite (presente en grasas animales, aceites vegetales, aceites de cocina usados o aceite de algas) y un alcohol de bajo peso molecular (típicamente metanol o etanol) en presencia de un catalizador de naturaleza homogénea o heterogénea y de carácter ácido o básico, formando biodiésel mientras se produce glicerol como un subproducto, tal como se muestra en la Figura 3.

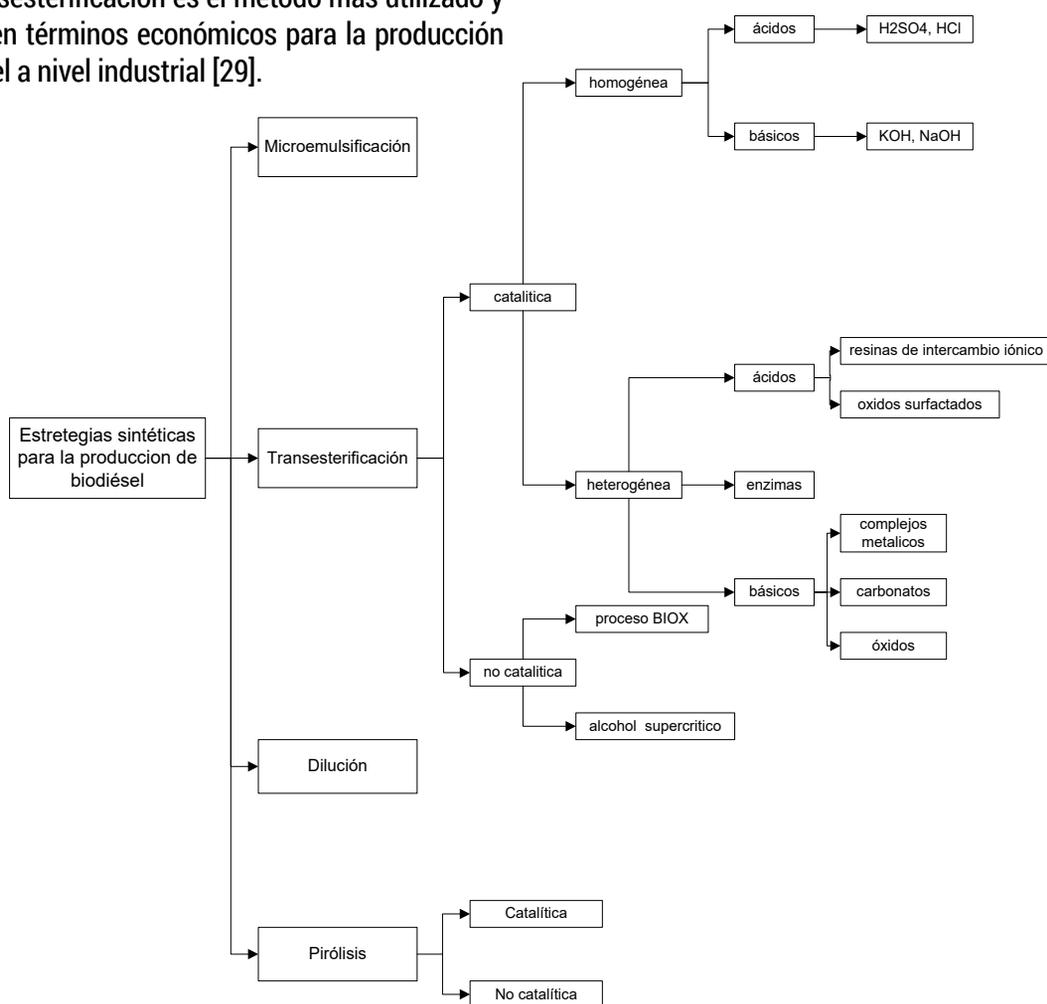


Fig. 2. Metodologías sintéticas para la producción de biodiésel.



R: Cadena carbonada  
 R' = H (Metanol), CH<sub>3</sub> (Etanol)

Fig. 3. Reacción general de transesterificación.

El glicerol, conocido comercialmente como glicerina, es un líquido incoloro, inodoro y viscoso. Acorde con la IUPAC, su nombre es 1,2,3-propanotriol, es miscible en todas las proporciones con agua, de naturaleza higroscópica procedente de los tres grupos hidroxilo, y comercialmente tiene una pureza superior al 95 %

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

[30]. Acorde a las relaciones estequiométricas, en la reacción de esterificación (Figura 3) aproximadamente el 10 % (porcentaje peso a peso) de glicerol se forma como subproducto principal en la producción de biodiésel. Se espera que el mercado mundial de biodiésel alcance los 120 mil millones de galones para el 2025, lo que implica que se producirían aproximadamente 12 mil millones de galones de glicerol crudo, lo que definitivamente afectará el mercado de glicerol [31].

Como referencia, el precio del glicerol purificado es bastante bajo, aproximadamente \$0.30 por libra (comparado con \$0.70 antes de la expansión de la producción de biodiésel) en los Estados Unidos. En consecuencia, el precio mundial del glicerol crudo disminuyó dolorosamente desde alrededor de \$0.25 por libra a \$0.05 por libra [32]. Por tanto, el factor clave para la producción de biodiésel radica en utilizar un proceso sostenible para valorizar esta materia prima orgánica que garantice un futuro económicamente viable. El glicerol purificado es un producto químico comercial de alto valor con miles de usos que presenta grandes oportunidades para nuevas aplicaciones en la industria.

Acorde a la creciente demanda mundial de la producción de biodiésel, el exceso de suministro de glicerol tiene un efecto significativo en la oferta y la demanda de este último, lo que resulta en una disminución de su precio, por tanto, los procesos de valorización del glicerol adquieren gran interés por la comunidad científica y merecen ser analizados.

El objetivo de esta revisión es recopilar información sobre los últimos avances en la valorización de glicerol y se centrará específicamente en aquellos productos que se puedan utilizar como aditivos. En las secciones 2 y 3 se discutirán las propiedades y las estrategias de valorización del glicerol, respectivamente. En la sección 4 se presenta una recopilación de artículos que abordan el análisis de la transformación catalítica de glicerol en acetinas incluyendo las condiciones de reacción, los reactivos, las propiedades físicas y químicas de los catalizadores y la actividad catalítica (en términos de la conversión y la selectividad). Asimismo, se discuten

los hallazgos de la literatura y se identifican las áreas desafiantes, tratando de abordar de manera integral los problemas adecuados para futuras investigaciones.

Esta revisión inició con la búsqueda bibliográfica en Science Direct, ProQuest y Springer, seleccionando documentos tipo artículos en inglés, publicados entre enero 2010 y septiembre del 2020. En la revisión se utilizaron las palabras clave: biodiésel, acetín, monoacetin, diacetin, triacetin, diesel engine, emission analysis, glycerol y acetylation. El criterio de selección de los artículos se realizó por los títulos, posteriormente por el resumen, excluyéndose los artículos que no abordaban la producción de acetinas como aditivo para combustibles.

### Clasificación y propiedades físico químicas del glicerol

El glicerol se clasifica como natural o sintético. El glicerol natural se deriva de la división a alta presión de agua y grasa, mientras que el glicerol sintético se deriva de la oxidación y cloración del propileno [33]. El glicerol sin ningún tratamiento químico o purificación está en forma cruda, mientras que después de la purificación está en forma pura. La pureza del glicerol crudo es del 60 al 80 %, mientras que el sintetizado tiene una pureza del 100 %. Asimismo, el glicerol crudo contiene una gran cantidad de impurezas como alcohol, sales orgánicas e inorgánicas, metales pesados, agua, jabón, trazas de mono y diglicéridos, materia orgánica no glicerol, grasas de ésteres de ácido, ácidos grasos libres, polioles y cenizas [34]. Las propiedades fisicoquímicas del glicerol puro y sintetizado se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físico-químicas del glicerol [35].

Propiedad	Glicerol	
	crudo	sintetizado
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1.01 – 1.2	1.31
pH	2.0-10.8	6.4
Viscosidad (mPa.s)	1213	930
Color	Marrón	inoloro
Contenido de glicerol (%)	23-63	>98

El glicerol es un alcohol de baja toxicidad que consta de una cadena de tres carbonos con un grupo hidroxilo unido a cada carbono, estos grupos funcionales son responsables de que el glicerol sea higroscópico y soluble en agua. El glicerol tiene baja volatilidad, baja presión de vapor y no es tóxico para los seres humanos ni para el medio ambiente [36]. Debido a su estructura con hidroxilos polifuncionales, el glicerol se convierte en precursor para la elaboración de plásticos, resinas y otros productos valiosos para su uso en la industria de polímeros, agroquímicos y productos farmacéuticos, asimismo puede ser utilizado como humectante en la elaboración de dulces, carnes y quesos, y también como solvente, edulcorante y conservante en bebidas y alimentos [37].

Las propiedades del glicerol, tales como la inmiscibilidad con el diésel, lo hacen inadecuado para la mezcla de combustibles; además, a temperaturas elevadas el glicerol se polimeriza y una fracción de este se libera como acroleína tóxica por oxidación. Estos in-

convenientes han llevado a la búsqueda de nuevas vías alternativas para valorizar el biodiésel en productos químicos de valor añadido que se sintonicen dentro del ciclo productivo generando una industria energética sostenible y respetuosa con el medio ambiente [38]. En la siguiente sección se detallan algunas de las estrategias de valorización del glicerol.

### Estrategias de valorización del glicerol

El glicerol tiene una amplia gama de aplicaciones en la elaboración de cosméticos, productos farmacéuticos y alimentos, sin embargo, estas aplicaciones del glicerol no permiten absorber la gran cantidad producida. Para absorber la elevada producción de glicerol, se ha investigado exhaustivamente la conversión de glicerol en productos valiosos [39], mediante reacciones de oxidación [40], esterificación, deshidratación [41], eterificación [42] y reformado [43], las cuales se muestran en la Figura 4.

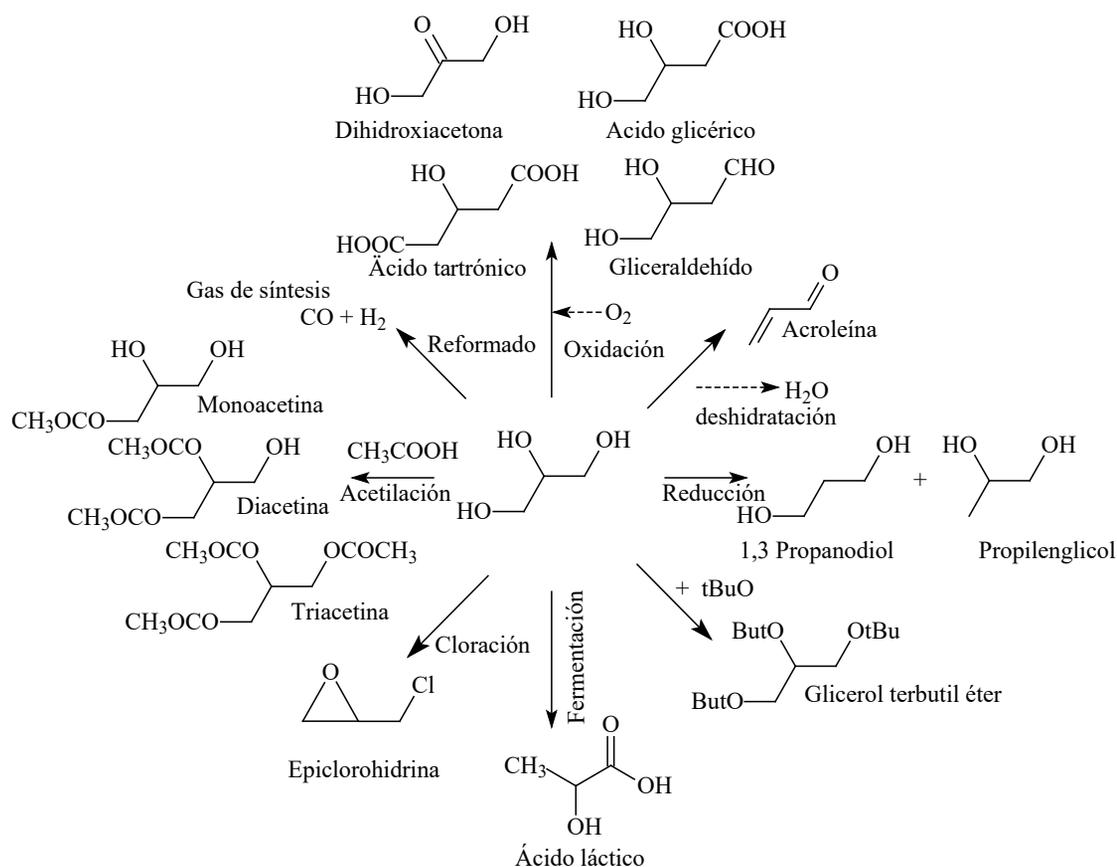


Fig. 4. Estrategias sintéticas de valorización del glicerol.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

Tal como se muestra en la Figura 4, el glicerol es una molécula de gran potencial de funcionalización que ofrece numerosas oportunidades de conversión química o bioquímica para producir un elevado abanico de productos químicos. Las aplicaciones de los diferentes productos obtenidos a partir de la valorización del glicerol se detallan en la Tabla 4.

Entre las reacciones mostradas en la Figura 4, la esterificación es una de las rutas más prometedoras para la transformación del glicerol. Cuando la esterificación se lleva a cabo con ácido acético se conoce como acetilación, la cual acontece en tres reacciones de equilibrio consecutivas para producir monoacetina, diacetina y triacetina, respectivamente, tal como se muestra en la

Figura 5. En cada etapa también se produce agua como subproducto en cada reacción [44]. La monoacetina, llamada también glicerol monoacetina, se utiliza en la elaboración de explosivos, en el curtido de cueros, como solvente para tintes y como aditivo en la industria de alimentos [45]. La diacetina se emplea como suavizante, plastificante, tinta para imprentas, solvente y como materia prima para la producción de poliéster [46]. La triacetina es uno de los productos de mayor potencial, esta se utiliza en la industria de alimentos, cosméticos y como aditivo de los combustibles, mejorando el índice de octano, y se conoce como agente anti-oclusivo. Asimismo, la adición de triacetina al biodiésel mejora su viscosidad y disminuye sus puntos de enturbiamiento y fluidez [47].

**Tabla 3.** Aplicación de los productos de valorización del glicerol.

Compuesto	Aplicaciones	Referencia
Dihidroxiacetona	Es utilizada como monómero en la industria de biopolímeros, cosmética, farmacéutica y de la química fina. Además, es utilizada como precursor en la preparación de bloqueadores solares, medicamentos y alimentos.	[48]
Ácido glicérico	Se emplea como precursor para la producción de agentes tensoactivos funcionales y monómeros de oligoésteres y polímeros.	[49]
Ácido tartrónico	Es utilizado como fármaco para el tratamiento de la osteoporosis, como agente anticorrosivo y protector para prevenir la descomposición oxidativa en la industria alimentaria y la corrosión en calderas, así como en otras aplicaciones de alta temperatura.	[49]
Gliceraldehído	Se emplea en la preparación de poliésteres y adhesivos como modificador de celulosa y en el curtido de cueros.	[50]
Acroleína	Se usa para la producción de acrílicos super absorbentes, aminoácidos y ésteres de ácido acrílico. También se emplea como pesticida y microbicida en pozos de petróleo, torres de enfriamiento y tanques de tratamiento de agua.	[51]
1,3-Propanodiol	Se utiliza en la industria farmacéutica, alimentaria y textil, así como en la elaboración de productos de limpieza y cuidado personal. Asimismo, tiene aplicaciones como polímero balístico transparente.	[52]
Propilenglicol	A nivel industrial se utiliza como humectante, anticongelante, disolvente, tensoactivo, disolvente, conservante y en formulaciones para la preparación de detergentes.	[53]
Glicerol terbutil éter	Es usado como aditivos en motores de combustión diésel, permitiendo aumentar su calidad y disminuir la emisión de partículas.	[54], [55]
Epiclorohidrina	Se emplea en la fabricación de elastómeros, almidón alimentario reticulado, tensoactivos, plastificantes, colorantes, emulsionantes de aceite, lubricantes y adhesivos; también como solvente para resinas, celulosa, ésteres, pinturas y lacas.	[56]
Monoacetina	Es usada para la fabricación de dinamita, el curtido de cueros, como materia prima para la producción de poliéster biodegradable y como aditivo alimentario.	[57]
Diacetina	Es usada como disolvente para tintes, agente suavizante y aditivo plastificante. También se utiliza como agente antifúngico en medicina externa para el tratamiento tópico de las infecciones micóticas superficiales de la piel.	[57]
Triacetina	Es usada como aditivo antidetonante para gasolina y para mejorar las propiedades de frío y viscosidad del biodiésel. Es utilizada en la producción de películas fotográficas, biocida cosmético, plastificante, solvente en fórmulas cosméticas y aditivo alimentario.	[57]
Ácido láctico	Es usado como materia prima en la industria farmacéutica, textil y de cosméticos. Se emplea como conservante, acidulante e inhibidor del deterioro bacteriano. También muestra un gran potencial en la producción de polímeros biodegradables de ácido poliláctico.	[58][59]

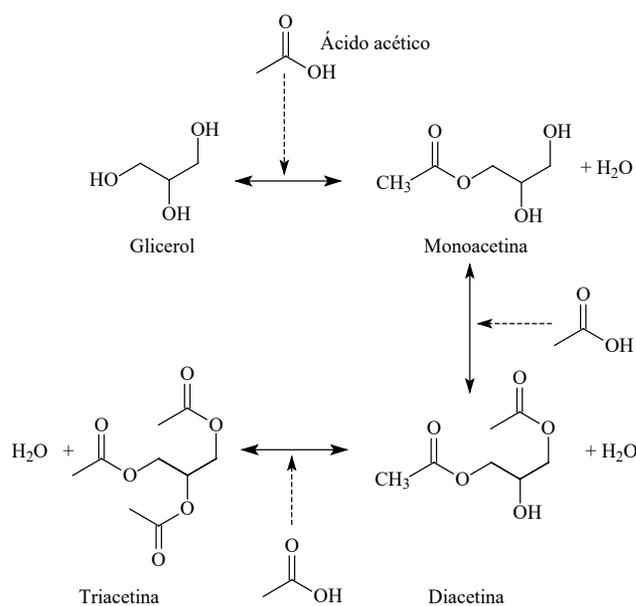


Fig. 5. Reacción general para la producción de monoacetina, diacetina y triacetina.

El biodiésel que utiliza 10 % de triacetina como aditivo ha dado como resultado una reducción de las emisiones de los óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, de hecho, el uso de este aditivo disminuye el humo de escape del motor debido a la reducción de moléculas de carbono en la mezcla de combustible [60]. Asimismo, se ha reportado que la adición de triacetina hasta 10 % en peso aumenta ligeramente la densidad y disminuye el punto de congelación y la viscosidad cinemática del biodiésel. La triacetina (C<sub>9</sub>H<sub>14</sub>O<sub>6</sub>) es un buen aditivo antidetonante y es fácilmente soluble en biodiésel, además tiene el beneficio de suprimir los golpes del motor, mejorar el rendimiento y reducir las emisiones por el tubo de escape [61].

La transformación de glicerol en triacetina es un procedimiento existente que debería ser estudiado con el propósito de aumentar su rendimiento, para de esta manera aumentar el procesamiento de grandes cantidades de glicerol de una forma más efectiva desde el punto de vista económico y ambiental. Una de las desventajas de la acetilación de glicerol es la baja selectividad hacia la triacetina, además de la separación de las acetinas, las cuales tienen puntos de ebullición cercanos. La utilización de anhídrido acético, en lugar de áci-

do acético, ha permitido mejorar la selectividad hacia la triacetina, sin embargo, el anhídrido acético tiene un costo más elevado y un mayor potencial de explosión [62]. Otro adelanto importante para mejorar la selectividad hacia la triacetina es sintetizar catalizadores selectivos, catalíticamente activos y con buena capacidad de reutilización. Existen diferentes reportes sobre la acetilación catalítica entre glicerol y ácido acético catalizada por ácidos homogéneos como ácido sulfúrico, ácido fluorhídrico y ácido para-toluenosulfónico, sin embargo, estos compuestos son extremadamente tóxicos y su separación de la mezcla de reacción requiere procesos adicionales que demandan altos costos y elevado gasto de energía [63]. Además, se ha informado que en un proceso a nivel industrial, la alta corrosión de los equipos, la alta toxicidad para el medio ambiente y la dificultad de reciclaje de los catalizadores son los mayores inconvenientes de estos catalizadores [64].

En contrapartida a los sistemas homogéneos, los catalizadores heterogéneos como resinas de intercambio iónico, heteropolíácidos soportados, zeolita, zirconia sulfatada, sílice ácida, amberlyst-15, sílice mesoestructurada sulfónica y catalizadores de óxidos mixtos [65], no solo muestran una mayor actividad catalítica para la transformación de glicerol en acetinas, sino que también se consideran más amigables con el medio ambiente. Se ha reportado que la acidez, el área superficial y la morfología del catalizador, desempeñan un papel de vital importancia en la tasa de conversión de glicerol y en la selectividad hacia la monoacetina (MAG), la diacetina (DAG) y la triacetina (TAG) [66] a partir de ácido acético y anhídrido acético [67]. Las condiciones experimentales, el tipo de sustrato, el tipo de catalizador, se presentan en la siguiente sección.

### Producción de triacetina a partir de glicerol

En una reacción típica de síntesis de acetinas, el catalizador sólido se mezcla con solución de glicerol y ácido acético (o anhídrido acético) y se mantiene en un baño de aceite a la temperatura de reacción requerida. El sis-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

tema se somete a agitación continua durante el tiempo estimado de reacción. Los productos se analizan generalmente por cromatografía de gases.

Como se puede observar en la Figura 5, la reacción de acetilación de glicerol con ácido acético para sintetizar MAG, DAG y TAG es una reacción de equilibrio. Por tanto, los parámetros de reacción como la temperatura,

la concentración inicial de reactivos y la dosificación del catalizador pueden desplazar la reacción hacia la formación de productos. La Tabla 4 muestra las condiciones de reacción (temperatura, relación de precursores y tiempo de reacción), la conversión y la selectividad hacia la monoacetina, la diacetina y la triacetina producidas a partir de glicerol en presencia de diferentes catalizadores.

**Tabla 4.** Condiciones de reacción, conversión y selectividad hacia los productos en la preparación de monoacetina (MAG), diacetina (DAG) y triacetina (TAG).

Ent.	Sustrato	Catalizador	g <sub>glic</sub> /g <sub>sust</sub> /g <sub>cat</sub>	T (K)/t(h)	X <sub>g</sub> (%)	Selectividad			Ref.
						MAC	DAC	TAC	
1	Anhídrido acético	Sin catalizador	1.5/8.39/0.05	353/0.5	49	48	46	6	[68]
2	Anhídrido acético	Fe-Sn-Ti(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> -0 <sup>a</sup>	1.5/8.39/0.05	353/0.5	58	83	17	0	
3	Anhídrido acético	Fe-Sn-Ti(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> -400 <sup>a</sup>	1.5/8.39/0.05	353/0.5	100	0	1	99	
4	Anhídrido acético	Fe-Sn-Ti(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> -500 <sup>a</sup>	1.5/8.39/0.05	353/0.5	99	0	3	97	
5	Anhídrido acético	Fe-Sn-Ti(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> -600 <sup>a</sup>	1.5/8.39/0.05	353/0.5	99	0	4	96	
6	Anhídrido acético	Fe-Sn-Ti(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> -700 <sup>a</sup>	1.5/8.39/0.05	353/0.5	68	82	17	1	
7	Anhídrido acético	Sn-B	1.5/8.39/0.05	353/0.5	89	59	37	4	
8	Anhídrido acético	HZSM-5	1.5/8.39/0.05	353/0.5	99	14	62	24	
9	Anhídrido acético	Amberlyst-15	1.5/8.39/0.05	353/0.5	99	0	1	99	
10	Anhídrido acético	Fe-Sn-Ti(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> -400 <sup>b</sup>	1.5/8.39/0.05	353/0.5	99	13	61	26	
11	Ácido acético	Sin catalizador	13/72/1.5	398/24	47.7	82.1	16.7	1.2	
12	Ácido acético	MCM-41	13/72/1.5	398/24	70.5	76.4	19.8	3.8	
13	Ácido acético	HZSM-5	13/72/1.5	398/24	88.2	76.1	15.7	8.2	[69]
14	Ácido acético	ZM	13/72/1.5	398/24	92.6	55.9	23.4	20.7	
15	Ácido acético	H-ZM	13/72/1.5	398/24	100	0.2	17.9	81.9	
16	Ácido acético	Sin catalizador	10/39.16/0.5	378/4	52.2	84.6	15.4	0	
17	Ácido acético	Amberlyst-15 <sup>c</sup>	10/39.16/0.5	378/4	100	1.5	54.2	44.3	
18	Ácido acético	Amberlyst-70 <sup>c</sup>	10/39.16/0.5	378/4	100	2.5	51.7	45.8	[70]
19	Ácido acético	Amberlyst-70 <sup>d</sup>	10/39.16/0.5	378/4	97	30.4	60.3	9.3	
20	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/10/0.08	333/5	69.4	100	--	--	[71]
21	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/10/0.08	353/5	78.9	71.1	5.1	23.8	
22	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/10/0.08	373/5	80.9	72.8	2.5	24.6	
23	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/10/0.08	383/5	83.4	68.3	18.5	13.2	
24	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/10/0.08	393/5	80.5	65.6	16.8	17.6	
25	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/5/0.08	383/5	76.3	84.8	12.3	2.9	
26	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/10/0.08	383/5	83.4	68.3	18.5	13.2	
27	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/15/0.08	383/5	81.2	55.3	28.0	17.7	
28	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/20/0.08	383/5	80.4	43.9	26.0	30.1	
29	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/25/0.08	383/5	85.7	32.5	24.3	43.2	
30	Ácido acético	RHS	1/10/0.1	383/5	76.8	89.4	10.6	0	
31	Ácido acético	10Cu/RHS-Al	1/10/0.1	383/5	83.8	68.3	21.1	10.6	
32	Ácido acético	1Ag-10Cu/RHS-Al	1/10/0.1	383/5	97.5	3.7	58.4	37.9	

continúa en la página siguiente

continúa en la página anterior

33	Ácido acético	10Ag-10Cu/RHS-Al	1/10/0.1	383/5	100	2.4	46.3	51.3	
34	Ácido acético	Sin catalizador	1/6/0.6	393/5	91.71	25.41	58.08	14.42	[72]
35	Ácido acético	P400S	1/6/0.6	393/1	90.52	13.82	55.09	30.68	
36	Ácido acético	P400S	1/6/0.6	393/3	98.86	11.52	45.26	42.30	
37	Ácido acético	P400S	1/6/0.6	393/5	96.18	9.93	50.59	38.44	
36	Ácido acético	P800S	1/6/0.6	393/3	98.89	5.72	36.18	55.60	
37	Ácido acético	PT400S <sup>b</sup>	1/6/0.6	393/3	99.05	9.78	53.29	36.69	
38	Ácido acético	PT800S <sup>c</sup>	1/6/0.6	393/3	96.04	33.40	55.50	9.28	
39	Ácido acético	CACS	1/6/0.6	393/3	97.31	23.85	59.69	15.64	
40	Ácido acético	Amberlyst-15	1/6/0.6	393/3	98.09	6.92	51.01	41.56	
41	Ácido acético	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1/6/0.6	393/3	86.55	5.81	16.71	62.62	
42	Ácido acético	Sin catalizador	1/3/0	363/3	n.r	94.8	5.1	0.07	[73]
43	Ácido acético	UiO-66	1/3/n.r	363/3	n.r	87	12.2	0.45	
44	Ácido acético	UiO-66/AC0.1	1/3/n.r	363/3	n.r	55.3	43.4	1.3	
45	Ácido acético	UiO-66/AC0.2	1/3/n.r	363/3	n.r	76.1	22.5	1.3	
46	Ácido acético	UiO-66/AC0.3	1/3/n.r	363/3	n.r	89.3	9.3	1.2	
47	Ácido acético	UiO-66/AC0.1-10 %	1/3/n.r	363/3	n.r	92.1	6.6	0.5	
48	Ácido acético	UiO-66/AC0.1+10 %	1/3/n.r	363/3	n.r	67.3	31.3	1.4	
49	Ácido acético	ZrO <sub>2</sub>	6/1	313/3	4.67	100	0	0	[74]
50	Ácido acético	ZrO <sub>2</sub>	6/1	353/3	30.96	95.44	4.52	0	
51	Ácido acético	ZrO <sub>2</sub>	6/1	393/3	86.32	57.94	36.67	5.39	
52	Ácido acético	ZrO <sub>2</sub>	5/1	393/3	82.32	64.91	30.75	4.34	
53	Ácido acético	ZrO <sub>2</sub>	4/1	393/3	79.71	70.91	25.40	3.69	
54	Ácido acético	TiO <sub>2</sub> -ZrO <sub>2</sub>	6/1	393/3	91.53	54.72	34.90	5.88	
55	Ácido acético	WTZ	6/1	393/3	99.02	53.21	40.01	6.78	
56	Ácido acético	MTZ	6/1	393/3	100	52.03	40.45	7.52	
57	Ácido acético	SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1/3.92/0.05	353/8	71	88.50	11.20	0.30	[75]
58	Ácido acético	HUSY	1/3.92/0.05	353/8	94	72.7	25.7	1.6	
59	Ácido acético	PrSO3H-SBA15	1/3.92/0.05	353/8	100	15.8	64.6	19.6	
60	Ácido acético	HPMo/SBA15	1/3.92/0.05	353/8	96	77.1	22	0.9	
61	Ácido acético	HPMo/Nb205	1/3.92/0.05	353/8	87	81.8	17.5	0.7	
62	Ácido acético	SO3H-SBA15	1/3.92/0.05	353/8	100	11.1	61.9	27	
63	Ácido acético	SO3H-Cell	1/3.92/0.05	353/8	81	84.7	14.8	0.5	
64	Ácido acético	SCZ	1/3.92/0.05	353/8	81	84.7	14.8	0.5	
65	Ácido acético	K10	1/12/0.4	293/5	56	41	11	0.4	[76]
66	Ácido acético	10 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -K10	1/12/0.4	293/5	86	38	33	5	
67	Ácido acético	20 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -K10	1/12/0.4	293/5	99	23	59	15	
68	Ácido acético	AC-SA5	1/5.2/0.8	333/3	27	77	5	0	[77]
69	Ácido acético	AC-SA5	1/5.2/0.8	348/3	46	69	17	5	
70	Ácido acético	AC-SA5	1/5.2/0.8	363/3	59	62	24	11	
71	Ácido acético	AC-SA5	1/5.2/0.8	378/3	81	45	27	28	
72	Ácido acético	AC-SA5	1/5.2/0.8	393/3	91	38	28	34	
73	Ácido acético	AC-SA5	1/5.2/0.8	408/3	91	37	29	34	

continúa en la página siguiente

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

continúa en la página anterior

74	Ácido acético	AC-SA5 <sup>e</sup>	1/3.3/0.8	393/3	72	44	35	21
75	Ácido acético	AC-SA5 <sup>f</sup>	1/3.9/0.8	393/3	72	41	34	35
76	Ácido acético	AC-SA5 <sup>g</sup>	1/4.6/0.8	393/3	78	38	31	31
77	Anhídrido acético	GBC	1/0.4/0.02	373/3	97	51	46	3 [78]
78	Anhídrido acético	GBC	1/0.4/0.02	378/3	98	31	50	19
79	Anhídrido acético	GBC	1/0.4/0.02	383/3	98.5	15	45	43
80	Anhídrido acético	GBC	1/0.4/0.02	388/3	99	16	46	42
81	Anhídrido acético	GBC	1/0.4/0.02	393/3	100	3	38	59
82	Ácido acético	CA	1/3.9/0.05	393/1	59.1	88.1	11.6	0.1 [79]
83	Ácido acético	CZ	1/3.9/0.05	393/1	68.1	75.2	22.7	2.1
84	Ácido acético	SCA	1/3.9/0.05	393/1	79.7	58.9	35.5	5.6
85	Ácido acético	SCZ	1/3.9/0.05	393/1	100	25.8	57.7	16.5
86	Anhídrido acético	Sin catalizador	1/4.43/0	333/2	100	10	56	34 [80]
87	Anhídrido acético	Sin catalizador	1/4.43/0	393/2	100	0	6	94
88	Anhídrido acético	H-Beta	1/4.43/2	333/2	100	0	0	100
89	Anhídrido acético	Ni(PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	1/4.43/2	333/2	100	10	56	34
90	Anhídrido acético	Ni(PO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	1/4.43/2	393/1.3	100	0	0	100

<sup>a</sup> 400, 500, 600, 700, representa la temperatura de calcinación, carga metal 2.5 %.<sup>b</sup> Con adición de agua (1 mL) en la mezcla de reacción.<sup>c</sup> En presencia de tolueno como arrastre del producto.<sup>d</sup> Con remoción de agua del sistema de reacción. n.r.: no reportado.g<sub>glic</sub>/g<sub>sust</sub>/g<sub>cat</sub>: gramos de glicerol/gramos de sustrato/gramos de catalizador, T: temperatura de reacción, t: tiempo de reacción.

Tal como muestra la Tabla 4, se puede observar que cuando se utiliza anhídrido acético (entradas 1, 86 y 87) o ácido acético (entradas 11, 16, 34 y 42) como sustratos, el glicerol puede ser transformado en mono, di y triacetina en ausencia del catalizador; de hecho, este comportamiento registrado por el blanco probablemente esté relacionado con el efecto auto catalítico del ácido acético, el cual promueve la acidez del medio de reacción, sin embargo, la conversión del glicerol es menor que cuando se utiliza catalizador. Asimismo, se puede observar que, en ausencia del catalizador, la monoacetina es el producto principal de la reacción y se genera una menor selectividad hacia la triacetina. La Tabla 4 muestra que en presencia de anhídrido acético, un aumento de la temperatura de reacción de 333 K (entrada 86) a 393 K (entrada 87) favorece la selectividad hacia la triacetina y disminuye la selectividad hacia la monoacetina.

Con el uso del catalizador Fe-Sn-Ti (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-0 (no calcinado) se alcanza una conversión del 58 % y una selectividad del 83 % de monoacetina (entrada 2), sin

embargo, no se favorece la formación de la triacetina. Cuando se lleva a cabo la reacción en presencia de Fe-Sn-TiSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-400, Fe-Sn-TiSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-500 y Fe-Sn-TiSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-600 (entradas 3, 4 y 5, respectivamente) se mejora la conversión con respecto al catalizador no calcinado (58 %), alcanzando conversiones entre el 99 % y el 100 %. El aumento en la temperatura de calcinación mejora la selectividad hacia la triacetina, de hecho, esta pasa de cero para el catalizador no calcinado a valores entre 96 % y 99 % para los catalizadores calcinados. Sin embargo, también se puede observar que la conversión de glicerol se reduce hasta un 68 % y la monoacetina se convierte en el producto principal (82 % de selectividad) en presencia del catalizador Fe-Sn-TiSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-700. Los autores atribuyen este comportamiento a la presencia de casiterita (detectada por DRX) en los materiales Fe-Sn-TiSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-400, Fe-Sn-TiSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-500 y Fe-Sn-TiSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-600, la cual se genera por la sinergia entre el Sn y el Fe y está asociada con la promoción de la estructura de súper ácido de estos catalizadores, mejorando la actividad de los mismos, de hecho este efecto cooperativo no se observó en el material no calcinado,

ni en el catalizador Sn-TiSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-700. Además, según los resultados de las mediciones de NH<sub>3</sub>-TPD, la cantidad de ácido en el Fe-Sn-Ti-(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)-700 fue menor que en los demás catalizadores calcinados. Este comportamiento permitió concluir a los autores [68] que la actividad catalítica está estrechamente relacionada con la fuerza ácida del catalizador. Cuando la reacción se lleva a cabo en presencia de catalizadores ácidos comunes tales como Sn-B, HZSM-5 (entradas 7 y 8) se desfavorece la selectividad hacia la triacetina, mientras que los catalizadores de mayor acidez (comprobada por estudios de NH<sub>3</sub>-TPD), tales como Amberlyst-15 (entrada 9) y H-Beta (entrada 84), mejoran la selectividad hacia la triacetina. El efecto de la adición de agua (entrada 10) fue estudiado cuando la reacción se lleva a cabo empleando como sustrato anhídrido acético, donde se pudo comprobar que la adición de agua resulta ser desventajosa para la producción de triacetina, de hecho, la selectividad disminuye hasta un 26 %.

La Tabla 4 muestra la actividad catalítica del MCM-41 (entrada 12), HZSM-5 (entrada 13), ZM (entrada 14) y H-ZM (entrada 15). Los resultados de la actividad catalítica permiten verificar la importancia de la acidez del catalizador, de hecho, el excelente comportamiento del catalizador H-ZM en la formación de acetinas se atribuyó al efecto sinérgico entre la elevada acidez y estabilidad derivada de la estructura compuesta de H-ZM que integra eficazmente las ventajas del tamiz molecular microporoso HZSM-5 y el tamiz molecular mesoporoso MCM-41. Estos méritos del catalizador H-ZM proporcionan numerosos sitios ácidos, una gran superficie específica y un entorno de reacción confinado para la síntesis directa de TAG mediante la acetilación del glicerol.

Los resultados de la tabla muestran que la acetilación de glicerol en presencia de tolueno como un agente de arrastre sobre resinas ácidas de intercambio iónico Amberlyst-15 (entrada 17) y Amberlyst-70 (entrada 18), promueve una conversión completa del glicerol y selectividades hacia la triacetina del 44.3 % y 45.8 %, respectivamente. La actividad reportada en estos catalizadores se explica en términos tanto de los sitios ácidos de Brønsted fuertes de estos catalizadores, como del

uso de tolueno como agente de arrastre para eliminar el agua formada. En comparación con el fuerte impacto de estas dos características, las diferencias intrínsecas en las propiedades del catalizador fueron claramente superadas en número por el efecto beneficioso de la remoción de agua (entrada 19).

El efecto de la temperatura de reacción en la conversión del glicerol sobre el catalizador 1Ag-10Cu/RHS-Al se muestra en las entradas 20 a 24. De los resultados se observa que en el rango de temperaturas entre 333 K y 383 K, la conversión del glicerol aumenta con la temperatura, sin embargo, a mayores temperaturas (393 K, entrada 24) se reduce la conversión. Asimismo, se muestra un incremento en la formación de diacetina y triacetina. De los resultados encontrados se infiere que la formación de triacetina aumenta en un rango de temperatura optimizado entre 353-373 K; mientras que por encima de 373 K la formación de triacetina se reduce drásticamente. La selectividad de la formación de diacetina es muy baja a la temperatura inicial y aumenta con la temperatura de reacción optimizada, por tanto se puede concluir que la conversión y la selectividad son función de la temperatura. Para este mismo sistema catalítico, el estudio de la relación molar ácido acético a glicerol (entrada 25 a 28) muestra una mejor actividad catalítica (en términos de la conversión y de la selectividad) con una relación glicerol/ácido acético alta. Un aumento en la relación glicerol/ácido acético aumenta la selectividad hacia la diacetina y la triacetina y disminuye la selectividad de la monoacetina.

La evaluación del efecto de tiempo de reacción sobre catalizadores P400S (entradas 35 a 37) mostró que a medida que aumenta el tiempo de reacción disminuye la selectividad hacia la monoacetina, lo cual significa que la MA continúa transformándose en DA y posteriormente en TA. Este comportamiento se ha atribuido a la protonación del átomo de oxígeno del carbonilo del ácido acético y al ataque nucleofílico del glicerol para formar un ion acilio intermedio en la superficie del catalizador que favorece los posteriores ataques nucleofílicos sobre los grupos hidroxilo del glicerol.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

La acetilación de glicerol en presencia del catalizador UiO-66 (entrada 43) con incorporaciones de carbón activado (AC) de 0.1, 0.2 y 0.3 (entradas 44, 45 y 46, respectivamente) permitió evidenciar que la selectividad hacia la TAG permanece invariable, sin embargo, se mejora la selectividad hacia la monoacetina, efecto estrechamente relacionado con la disminución de la fuerza ácida y aumento del tamaño de poro, el área superficial y la hidrofobicidad del catalizador, con la incorporación de carbón activado.

El uso del catalizador K10 (entrada 65) mostró una conversión de glicerol de alrededor del 56 % y selectividades del 41 %, 11 % y 0,4 % para MAG, DAG y TAG, respectivamente. Asimismo, se puede observar que la sulfonación del catalizador (entradas 66 y 67) potencia no solo la conversión del glicerol, sino también la selectividad hacia la TAG con respecto al catalizador K10 (no sulfonado). Esta mejora en la actividad catalítica fue relacionada con el aumento en la acidez total por sulfonación, de hecho, cuando se adiciona un 10 % peso/peso de ácido sulfúrico (entrada 66), la conversión aumenta de 56 % a 86 %, mientras que una adición de 20 % peso/peso (entrada 67) permite alcanzar conversiones del 99 % y selectividades para la MAG, DAG, TGA de 23 %, 59 % y 15 %, respectivamente. Los resultados permiten concluir que un aumento en la sulfonación del 10 % al 20 % genera un aumento en la conversión y una disminución de la selectividad hacia la monoacetina, lo que implica que esta se está utilizando en reacciones posteriores generando un aumento en la velocidad de reacción con un aumento en los sitios ácidos del catalizador. Asimismo, los autores reportaron que la sulfonación del catalizador aumenta su acidez debido a la formación de una multicapa de  $\text{SO}_4$  sobre la superficie del catalizador, la cual es mayor a mayor carga de  $\text{SO}_4$ . De estos resultados se infiere que los catalizadores sulfonados son sistemas catalíticos prometedores para la acetilación de glicerol.

El efecto de la temperatura de reacción en una ventana de 333 K a 408 K (entradas 68 a 73) sobre la acetilación del glicerol en presencia del catalizador AC-SA5 (AC carbón activado tratado ácido sulfúrico SA) permitió evidenciar un aumento en la conversión del glice-

rol y en la selectividad hacia la diacetina y la triacetina con el aumento de la temperatura como consecuencia del carácter endotérmico de la reacción y en línea con otros reportes presentados en esta revisión (entradas 20 a 24). Los autores reportan que un aumento en la temperatura potencia la formación de acetatos de glicerol más altos (DAG y TAG) debido a la protonación de los grupos hidroxilos restantes de la molécula de glicerol por factores estéricos y a la interacción con los sitios activos en la superficie del catalizador. Asimismo, para este mismo catalizador se reportó un aumento en la conversión con el aumento en la cantidad de ácido acético (entradas 74, 75 y 76), en concordancia con los reportes de otros presentados en esta revisión (entradas 25 a 28); de hecho, los autores reportan que un exceso de ácido acético acorta el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio de reacción y proporciona una mayor concentración de agente acetilante que activa la formación de DAG y TAG a través de reacciones de acetilación adicionales.

Tal como se reporta en la Tabla 4, el efecto de la temperatura de reacción sobre la conversión del glicerol y la selectividad hacia las acetinas fue probada en presencia de GBC (glycerol-based carbon) en el rango comprendido entre 373 K y 393 K (entradas 77 a 81), y sobre  $\text{ZrO}_2$  (entradas 49 a 51) en el rango entre 313 y 393 K). Los resultados de la tabla muestran que el aumento en la conversión y la selectividad hacia la triacetina con el aumento de la temperatura está en línea con los reportes de los demás autores (entradas 20 a 24 y 68 a 73), dado el carácter endotérmico de la reacción. Asimismo, se puede observar que los catalizadores  $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ , (entrada 54)  $\text{WO}_3/\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$  (WTZ entrada 55) y  $\text{MoO}_3/\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$  (entrada 56) presentan una actividad catalítica mejorada en cuanto a la conversión del glicerol y la selectividad a la triacetina, asociada con la mayor acidez observada en estos catalizadores.

Tal como se analizó en la Tabla 4, la transformación de glicerol en acetinas es fuertemente dependiente de diversos factores tales como la temperatura y el tiempo de reacción, presentándose una mayor actividad catalítica (en términos de conversión del glicerol y selectividad hacia la mono, di y triacetina) cuando ambas va-

riables aumentan. Asimismo, se encontró que la acidez del catalizador influye fuertemente en la actividad, de hecho se encontró que una acidez elevada influye positivamente en la formación de la triacetina. Se espera que la presente revisión sobre la acetilación del glicerol hacia acetinas (mono, di y triacetina) en presencia de catalizadores heterogéneos permita ampliar la visión y mantener la sostenibilidad de este proceso como una estrategia de valorización del bioglicerol en productos de mayor valor agregado.

## 2. CONCLUSIONES

La elevada producción mundial de glicerol, subproducto de la industria del biodiésel, así como la disminución de su precio en el mercado internacional han permitido el avance de tecnologías para su valorización, de manera sostenible desde el punto de vista económico y ambiental. La transformación de glicerol en aditivos para combustibles oxigenados (monoacetina, diacetina y triacetina) es una metodología para su valorización.

En la presente revisión de literatura se encontró que la actividad catalítica (en términos de la conversión del glicerol y la selectividad) es fuertemente dependiente de la temperatura y el tiempo de reacción, siendo mayor entre mayor sean estas dos variables. Se encontró, además, que para obtener un mayor desempeño, el catalizador debe contener una acidez elevada. Se espera que al abordar la transformación del glicerol en acetinas, productos químicos con un elevado valor comercial, se pueda ampliar la economía del biodiésel.

Así mismo, se espera que la recopilación de información relevante en cuanto a transformación de glicerol en monoacetina, diacetina y triacetina, en presencia de catalizadores heterogéneos, permita cerrar la brecha de conocimiento relacionada con este tema de investigación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto INV2731 por el apoyo financiero en el desarrollo de este trabajo de investigación. C. González, J. Guzmán y D. Henao agradecen especialmente al Semillero en Energía y Medio Ambiente.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

## 3. REFERENCIAS

- [1]. C. Agbim, F. Araya, K. M. Faust, and D. Harmon, "Subjective Versus Objective Energy Burden: A Look at Drivers of Different Metrics and Regional Variation of Energy Poor Populations", *Energy Policy*, vol. 144, pp. 111616, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111616.
- [2]. C. Giorio, et al., "Sustainability of Using Vineyard Pruning Residues as an Energy Source: Combustion Performances and Environmental Impact", *Fuel*, vol. 243, pp. 371-380, 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2019.01.128.
- [3]. A. Rempel and J. Gupta, "Conflicting Commitments? Examining Pension Funds, Fossil Fuel Assets and Climate Policy in the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)," *Energy Research & Social Science*, vol. 69, pp. 101736, 2020, doi: 10.1016/j.erss.2020.101736.
- [4]. N. Wood and K. Roelich, "Tensions, Capabilities, and Justice in Climate Change Mitigation of Fossil Fuels", *Energy Research & Social Science*, vol. 52, pp. 114-122, 2019, doi: 10.1016/j.erss.2019.02.014.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

- [5]. L. Dai, et al., "A review on selective production of value-added chemicals via catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass", *Sci. Total Environ.*, vol. 749, p. 142386, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142386.
- [6]. M. N. Uddin, J. Taweekun, K. Techato, M. A. Rahman, M. Mofijur, and M. G. Rasul, "Sustainable Biomass as an Alternative Energy Source: Bangladesh Perspective", *Energy Procedia*, vol. 160, pp. 648-654, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.02.217.
- [7]. M. Ebadian, S. Van Dyk, J. Mac Millan, and J. Saddier, "Biofuels Policies that Have Encouraged their Production and Use: An International Perspective", *Energy Policy*, vol. 147, pp. 111906, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111906.
- [8]. D. Singh, D. Sharma, S. L. Soni, S. Sharma, P. Kumar Sharma, and A. Jhalani, "A Review on Feedstocks, Production Processes, and Yield for Different Generations of Biodiesel", *Fuel*, vol. 262, pp. 116553, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116553.
- [9]. S. Puricelli, G. Cardellini, S. Casadei, D. Faedo, A. EM van der Oever and M. Grosso, "A Review on Biofuels for Light-duty Vehicles in Europe", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, p. 110398, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110398.
- [10]. F. Saladini, N. Patrizi, F. M. Pulselli, N. Marchettini, and S. Bastianoni, "Guidelines for Energy Evaluation of First, Second and Third Generation Biofuels", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66, pp. 221-227, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.07.073.
- [11]. D. Singh, et al., "A Comprehensive Review of Physicochemical Properties, Production Process, Performance and Emissions Characteristics of 2nd Generation Biodiesel Feedstock: *Jatropha Curcas*", *Fuel*, vol. 285, p. 119110, 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2020.119110.
- [12]. S. Tayari, R. Abedi, and A. Rahi, "Comparative Assessment of Engine Performance and Emissions Fueled with Three Different Biodiesel Generations", *Renewable Energy*, vol. 147, pp. 1058-1069, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.09.068.
- [13]. M. L. Savaliya and B. Z. Dholakiya, "Journal of Industrial and Engineering Chemistry Eco-friendly Process for Preparation of Biodiesel from WFO Over MTSA-Si Catalyst: An Innovative Approach for the Utilization of Side Product", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 64, pp. 352-366, 2018, doi: 10.1016/j.jiec.2018.03.036.
- [14]. A. Ghasemi and M. Moosavi-nasab, "Production of Second-generation Biodiesel Using Low-quality Date Fruits", *Biotechnol Reports*, vol. 27, e00480, 2020, doi: 10.1016/j.btre.2020.e00480.
- [15]. M. Mofijur, M. G. Rasul, N. M. S. Hassan, and M. N. Nabi, "Recent Development in the Production of Third Generation Biodiesel from Microalgae", *Energy Procedia*, vol. 156, pp. 53-58, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.088.
- [16]. D. Singh, D. Sharma, S. L. Soni, S. Sharma, and D. Kumari, "Chemical Compositions, Properties, and Standards for Different Generation Biodiesels: A Review", *Fuel*, vol. 253, pp. 60-71, 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2019.04.174.
- [17]. S. Prabakaran, R. Manimaran, T. Mohanraj, and M. Ravikumar, "Performance Analysis and Emission Characteristics of VCR Diesel Engine Fuelled with Algae Biodiesel Blends", *Materials Today: Proceedings*, vol. 45, pp. 2784-2788, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.348.
- [18]. R. L. McCormick, M. S. Graboski, T. L. Alleman, A. M. Herring, and K. S. Tyson, "Impact of Biodiesel Source Material and Chemical Structure on Emissions of Criteria Pollutants from a Heavy-duty Engine", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 35, no. 9, pp. 1742-1747, 2001, doi: 10.1021/es001636t.

- [19]. S. Y. Chua et al., "Biodiesel Synthesis Using Natural Solid Catalyst Derived from Biomass Waste: A Review", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 81, pp. 41-60, 2020, doi: 10.1016/j.jiec.2019.09.022.
- [20]. R. M. Balan-Chan and I. Elizalde, "Algunos aspectos de producción de diésel verde a partir de materias primas de segunda generación y la tecnología del hidrotatamiento", *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, no. 31, pp. 1-15, 2018.
- [21]. M. Tabatabaei, M. Aghbashlo, and B. Naja, "Environmental Impact Assessment of the Mechanical Shaft Work Produced in a Diesel Engine Running on Diesel/biodiesel Blends Containing Glycerol-derived Triacetin", *Journal of Cleaner Production*, vol. 223, pp. 466-486, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.106.
- [22]. C. Bing, J. Kansedo, Y. Hua, and K. Teong, "Biocatalysis and Agricultural Biotechnology Evaluation on Biodiesel Cold Flow Properties, Oxidative Stability and Enhancement Strategies: A Review", *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 24, p. 101514, 2020, doi: 10.1016/j.bcab.2020.101514.
- [23]. P. Kumar Sharma, D. Sharma, S. Lal Soni, and A. Jhalani, "Characterization of the Nonroad Modified Diesel Engine Using a Novel Entropy-VIKOR Approach: Experimental Investigation and Numerical Simulation", *Journal of Energy Resources Technology*, vol. 141, no. 8, 2019, doi: 10.1115/1.4042717.
- [24]. B. Chidambaranathan, S. Gopinath, R. Aravindraj, A. Devaraj, S. Gokula Krishnan, and J. K. S. Jeevaanathan, "The Production of Biodiesel from Castor Oil as a Potential Feedstock and its Usage in Compression Ignition Engine: A Comprehensive Review", *Materials Today Proceedings*, vol. 33, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.205.
- [25]. M. M. K. Bhuiya, M. G. Rasul, M. M. K. Khan, N. Ashwath, and A. K. Azad, "Prospects of 2nd Generation Biodiesel as a Sustainable Fuel. Part: 1 Selection of Feedstocks, Oil Extraction Techniques and Conversion Technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 1109-1128, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.163.
- [26]. H. Kurji et al., "Combustion Characteristics of Biodiesel Saturated with Pyrolysis Oil for Power Generation in Gas Turbines", *Renewable Energy*, vol. 99, pp. 443-451, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2016.07.036.
- [27]. S. K. Patidar and H. Raheman, "Performance and Durability Analysis of a Single-cylinder Direct Injection Diesel Engine Operated with Water Emulsified biodiesel-diesel fuel blend," *Fuel*, vol. 273, p. 117779, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.117779.
- [28]. O. Ogunkunle and N. A. Ahmed, "Performance Evaluation of a Diesel Engine Using Blends of Optimized Yields of Sand Apple (Parinari Polyandra) Oil Biodiesel", *Renewable Energy*, vol. 134, pp. 1320-1331, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.09.040.
- [29]. H. M. Mahmudul, F. Y. Hagos, R. Mamat, A. A. Adam, W. F. W. Ishak, and R. Alenezi, "Production, Characterization and Performance of Biodiesel as an Alternative Fuel in Diesel Engines: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, pp. 497-509, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.001.
- [30]. F. D. Pitt, A. M. Domingos, and A. A. C. Barros, "Purification of Residual Glycerol Recovered from Biodiesel Production", *South African Journal of Chemical Engineering*, vol. 29, pp. 42-51, 2019, doi: 10.1016/j.sajce.2019.06.001.
- [31]. B. Dou, Y. Song, C. Wang, H. Chen, and Y. Xu, "Hydrogen Production from Catalytic Steam Reforming of Biodiesel Byproduct Glycerol: Issues

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

- and Challenges”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 30, pp. 950-960, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2013.11.029.
- [32]. F. Yang, M. A. Hanna, and R. Sun, “Value-Added Uses for Crude Glycerol—a byproduct of biodiesel production”, *Biotechnology for Biofuels*, vol. 5, no. 13, pp. 1-10, 2012, doi: 10.1186/1754-6834-5-13 .
- [33]. J. Kaur, A. Kumar, M. Kumar, and P. Gera, “Valorisation of Crude Glycerol to Value-added Products : Perspectives of Process Technology, Economics and Environmental Issues”, *Biotechnol. Reports*, vol. 27, e00487, 2020, doi: 10.1016/j.btre.2020.e00487.
- [34]. N. Vivek, et al., “Bioresource Technology Recent Advances in the Production of Value Added Chemicals and Lipids Utilizing Biodiesel Industry Generated Crude Glycerol as a Substrate – Metabolic Aspects, Challenges and Possibilities: An Overview”, *Bioresource Technology*, vol. 239, pp. 507-517, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.05.056.
- [35]. M. S. Ardi, M. K. Aroua, and N. A. Hashim, “Progress, Prospect and Challenges in Glycerol Purification Process: A Review”, vol. 42, pp. 1164-1173, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.10.091.
- [36]. C. E. Demaman Oro, M. Bonato, J. V. Oliveira, M. V. Tres, M. L. Mignoni, and R. M. Dallago, “A New Approach for Salts Removal from Crude Glycerin Coming from Industrial Biodiesel Production Unit”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 1, p. 102883, 2019, doi: 10.1016/j.jece.2019.102883.
- [37]. M. R. Monteiro, C. L. Kugelmeier, R. S. Pinheiro, M. O. Batalha, and A. da Silva César, “Glycerol from Biodiesel Production: Technological Paths for Sustainability”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 88, pp. 109-122, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.02.019.
- [38]. C. Miner and Dalton NN, “Glycerine: An Overview,” *Chem Soc Monogr.* 1953, vol. 117, no. 212, pp. 1–27, 1953.
- [39]. J. M. Encinar, A. Pardal, N. Sánchez, and S. Nogales, “Biodiesel by Transesterification of Rape-seed Oil Using Ultrasound: A Kinetic Study of Base-catalysed Reactions”, *Energies*, vol. 11, no. 9, 2018, doi: 10.3390/en11092229.
- [40]. A. Villa, N. Dimitratos, C. E. Chan-Thaw, C. Hammond, L. Prati, and G. J. Hutchings, “Glycerol Oxidation Using Gold-containing Catalysts,” *Accounts of Chemical Research*, vol. 48, no. 5, pp. 1403-1412, 2015, doi: 10.1021/ar500426g.
- [41]. G. Jia, B. He, W. Ma, and Y. Sun, “Thermodynamic Analysis Based on Simultaneous Chemical and Phase Equilibrium for Dehydration of Glycerol with Methanol”, *Energy*, vol. 188, p. 116021, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.116021.
- [42]. P. M. Veiga, A. C. L. Gomes, C. O. Veloso, and C. A. Henriques, “Acid Zeolites for Glycerol Etherification with Ethyl Alcohol: Catalytic Activity and Catalyst Properties”, *Applied Catalysis A: General*, vol. 548, pp. 2-15, 2017, doi: 10.1016/j.apcata.2017.06.042.
- [43]. N. A. Roslan, S. Z. Abidin, A. Ideris, and D. V. N. Vo, “A Review on Glycerol Reforming Processes Over Ni-Based Catalyst for Hydrogen and Syngas Productions”, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 36, pp. 18466-18489, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.08.211.
- [44]. Z. Mufrodi, R. Rochmadi, S. Sutijan, and A. Budiman, “Synthesis Acetylation of Glycerol Using Batch Reactor and Continuous Reactive Distillation Column”, *Engineering Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 29-39, 2014, doi: 10.4186/ej.2014.18.2.29.
- [45]. J. Zhang and D. He, “Surface Properties of Cu/La2O3 and its Catalytic Performance in the Synthesis of Glycerol Carbonate and Monoacetin

- from Glycerol and Carbon Dioxide”, *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 419, pp. 31-38, 2014, doi: 10.1016/j.jcis.2013.12.049.
- [46]. V. L. C. Gonçalves, B. P. Pinto, J. C. Silva, and C. J. A. Mota, “Acetylation of Glycerol Catalyzed by Different Solid Acids”, *Catalysis Today*, vol. 133-135, no. 1-4, pp. 673-677, 2008, doi: 10.1016/j.cattod.2007.12.037.
- [47]. B. O. Dalla Costa, H. P. Decolatti, M. S. Legnoverde, and C. A. Querini, “Influence of Acidic Properties of Different Solid Acid Catalysts for Glycerol Acetylation”, *Catalysis Today*, vol. 289, pp. 222-230, 2017, doi: 10.1016/j.cattod.2016.09.015.
- [48]. A. Mendoza et al., “Selective Production of Dihydroxyacetone and Glyceraldehyde by Photo-Assisted Oxidation of Glycerol”, *Catalysis Today*, vol. 358, pp. 149-154, 2020, doi: 10.1016/j.cattod.2019.09.035.
- [49]. L. C. D. Coelho, N. M. L. Filho, R. P. V. Faria, A. F. P. Ferreira, A. M. Ribeiro, and A. E. Rodrigues, “Separation of Tartronic and Glyceric Acids by Simulated Moving Bed Chromatography”, *Journal of Chromatography A*, vol. 1563, pp. 62-70, 2018, doi: 10.1016/j.chroma.2018.05.052.
- [50]. Y. Bin Choi, N. Nunotani, and N. Imanaka, “Glyceraldehyde Production from Glycerol Over Pt/CeO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SBA-16 Catalysts Around Room Temperature in Open Air System”, *Materials Letters*, vol. 278, no. 3, p. 128392, 2020, doi: 10.1016/j.matlet.2020.128392.
- [51]. B. Ali, X. Lan, M. T. Arslan, S. Z. A. Gilani, H. Wang, and T. Wang, “Controlling the Selectivity and Deactivation Of H-ZSM-5 by Tuning B-Axis Channel Length for Glycerol Dehydration to Acrolein”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 88, pp. 127-136, 2020, doi: 10.1016/j.jiec.2020.03.037.
- [52]. A. D. da Silva Ruy, R. M. de Brito Alves, T. L. Reis Hwer, D. de Aguiar Pontes, L. S. Gomes Teixeira, and L. A. Magalhães Pontes, “Catalysts for Glycerol Hydrogenolysis to 1,3-Propanediol: A Review of Chemical Routes and Market”, *Catalysis Today*, In Press, 2020, doi: 10.1016/j.cattod.2020.06.035.
- [53]. R. X. Jiménez, A. F. Young, and H. L. S. Fernandes, “Propylene Glycol from Glycerol: Process Evaluation and Break-Even Price Determination”, *Renewable Energy*, vol. 158, pp. 181-191, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.05.126.
- [54]. G. Paniri, H. S. Ghaziaskar, and M. Rezaayat, “Ternary Solubility of Mono and Di-Tert-Butyl Ethers of Glycerol in Supercritical Carbon Dioxide”, *The Journal of Supercritical Fluids*, vol. 55, no. 1, pp. 43-48, 2010, doi: 10.1016/j.supflu.2010.06.012.
- [55]. R. Huang and E. Y. Kim, “Catalytic Synthesis of Glycerol Tert-Butyl Ethers as Fuel Additives from the Biodiesel By-Product Glycerol”, *Journal of Chemistry*, vol. 2015, e-763854, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/763854>
- [56]. X. Ding et al., “A Novel Route to Synthesis of Glycerol Dimethyl Ether from Epichlorohydrin with High Selectivity”, *Biomass and Bioenergy*, vol. 70, pp. 400-406, 2014, doi: 10.1016/j.biombioe.2014.09.008.
- [57]. S. Bagheri, N. M. Julkapli, and W. A. Yehye, “Catalytic Conversion of Biodiesel Derived Raw Glycerol to Value Added Products”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 113-127, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.08.031.
- [58]. S. A. N. M. Rahim et al., “A Review of Recent Developments on Kinetics Parameters for Glycerol Electrochemical Conversion – A By-Product of Biodiesel”, *Science of the Total Environment*, vol. 705, p. 135137, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135137.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>

- [59]. C. Zhang, T. Wang, X. Liu, and Y. Ding, "Cu-Promoted Pt/Activated Carbon Catalyst for Glycerol Oxidation to Lactic Acid", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 424, pp. 91-97, 2016, doi: 10.1016/j.molcata.2016.08.018.
- [60]. A. Casas, J. R. Ruiz, M. J. Ramos, and Á. Pérez, "Effects of Triacetin on Biodiesel Quality", *Energy and Fuels*, vol. 24, no. 8, pp. 4481-4489, 2010, doi: 10.1021/ef100406b.
- [61]. M. Jafari et al., "Multivariate Analysis of Performance and Emission Parameters in a Diesel Engine Using Biodiesel and Oxygenated Additive", *Energy Conversion and Management*, vol. 201, p. 112183, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112183.
- [62]. L. J. Konwar et al., "Shape Selectivity and Acidity Effects in Glycerol Acetylation with Acetic Anhydride: Selective Synthesis of Triacetin Over Y-Zeolite and Sulfonated Mesoporous Carbons", *Journal of Catalysis*, vol. 329, pp. 237-247, 2015, doi: 10.1016/j.jcat.2015.05.021.
- [63]. S. A. Rane, S. M. Pudi, and P. Biswas, "Esterification of Glycerol with Acetic Acid Over Highly Active and Stable Alumina-Based Catalysts: A Reaction Kinetics Study", *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, vol. 30, no. 1, pp. 33-45, 2016, doi: 10.15255/CABEQ.2014.2093.
- [64]. N. Mansir, Y. H. Taufiq-yap, U. Rashid, and I. M. Lokman, "Investigation of Heterogeneous Solid Acid Catalyst Performance on Low Grade Feedstocks for Biodiesel Production: A Review", *Energy Conversion and Management*, vol. 141, pp. 171-182, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2016.07.037.
- [65]. S. Karnjanakom, P. Maneechakr, C. Samart, and G. Guan, "Ultrasound-Assisted Acetylation of Glycerol for Triacetin Production Over Green Catalyst: A Liquid Biofuel Candidate", *Energy Conversion and Management*, vol. 173, pp. 262-270, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.07.086.
- [66]. S. S. Kale et al., "Understanding the Role of Keggin Type Heteropolyacid Catalysts for Glycerol Acetylation Using Toluene as an Entrainer", *Applied Catalysis A: General*, vol. 527, pp. 9-18, 2016, doi: 10.1016/j.apcata.2016.08.016.
- [67]. J. Bonet, J. Costa, R. Sire, J. Reneaume, and A. Elena, "Revalorization of Glycerol: Comestible Oil from Biodiesel Synthesis", *Food and Bioprocess Processing*, vol. 87, no. 3, pp. 171-178, 2009, doi: 10.1016/j.fbp.2009.06.003.
- [68]. J. Sun, X. Tong, L. Yu, and J. Wan, "An Efficient and Sustainable Production of Triacetin from the Acetylation of Glycerol Using Magnetic Solid Acid Catalysts Under Mild Conditions", *Catalysis Today*, vol. 264, pp. 115-122, 2016, doi: 10.1016/j.cattod.2015.07.011.
- [69]. J. Liu, Z. Wang, Y. Sun, R. Jian, P. Jian, and D. Wang, "Selective Synthesis of Triacetin from Glycerol Catalyzed by HZSM-5/MCM-41 Micro/Mesoporous Molecular Sieve", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 27, no. 5, pp. 1073-1078, 2019, doi: 10.1016/j.cjche.2018.09.013.
- [70]. S. Kale, S. B. Umbarkar, M. K. Dongare, R. Eckelt, U. Armbruster, and A. Martin, "Selective Formation of Triacetin by Glycerol Acetylation Using Acidic Ion-Exchange Resins as Catalyst and Toluene as an Entrainer", *Applied Catalysis A: General*, vol. 490, pp. 10-16, 2015, doi: 10.1016/j.apcata.2014.10.059.
- [71]. R. Jothi Ramalingam, T. Radhika, F. Adam, and T. H. Dolla, "Acetylation of Glycerol Over Bimetallic Ag-Cu Doped Rice Husk Silica Based Biomass

- Catalyst for Bio-Fuel Additives Application”, *International Journal of Industrial Chemistry*, vol. 7, no. 2, pp. 187-194, 2016, doi: 10.1007/s40090-016-0073-0.
- [72]. U. I. Nda-Umar, I. Ramli, E. N. Muhamad, Y. H. Taufiq-Yap, and N. Azri, “Synthesis and Characterization of Sulfonated Carbon Catalysts Derived from Biomass Waste and Its Evaluation in Glycerol Acetylation”, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2020, doi: 10.1007/s13399-020-00784-0.
- [73]. G. Dizoğlu and E. Sert, “Fuel Additive Synthesis by Acetylation of Glycerol Using Activated Carbon/Uio-66 Composite Materials”, *Fuel*, vol. 281, no. July, p. 118584, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118584.
- [74]. P. S. Reddy, P. Sudarsanam, G. Raju, and B. M. Reddy, “Synthesis of Bio-Additives: Acetylation of Glycerol Over Zirconia-Based Solid Acid Catalysts”, *Catalysis Communications*, vol. 11, no. 15, pp. 1224-1228, 2010, doi: 10.1016/j.cattod.2010.07.006.
- [75]. I. Kim, J. Kim, and D. Lee, “A Comparative Study on Catalytic Properties of Solid Acid Catalysts for Glycerol Acetylation at Low Temperatures”, *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 148-149, pp. 295-303, 2014, doi: 10.1016/j.apcatb.2013.11.008.
- [76]. V. V. Bokade, “Synthesis of Oxygenated Fuel Additives Via Acetylation of Bio-Glycerol Over H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Modified Montmorillonite K10 Catalyst”, *Progress in Petrochemical Science*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2018, doi: 10.31031/pp.2018.01.000501.
- [77]. M. S. Khayoon and B. H. Hameed, “Acetylation of Glycerol to Biofuel Additives Over Sulfated Activated Carbon Catalyst”, *Bioresource Technology*, vol. 102, no. 19, pp. 9229-9235, 2011, doi: 10.1016/j.biortech.2011.07.035.
- [78]. P. U. Okoye, A. Z. Abdullah, and B. H. Hameed, “Synthesis of Oxygenated Fuel Additives Via Glycerol Esterification with Acetic Acid Over Bio-Derived Carbon Catalyst”, *Fuel*, vol. 209, pp. 538-544, 2017, doi: 10.1016/j.fuel.2017.08.024.
- [79]. A. B. S. Neto et al., “A Comparative Study on Porous Solid Acid Oxides as Catalysts in the Esterification of Glycerol with Acetic Acid”, *Catalysis Today*, vol. 349, no. November 2017, pp. 57-67, 2020, doi: 10.1016/j.cattod.2018.05.057.
- [80]. L. N. Silva, V. L. C. Gonçalves, and C. J. A. Mota, “Catalytic Acetylation of Glycerol with Acetic Anhydride”, *Catalysis Communications*, vol. 11, no. 12, pp. 1036-1039, 2010, doi: 10.1016/j.cattod.2010.05.007.

# Remote monitoring of operational parameters for the cane honey production process

## Monitoreo remoto de los parámetros operacionales para el proceso de producción de miel de caña

**Octavio Edelberto Guijarro Rubio\***, **Víctor Rodrigo Cerda Mejía\*\***, **Isnel Benítez Cortés\*\*\***,  
**Galo Leonardo Cerda Mejía\*\*\*\***, **Estela Guardado Yordi\*\*\*\*\***, **Bernabe Ortega Tenezaca\*\*\*\*\***, **Erenio González Suárez\*\*\*\*\***,  
**Amaury Pérez Martínez\*\*\*\*\***

(Recibido el 04-06-2021. Aprobado el 30-06-2021. Publicado 12-07-2021)

### Estilo de citación de artículo:

O. E. Guijarro Rubio, V. R. Cerda Mejía, I. Benitez Cortés, G. L. Cerda Mejía, E. Guardado Yordi, B. Ortega Tenezaca, E. Gonzales Suárez and A. Perez Martínez, "Remote monitoring of operational: parameters for the cane honey production process", *Lámpsakos*, no. 25, pp. 59-69, 2021. DOI: 10.21501/21454086.3991

### Abstract:

A local data acquisition, processing, and storage system were implemented through an open-source micro-controlled development card. To continuously measure the variables of the cane honey production process, it was performed using five temperature sensors, a pH sensor, and a level sensor. Each sensor was associated with a component set with its respective upper and lower reference values during the processing of a batch of product. The main objective was to determine the effectiveness of using sensors and wireless communication technology to monitor operational parameters in real-time. In general, the recorded temperature, pH, and level data obtained from sensors corresponded closely to the changes that occurred in the process. The wireless communication nodes developed successfully measured and monitored the temperature, pH, and level readings in real-time. The study also found that the sensors' temperature, pH, and level readings began to standardize more closely within the upper and lower limits. Furthermore, operational parameters could be reasonably predicted by applying a statistical model to measure temperature, pH, and level. The present study also found that the operational parameters analyzed showed variability with its consequent effect on the quality of the final product. The findings of this study should serve as the first step towards any future research and development that may take place in the field of agro-industrial process design.

### Keywords:

Sensor; Microcontroller; Temperature-pH modeling; Quality attributes.

\* Magíster en automatización y sistemas de control, profesor–Instituto Superior Tecnológico Francisco de, Pastaza-Ecuador. Contacto: [octavio.guijarro@itsfo.edu.ec](mailto:octavio.guijarro@itsfo.edu.ec)

\*\* Magíster en matemáticas, profesor–Universidad Estatal Amazónica, Pastaza-Ecuador. Contacto: [vcerda@uea.edu.ec](mailto:vcerda@uea.edu.ec)

\*\*\* Doctor en ciencias técnicas, profesor–Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Camagüey -Cuba. Contacto: [isnel.benites@reduc.edu.cu](mailto:isnel.benites@reduc.edu.cu)

\*\*\*\* Máster of Science en Nanociencia y Nanotecnología, profesor–Universidad Regional Amazónica, Napo-Ecuador. Contacto: [galo.cerda@ikiam.edu.ec](mailto:galo.cerda@ikiam.edu.ec)

\*\*\*\*\* Doctora en ciencia y tecnología química, profesor–Universidad Estatal Amazónica, Pastaza-Ecuador. Contacto: [e.guardadoy@uea.edu.ec](mailto:e.guardadoy@uea.edu.ec)

\*\*\*\*\* Magíster en gestión de bases de datos, profesor–Universidad Estatal Amazónica, Pastaza-Ecuador. Contacto: [bortega@uea.edu.ec](mailto:bortega@uea.edu.ec)

\*\*\*\*\* Doctor of Science, profesor emérito Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas, Santa Clara-Cuba. Contacto: [erenio@uclv.edu.cu](mailto:erenio@uclv.edu.cu)

\*\*\*\*\* Doctor en ciencias técnicas, profesor–Universidad Estatal Amazónica, Pastaza-Ecuador. Contacto: [amperez@uea.edu.ec](mailto:amperez@uea.edu.ec)

**Resumen:**

Se implementó un sistema local de adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos mediante una tarjeta microcontrolada de código abierto. Para registrar continuamente las variables del proceso de producción de la miel de caña se utilizó cinco sensores de temperatura, un sensor de pH y un sensor de nivel. Cada sensor se asoció con un conjunto de componentes con sus respectivos valores de referencia superior e inferior durante el procesamiento de un lote de producto. El objetivo principal fue determinar la efectividad del uso de sensores y tecnologías de comunicación inalámbrica para monitorear los parámetros operacionales en tiempo real. En general, los datos de temperatura, pH y nivel registrados por los sensores correspondían estrechamente a los cambios que ocurrieron en el proceso, y los nodos de comunicación inalámbrica desarrollados midieron y monitorearon con éxito las lecturas de temperatura, pH y nivel en tiempo real. El estudio también encontró que las lecturas de temperatura, pH y nivel obtenidas por los sensores comenzaron a estandarizarse dentro de los límites superior e inferior. Además, los parámetros operacionales podrían predecirse razonablemente aplicando un modelo estadístico para medir la temperatura, el pH y el nivel. Los parámetros operacionales analizados mostraron variabilidad con su consecuente efecto sobre la calidad del producto final. Los hallazgos de este estudio deberían servir como el primer paso para el desarrollo futuro en el campo del diseño de procesos agroindustriales.

**Palabras clave:**

Sensor; Microcontrolador; Modelado de temperatura y pH; Atributos de calidad.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3991>

## 1. INTRODUCTION

An emerging class of industrial production systems is called the Industrial Internet of Things (IIoT) which, when successfully adopted, provides high efficiency and cost benefits for installation, maintainability, reliability, scalability, and interoperability [1]. Remote monitoring systems via the Internet allow information about a remote process to be viewed in real-time, which can be applied at an industrial level by small and medium-sized companies (PYMES) [2]. Although IIoT applications are still in the early stages, several major industries have implemented them in environmental monitoring, healthcare service, inventory management and production, logistics, and supply chain systems [3]. The critical component to creating IIoT systems is communication technologies, which allow all devices and machines to connect, communicate, and exchange data. At that time, the system can monitor, collect, exchange, and analyze data, delivering valuable services that, in turn, allow companies in the industry to make more accurate and faster decisions that help reduce their uncertainty [4].

Data Acquisition Systems (DAQ) allow information collection to be processed, analyzed, and documented [5]. This process has been simplified and made more accurate, versatile, and reliable due to the use of sensors [6], [7].

The transformation of traditional processes and machinery for digitization involves many risk factors such as volatility, ambiguity, complexity, and uncertainty. An effective way to manage these factors is by integrating machine learning techniques in Industry 4.0 applications [8]. Using Industry 4.0 in various industrial functions and applications can help channel resources and performance improvement efforts to meet quality requirements to maximize profits through productivity improvements [1]. Monitoring systems are often employed to provide diagnostic monitoring that collects relevant trend and fault data used for diagnostic trends requiring technology monitoring [9].

In the case of agribusiness, the context is no different as these systems are used to monitor and control processes [10] remotely. In particular, the minimally processed derivatives of sugar cane (DMPC) are artisanal processes with technological problems that affect quality [11], [12].

The variability of the operational parameters affects the number of defective products [13], [14].

However, studies that allow real-time monitoring of agro-industrial processes and their variables as design parameters are limited [15].

Therefore, this study aims to present a contribution to fill this gap and investigate the use of information systems in the cloud for process design. The main objective of this document is to show the monitoring of disturbances of an agro-industrial process. For this purpose, a remote monitoring system via the Internet of the honey production process is proposed. To achieve the objective of this document, the behavior of the variables level, pH, and temperature was experimentally investigated in an artisan factory.

## 2. MATERIALS AND METHODS

The process of data acquisition, processing, and local storage is carried out through an open-source micro-controlled development board. The development of the instrumentation system involved the use of electronic elements, sensors, low-cost embedded systems, and open source software to make it an affordable system.

The sugar cane honey production process variables were acquired using five temperature sensors, a pH sensor, and a level sensor connected to an open-source micro-controlled card. The information obtained is stored locally in a solid-state memory and sent via a Wi-Fi device to a remote database to be processed, stored, and dynamically displayed.

## Data acquisition system

The data acquisition system developed (see figure 1) is based on the use of a micro-controlled electronic platform under a Creative Commons license, while the programming software is of the General Public License (GPL) type [16]. The executed project meets the following characteristics: low-cost elements, multiplatform software, simple and straightforward programming environment, open-source and extensible programming software, and hardware scalability.

The data acquisition process, processing, and storage are carried out through a micro-controlled development card where the main element is an ATmega2560 microcontroller. This microcontroller has 54 General Purpose Input / Output (GPIO), of which 15 can be used as Pulse-Width Modulation (PWM) outputs, 4 Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART's), 16 Analog-to-Digital Conversion (ADC).

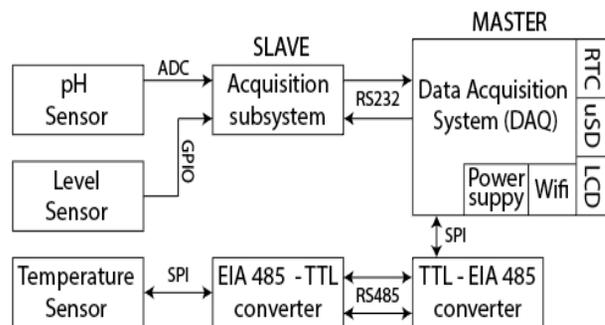


Fig. 1. Data acquisition system

The data acquisition system acquires and processes the variables from the sensors. These are visualized on a Liquid Crystal Display (LCD), and wireless communication is carried out by Transmission Control Protocol / Internet Protocol (TCP / IP) by means of the ESP8266 Wi-Fi chip. The DAQ uses the Hypertext Transfer Protocol (HTTP) to transfer the information to the webserver. A Real-Time Clock (RTC) allows the synchronization of data that is stored locally in a removable Solid-State Drive (SSD), and the stored data will be used to obtain the transfer function of the plant using parametric data identification [17], [18].

## Temperature data acquisition subsystem

Acquisition of system temperatures was carried out by using K-type thermocouples, where the coming signal is compensated and digitized utilizing the MAX6675 integrated circuit. Data is transmitted to the master device using the Serial Peripheral Interface (SPI) communication standard. Because SPI cannot cover long distances, the Electronic Industries Association (EIA) -485 industry-standard data transmission was performed. [19], which works in the physical layer of the Open System Interconnection (OSI) model. Because EIA-485 is a differential bus communication system, it is used to transmit information at medium speeds and reach a maximum length of 1200 meters. Figure 2 shows the SPI-EIA485 thermal sensor network.

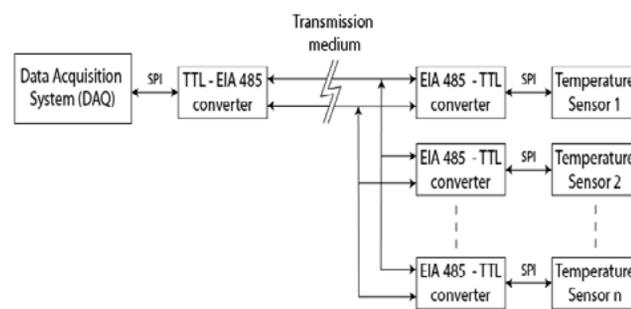


Fig. 2. SPI-EIA485 Thermal Sensor Network

The data acquisition system presents access to the medium of the master-slave type, where the data exchange is of the point-multipoint type, and the sensors occupy the medium to transmit the data only under the requirements of the data acquisition system. Table 1 shows the temperature sensor communication frame.

Table 1. Temperature sensors communication frame

Dummy sign bit	12 Bit - Temperature reading	Thermocouple Input	Device ID	State
15	14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3	2	1	0
0	MSB LSB		0	Three State

The data frame is composed of 16 bits, where 12 bits express the temperature of the sensor. The Most Significant Bit (MSB) stores the sign of the tempera-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3991>

ture, bit number two reports the status of the probe by setting a high level when the thermocouple is open (disconnected), so its standard operating value is zero, while bit one is used as a device indicator and bit zero represents the state of the data output.

### pH and level data acquisition subsystem

The subsystem is an independent device from the main data acquisition system (master) as in figure 3, the exchange of information between these two electronic systems is carried out by request of the master using the EIA / TIA RS232 communication standard [18], [20].

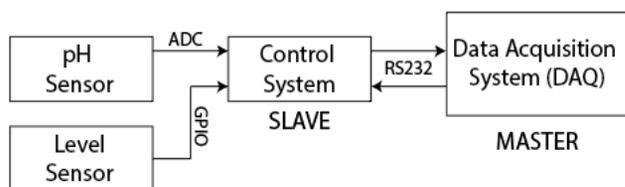


Fig. 3. RS-232 Master-Slave communication

The pH sensor measures the degree of acidity value of the solution to be processed in a range from 0 to 14. This sensor emits an electrical voltage that varies over time depending on the pH value, which is determined based on Equation 1.

$$pH = [-15.17/184(ADC - 930)] \quad (1)$$

Where: pH: It is the pH value present in the fluid, ADC is the digitized value in 10 bits format of the voltage delivered by the pH sensor conditioner.

The ultrasound liquid level sensor measures the distance in meters between the sensor and the liquid. This is installed at a height "h" from the base of the container, "u" is the distance measured by the sensor towards the liquid which is variable in time and depends on the flow of raw material from the extraction stage of cane juice (see figure 4).

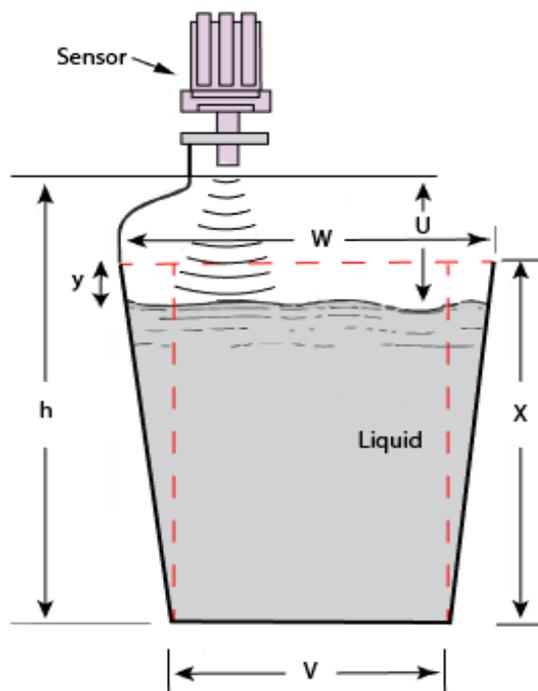


Fig. 4. Calculation of liquid volume

Applying Equation 2 and 3, the volume of the liquid present in the container in a finite time is determined.

$$V_{\Delta t} = [(h - u)z \cdot w] \quad (2)$$

$$V_i = 1000V_{\Delta t} \quad (3)$$

Where:  $V_{\Delta t}$ : volume of measured liquid,  $m^3$ ,  $V_i$ : liquid volume,  $L$ ,  $z$ : container length,  $m$ .

The data acquisition system (master) requests the status of the sensors to the acquisition subsystem (slave) and the data frame emitted by the slave encapsulates the data from the pH sensor, liquid level sensor, and volume calculation. Table 2 shows the RS-232 Slave-Master data frame.

**Table 2.** Data frame RS-232 Slave – Master

pH Data		Divider	Distance		Divider	Volume	
Int	Dec	:	Int	Dec	:	Int	Dec

Where: pH data: pH value present in the sensor probe, Divisor: fixed character (that separates the data from the plot). Distance: data delivered by level sensor (m).

Volume: volume of raw material presents in the stage (m<sup>3</sup>). Int: data integer value, Dec: decimal value of the data (2 decimals).

### Online variable writing and transmission

The variables coming from the different sensors are stored in a web server using a web client embedded in the open-source development card used for the data acquisition system. Access to the Wireless Local Area Network (WLAN) is done through the WI-FI Node MCU ESP12E module (figure 5).



Fig. 5. Data acquisition, storage, and visualization system using a web application

Through a websocket, the web client stores the variables of pH, liquid volume, and temperatures of the Heating stage, Evaporator 1, Evaporator 2, Evaporator 3, Concentrator, acquired and processed in real-time by the data acquisition system [15], [21].

The communication protocol for exchanging information between the server-client is TCP, which is a connection-oriented protocol. End-users have access to the client part of the application, which builds a request for said service, then sent to the application server through the TCP / IP protocol as transport. The passed variable values were stored directly to a MySQL database using writable user credentials. A server developed in Nodejs

was configured, with a MySQL library configuration and a polling interval of five milliseconds, which kept listening for connections through websockets. A websocket client based on Angular 5 and ng2-charts display library was developed that received the changes issued by the server and graphs them in real-time. Each sensor was associated with a component set with its respective upper and lower reference values, represented with blue and red lines, respectively

### Operational parameters as design variables

To validate the proposed system, the temperature is considered in the heating operations, evaporation 1, 2, 3; for this, 809 temperature measurements are taken in each piece of equipment. In the same way, level and pH measurements are taken for a total of 359 measurements. Descriptive statistics are performed on the recorded data, and the interrelationships between the variables are described to evaluate their influence.

### Local display of variables

The operators can visualize the various data generated in the agro-industrial process through an LCD, which allows representing a total of 80 American Standard Code for Information Interchange (ASCII) distributed in 4 lines (see figure 6).



Fig. 6. Local display of variables

Where: T1: Temperature of the Heating stage, (°C), T2: Temperature of the Concentration stage, (°C), T3: Temperature of the third Evaporation stage, (°C), T4: Temperature of the second evaporation stage, (°C), T5: Temperature of the first Evaporation stage, (°C), pH: pH value of the heating stage, V: Volume of cane juice present in the Heating stage, (m<sup>3</sup>).

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### Monitoring and data acquisition system

Through the various tests of the system, approximately 809 temperature and 359 level and pH records were collected. The data generated in the production process is stored in a web server and in a data logger housed within the acquisition system. This information can be accessed quickly and structured to be analyzed and processed to propose control systems.

The implemented data acquisition system can be installed anywhere that has or does not have an internet connection. This connection allows to record the variables of the sensors in a database; if there is no such connection, the variables will be stored only in the datalogger.

The system initially supports 8 SPI sensors and can be scaled up to 256, primarily limited by the hardware digital output ports. The data acquisition system prototype was built using open-source microcontroller hardware, publicly licensed software, and low-cost electronic devices.

#### Writing and transmission of variables online

Figure 7 shows the temperature values of the heater and the three evaporators. These results show the variability in the heater and the three evaporators.

In the case of evaporator 3 the temperature gradually rises to a value where it drops sharply by about 10 °C. Later this cycle is maintained in time. In the case of evaporators 2 and 3, there is a tendency to remain constant around their average value, not the behavior for the concentrator, which tends to increase.

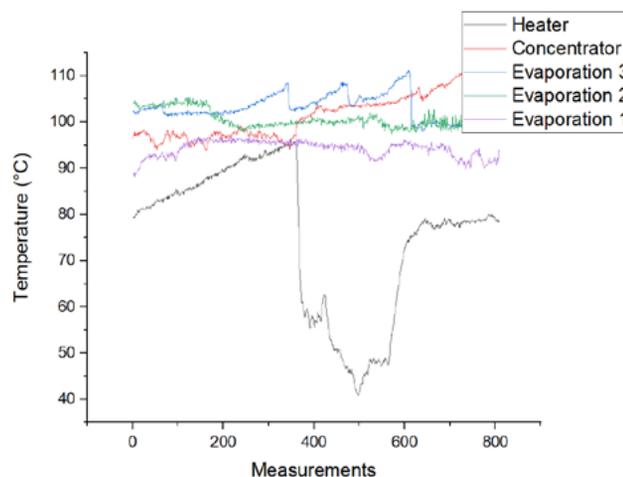


Fig. 7. Behavior of temperatures

In the heater's case, there is an increase of about 20 °C in the first 350 measurements corresponding to a time of 0.33 H. From this moment on, it drops sharply around 40 °C due to the transition between batches. It continues with a gradual decrease in about 200 measurements equivalent to a time of 0.22 H, from where it begins to increase to about 80 °C and becomes constant around 80 °C. This behavior occurs because another batch is started during this period.

Table 3. Models that relate the different temperatures of the process

Model	R <sup>2</sup>
$T_{ev2} = -0.269 T_{evap1} + 125.9$	0.061
$T_{ev3} = -0.253 T_{evap2} + 128.5$	0.028
$T_{conc} = -0.398 T_{evap3} + 1414$	0.058
$T_{ev1} = 0.020 T_{calent} + 92.71$	0.032

Table 3 shows the models that characterize these relationships. The absence of favorable R<sup>2</sup> values indicates a significant variability in the data and that there are other variables affecting heat transfer with its consequent effect on the quality of the final product.

However, these models serve the producers to predict the levels at which the temperatures of the different equipment should be worked; thus, they constitute an indispensable tool for carrying out the mass and energy balances of the process and optimizing energy consumption.

Figure 8 shows the pH behavior. It is appreciated that being an artisan process, there is no pH control since the liming method is empirical, coinciding with that reported by Guerra and Mujica [22]. However, this variability of the operating parameter affects, according to Cerda [23], the quality of the final product.

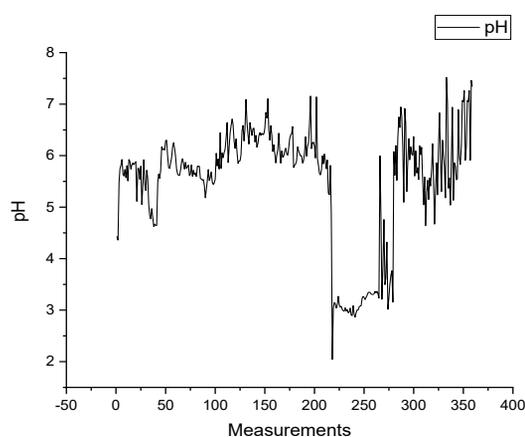


Fig. 8. pH behavior

The level behavior is presented in figure 9. The results show the level increase at the beginning of each production batch according to the grinding capacity and the reduction of the level as the honey is concentrated.

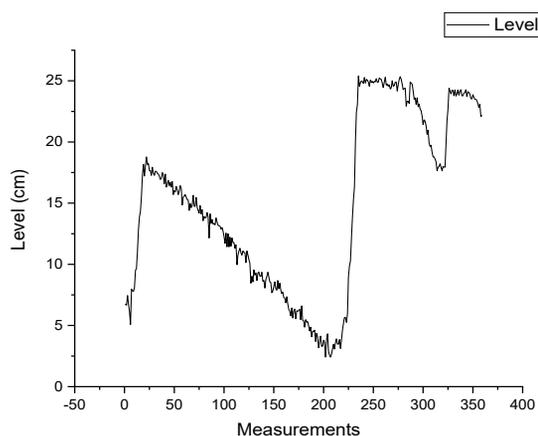


Fig. 9. Level behavior (cm)

## Operational parameters as design variables

Table 4 shows the descriptive statistics of the measurements of temperature, pH, and level of the discontinuous process of cane honey production; the results shown are indicators of this work regime.

Table 4. Descriptive statistics of the operating parameters

	$T_{\text{heating}}$ (°C)	$T_{\text{concentration}}$ (°C)	$T_{\text{evaporation}_3}$ (°C)	$T_{\text{evaporation}_2}$ (°C)	$T_{\text{evaporation}_1}$ (°C)	pH	Level (m)
Minimum	40.7	103.7	105.5	101.5	94.5	4.36	0.0637
Maximum	95.7	97	102.7	100	95	7.3	0.221
Difference	55	6.7	2.8	1.5	0.5	2.99	0.157
Average	75.3	101.3	103.0	100.5	94.2	5.4	0.151
S.D	15.7	4.66	2.9	2.13	1.77	1.14	7.2
CV	20.9	4.6	2.8	2.1	1.9	20.8	48.4

In the case of the heater temperature, there is a difference of more than 50 °C between the minimum and maximum recorded values, expressed in a standard deviation of 15.7 °C and a coefficient of variation greater than 10% (20.9%). In the following operations, the temperature shows minimal standard deviation levels and coefficients of variation, indicating that there is very little variability of this parameter. Therefore, for the realization of the mass and energy balances in these equipment's it is possible to work with the average value of the same.

In the case of pH, a difference of 2.99 is appreciated. The variability of this operating parameter impacts the quality of cane honey, as reported by Cerda [23]. These differences may be because most sugar mills do not control acidity; it is carried out empirically, according to Mosquera, Carrera, and Villada [24]. On the other hand, it also implies the need to control the process since the optimum pH of the cane juice to obtain a good quality product must be between 5.6 and 5.8, to avoid the formation of reducing sugars and favor clarification, since it facilitates the rejected according to Mujica, Guerra, and Soto [25].

For its part, the level shows great variability because part of the filling and emptying processes of the equipment is considered in the measurements. Also, to eval-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3991>

uate a data set of batch processes obtained from an artisan factory is studied, this coincides with the statement of Shen et al. [26] that batch processes are characterized by stochastic disturbances, making monitoring of batch processes a complex problem in practice.

### Local display of variables

Figure 10 shows the remote monitoring systems via the Internet that allow viewing the information on the honey production process in the “El Valle” artisan factory remotely in real-time. It is observed that the operating parameters are controlled.

Each sensor is configured with independent maximum and minimum values, and this monitoring reduces the variability of the operational parameters. According to Cerda [23] has a positive impact on the quality of the final product.

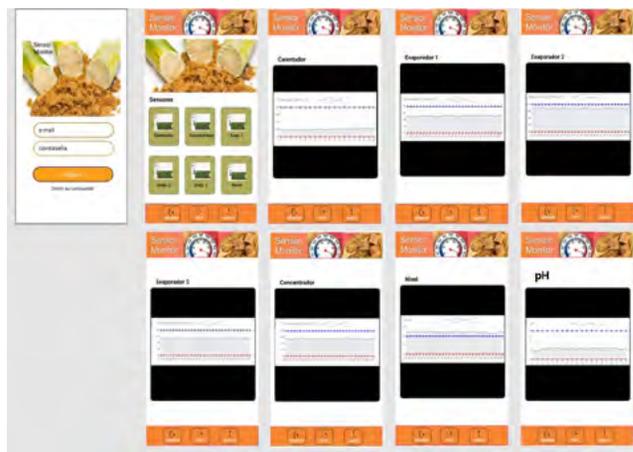


Fig. 10. Real-time graph of the temperature in the heater, evaporators 1,2,3, concentrator, level, and pH

### 4. CONCLUSIONS

Implementing a Data Acquisition System with Real Time Web Visualization of the variables of the cane honey production process is relevant to pass an artisan production to semi-industrial. The case of temperature, pH, and level measurements allows the operator to

know the system's behavior during its various stages of development at different stages of the process. Its correlation analysis allows establishing the mathematical relationship between them, resulting in an essential tool for the subsequent performance of mass and energy balances as a basis for the design of processes.

The differences between the values of the different operating parameters are since the production process is discontinuous and artisanal, with higher levels of variability in pH and the temperature of the heating stage. This work allowed to take the first step to control the quality of the cane honey production process and implement the Internet of Things in the artisan production of Ecuador.

### ACKNOWLEDGMENT

The authors thank: Universidad Estatal Amazónica, Instituto Superior Tecnológico Francisco de Orellana, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz y Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas, for having facilitated the development of this research.

### 5. REFERENCES

- [1]. D. S. Kim and H. T. Dang, *Industrial Sensors and Controls in Communication Networks From Wired Technologies to Cloud Computing and the Internet of Things*. Switzerland: Springer, 2019.
- [2]. S. Escudero, M. Merino, and R. Vásquez, “Sistema de monitoreo remoto vía internet con generación de indicadores de producción para procesos automatizados,” *Revista Politécnica*, vol. 10, no. 19, pp. 35–45, 2014. Disponible en <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/470>
- [3]. M. Barrio, *Internet de las cosas*, Primera. Madrid: REUS, 2018.

- [4]. M. Tascón and C. Arantza, *Big Data y el Internet de las cosas: Qué hay detrás y cómo nos va a cambiar*, Primera. Madrid, 2016.
- [5]. M. Azúa-Barrón, M. A. Vázquez-Peña, R. Arteaga-Ramírez, and R. Hernández-Saucedo, "Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 8, no. 1, pp. 1-12, 2017. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.67>
- [6]. A. O. Chase, M. H. K. Sampaio, J. R. Brito-De-Souza, and J. F. Almeida, "Data acquisition system: An approach to the Amazonian environment", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 10, no. 2, 2012. <https://doi.org/10.1109/TLA.2012.6187606>
- [7]. F. Pethig, B. Kroll, O. Niggemann, A. Maier, T. Tack, and M. Maag, "A generic synchronized data acquisition solution for distributed automation systems", in *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA*, 2012.
- [8]. B. Mohanta, P. Nanda, and S. Patnaik, *New Paradigm of Industry 4.0: Internet of Things, Big Data & Cyber Physical Systems*. Switzerland: Springer, 2020.
- [9]. S. Hunt, "Data acquisition unit for remote monitoring system and method for remote monitoring", US 6,556,956 B1, 2003.
- [10]. J. Poma Deza, R. Tello Yuen, and E. Ruiz Lizama, "Diseño de una estación virtual para el control de las perturbaciones que afectan la temperatura de los procesos industriales", *Industrial Data*, vol. 10, no. 1, pp. 33-41, 2007. <https://doi.org/10.15381/idata.v10i1.6214>
- [11]. J. Espitia, F. Velásquez, R. López, S. Escobar, and J. Rodríguez, "An engineering approach to design a non-centrifugal cane sugar production module: A heat transfer study to improve the energy use", *Journal of Food Engineering*, vol. 274, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109843>
- [12]. F. Velásquez, J. Espitia, O. Mendieta, S. Escobar, and J. Rodríguez, "Non-centrifugal cane sugar processing: A review on recent advances and the influence of process variables on qualities attributes of final products", *Journal of Food Engineering*, vol. 255, no. February, pp. 32-40, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.009>
- [13]. V. R. Cerda Mejía, A. Pérez-Martínez, E. González-Suárez, and D. Concepción Toledo, "El diseño de procesos bajo condiciones de incertidumbre: estrategia para el desarrollo socio-económico en la agroindustria ecuatoriana", *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 11, no. 5, pp. 131-139, 2019.
- [14]. V. R. Cerda Mejía, A. Pérez-Martínez, and E. Gonzales Suarez, "Procedimiento para el diseño óptimo de procesos considerando la calidad: aplicación en la elaboración de miel de caña", *Centro Azúcar*, vol. 47, no. 4, pp. 103-113, 2020.
- [15]. B. Ortega-Tenezaca, V. Quevedo-Tumaili, V. R. Cerda Mejía, O. Guijarro Rubí, E. Guardado Yordi, and A. Pérez-Martínez, "Web Application for Real Time Data Visualization of Heat Sensor", in *Proceedings of MOL2NET 2018, International Conference on Multidisciplinary Sciences*, 4th edition, 2018, p. 5909.
- [16]. M. Ueda, "Licenses of open source software and their economic values, in Proceedings-2005 Symposium on Applications and the Internet Workshops, SAINT2005, 2005, vol. 2005, pp. 381-383.
- [17]. V. Aparna, "Development of automated pH monitoring and control system through USB Data Acquisition", in *Proceedings of 6th IEEE Power India International Conference, PIICON 2014*, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3991>

- [18]. S. Wali and M. Areeb, "Development of Low-Cost DAQ for Power System Signals Using Arduino", in Proceedings of the 21st International Multi Topic Conference, INMIC 2018, 2018.
- [19]. X. Li, B. Zhang, F. Zhong, and X. G. Liu, "Research and implementation of the temperature control system of heat treatment based on .net and RS-485 bus", in Proceedings-2010 International Conference on Intelligent Computing and Integrated Systems, ICISS2010, 2010, pp. 341–345.
- [20]. Z. A. M. Almaqtari and Z. Janin, "Development of virtual pH analyzer", in 2013 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications, ICSIMA 2013, 2013. 10.1109/ICSIMA.2013.6717976
- [21]. I. Fette, A. Melnikov, and I. Ltd., "The WebSocket Protocol", Internet Engineering Task Force, 2011. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/pdf/rfc6455.pdf>. [Accessed: 10-Jun-2020].
- [22]. M. Guerra and M. Mujica, "Physical and chemical properties of granulated cane sugar 'panelas'", *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 20, no. 1, 2009.
- [23]. V. R. Cerda Mejía et al., "Influence of the uncertainty of the operational parameters in obtaining cane syrup in sensorial attributes", in Proceedings of MOL2NET 2016, *International Conference on Multidisciplinary Sciences*, 2nd edition, 2016, p. 3897.
- [24]. S. Mosquera Sánchez, J. Carrera, and H. Villada Castillo, "Variables que afectan la calidad de la panela procesada en el Departamento del Cauca", *Biotechnol. en el Sect. Agropecu. y agroindustrial*, vol. 5, no. 1, pp. 17–27, 2007. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotechnologia/article/view/645/276>
- [25]. M. V. Mujica, M. Guerra, and N. Soto, "Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada", *Interciencia*, vol. 33, no. 8, pp. 598–603, 2008.
- [26]. Y. Shen, X. D. Steven, A. H. A. Sari, and H. Hao, "Data-driven monitoring for stochastic systems and its application on batch process", *International Journal of Systems Science*, vol. 44, no. 7, pp. 1366–1376, 2013. <https://doi.org/10.1080/00207721.2012.659708>

# **CÓDIGO DE CONDUCTA Y GUÍA PARA AUTORES**

# Código de conducta

La revista Lámpsakos es una publicación digital semestral, adscrita a la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Fundada en 2009, la revista tiene una periodicidad semestral (se publica en los meses de enero-junio y julio-diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación en línea de libre acceso, bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial.

La revista Lámpsakos, es de acceso abierto financiada por la Universidad Católica Luis Amigó, quien se ocupa de todos los costos de edición, publicación y divulgación. Por lo tanto, no genera ningún cobro a sus colaboradores (autores, lectores, revisores, bibliotecarios, etc); ni genera ninguna retribución económica ni a los autores, ni a los miembros de los comités. Las decisiones y procedimientos se rigen por criterios de calidad académica, excelencia investigativa, integridad, honestidad y transparencia, por lo que se adhiere a los principios del Committee of Publication Ethics (COPE).

Lámpsakos, se rige a los criterios emitidos por la jurisprudencia colombiana, mientras se rige paralelamente con los derechos de autor y los derechos afines con la sociedad de la información. Enmarcados siempre ante las normas de calidad de diversos sistemas de indexación y resumen.

El código de conducta, tanto la guía para autores, deben ser adoptadas por cualquier actor que se vincule a la revista, en proporción al rol que ejerza.

## Equipo de colaboradores

Con el fin de certificar y garantizar que el actuar de cada uno de los actores implicados se de en el marco de la ética, transparencia, calidad y rigor científico, proporcionando siempre un equipo humano que contribuya a dirimir conflictos, esta revista se acompaña de los siguientes comités:

### **Directora/ Editora**

#### **Ingrid-Durley Torres**

PhD(c) en Ingeniería de Sistemas

Investigador Reconocido en Colciencias

## Comité Editorial

*Rubén Ángel Galindo-Aires*, Ph.D., Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España

*Giner Alor-Hernández*, Ph.D., Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México

*Óscar Sapena-Vercher*, Ph.D., Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España

*Amit Chaudhry*, Ph.D., Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh, India

*Luis Fernando Garcés-Giraldo*, Ph.D., Corporación Universitaria Lasallista, Caldas (Ant), Colombia

*Nazly E. Sánchez-Peña*, Ph.D., Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia

*Nourou Khalidou Dia*, Ph.D., Université des Sciences, Technologies et de Médecin, Nouakchott, Mauritania

*Henry Alonso Colorado-Lopera*, Ph.D., Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

*Julián Alberto Patiño-Murillo*, Ph.D(C)., Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

El comité editorial, se conforma de un equipo humano cuya formación y conocimientos, se relacionan completamente con la orientación temática de la revista y ejercen funciones orientadas a otorgar los niveles de calidad y rigurosidad que demanda. Para cumplir con lo citado, los integrantes de éste comité, revisan, supervisan, dirigen y velan que cada manuscrito presentado y publicado, cumpla con el enfoque, la orientación y los criterios de calidad. Tienen la cualidad de fungir como editores invitados en números especiales y contribuyen con la divulgación de la revista, a fin de incrementar el interés académico y científico de autores y lectores de Lámpsakos, en el mundo. Pueden en algunas contadas ocasiones, someter sus publicaciones al mismo proceso editorial de ésta revista, siempre respetando los parámetros para ello establecidos.

## Comité Científico

*Marcelo Becker*, Ph.D., Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil

*José María Yusta-Loyo*, Ph.D., Universidad de Zaragoza (Unizar), España

*Gustavo Alejandro Schweickardt*, Ph.D., Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina

*Bizuayehu Abebe-Worke*, Ph.D., Universidade da Beira, Covilhã, Portugal

*Aldo Pardo-García*, Ph.D., Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia

*Marta Silvia Tabares-Betancur*, Ph.D., Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

*Yuri Ulianov-López*, Ph.D., Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

*Andrés Felipe Agudelo-Santamaría*, Ph.D., Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

El equipo humano del comité científico goza de reconocimiento en el medio académico, y actúan como asesores externos. No forman parte de su actividad, evaluar artículos y excepcionalmente someten artículos. Su tarea es acompañar con su objetividad la pertinencia y calidad científica de los artículos postulados a publicación.

## Consejo Editorial

*Isabel Cristina Puerta Lopera*, Ph.D. Vicerrectora de Investigaciones

*Carlos Alberto Muñoz*, jefe de la oficina de comunicaciones y RRPP

*Paula Andrea Montoya Zuluaga*, Representante de los docentes investigadores

*Carolina Orrego Moscoso*. Jefe Departamento de Fondo Editorial

*Alvaro Osorio Tuberquia*, Jefe de departamento de Biblioteca

*David Esteban Zuluaga Meza*, Representante de los directores-editores de Revistas Científicas

*Juan Diego Betancurt Arias*, Representante de los directores-editores de Revistas de Divulgación

## Enfoque

Los temas tratados en la Revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigativos, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos, productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la ingeniería. Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en áreas como ingeniería informática, ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica, ingeniería ambiental, ingeniería civil, ingeniería mecánica, ingeniería industrial y demás tópicos centrados en el área de ingeniería.

## Público objetivo

Lámpsakos está dirigida al público nacional e internacional, con interés manifiesto en los temas actuales y científicos de la Ingeniería. Permitiendo aportar conocimientos contextualizados de soluciones reales sobre problemáticas contemporáneas del ámbito de la ingeniería.

Toda la reclamación se recibirá por escrito mediante correo electrónico a la revista [lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co). El plazo máximo será de 5 días hábiles a partir de la recepción de la disconformidad.

## Revisión editorial, antiplagio y evaluación de artículos

1. **Revisión temática de estructura y normas de citación.** Se evalúa la pertinencia del texto con los ejes temáticos de la revista y el cumplimiento de los criterios que se describen en las código de conducta y guía para autores. En caso que no responda a dichos parámetros, se regresa al autor; si la presentación formal o de fondo debe mejorarse, se le solicita realizar las correcciones y hacer un nuevo envío en un tiempo ajustado al cronograma de edición; si el artículo cumple con las condiciones mencionadas, se dará paso a la segunda etapa del proceso.
2. **Política antiplagio.** Con el propósito de identificar si los artículos son originales e inéditos y de evitar posibles copias y plagios, se utiliza tecnología profesional para comparar los manuscritos con otros ya divulgados por distintos medios digitales, incluso, con las publicaciones académicas participantes de Crossref. El sistema tecnológico genera un reporte e índice de similitud; si este último es superior al 25%, el artículo es descartado; si por

el contrario el índice es hasta del 25%, el artículo continúa en la tercera etapa del proceso. A partir del reporte se identifican, errores en el manejo de las citas y referencias, adecuado uso de las fuentes primarias y credibilidad de la información, con lo que se pretende prevenir el plagio.

3. **Evaluación por pares.** Los artículos se someten a evaluación por pares bajo la modalidad de doble ciego, es decir, que es confidencial la información de los autores para los dictaminadores, y viceversa; a esto se agrega que entre estos últimos no se dan a conocer datos personales ni los conceptos evaluativos. Una vez iniciada la evaluación del artículo, los autores se comprometen a no retirarlo hasta la finalización del proceso. El tiempo estimado entre la recepción del artículo y la evaluación es de tres (3) meses. Este lapso puede tener variaciones según la temática del artículo y otros procesos editoriales.

a. **Selección de evaluadores:** la revista cuenta con una base de datos de académicos investigadores, nacionales e internacionales, con experiencia en el ámbito de la ingeniería, respaldado con publicaciones científicas. Para cada artículo se asignan dos pares evaluadores que cumplan con las siguientes exigencias:

- i. Niveles de formación en maestría y prioritariamente, doctorado;
- ii. Sin conflicto de intereses respecto al tema o artículo que evalúen;
- iii. No pertenecer al comité editorial o al científico de la revista ni a la Universidad Católica Luis Amigó;
- iv. Si es colombiano, debe estar reconocido por Colciencias, en caso contrario, tener título de posgrado o un índice H5 mayor a 2.

b. **Revisión de los artículos:** la dirección de la revista entrega a los árbitros el artículo acompañado de un formato de evaluación en el que se abordan los siguientes elementos formales y temáticos:

- i. Pertinencia del artículo de acuerdo con los intereses de la revista
- ii. Correspondencia del título con el tema
- iii. Vigencia del tema
- iv. Utilización de términos y conceptos según la disciplina
- v. Pertinencia de gráficas, tablas y figuras
- vi. Utilización adecuada de las citas y referencias
- vii. Actualidad de las referencias
- viii. Novedad del trabajo
- ix. Rigor teórico-metodológico
- x. Coherencia del texto

4. **Decisión:** el formato se cierra con tres alternativas de dictamen:

- a. "Se publica sin modificaciones";
- b. "Se publica con correcciones";
- c. "No se publica".

Si ambos evaluadores consideran que el artículo “no se publica”, la dirección de la revista comunica la decisión al autor y envía, como soporte, el resultado de las evaluaciones entregado por los árbitros. Si ambos evaluadores coinciden en que el artículo “se publica sin modificaciones”, se informa al autor la decisión y se remite el artículo a la fase de edición. Si un evaluador considera que el artículo debe publicarse sin modificaciones y otro indica que “se publica con correcciones”, se informa al autor acerca de los cambios que debe implementar y la fecha en que debe hacer llegar el documento con las correcciones solicitadas. Si uno de los dos califica el texto como “no publicable”, mientras el otro lo favorece, la dirección de la revista nombrará un tercer árbitro (manteniendo la modalidad “doble ciego”) para dirimir la controversia. Una vez recibida la tercera evaluación, se comunicará al autor el dictamen.

#### ***Causales de rechazo:***

- Que la temática del manuscrito, no corresponda al área de ingeniería.
- El plagio y el autoplagio, la adulteración, invento o falsificación de datos del contenido y del autor.
- Que el artículo haya sido publicado total o parcialmente, perdiendo el carácter de inédito.
- Que el contenido no tenga un nivel de originalidad igual o superior al 75%. Se entiende por originalidad de una obra aquello que resulta de la capacidad del autor de crear, hallar, analizar, imaginar.
- La existencia de conflictos de interés. Es deber de los autores notificar a la revista cualquier situación que pueda influir en los resultados o interpretación de su escrito.
- El incumplimiento de las directrices de la revista: código de conducta y guía para autores.
- La escritura en términos obscenos, abusivos, difamatorios, injuriosos o que de cualquier modo vayan en contravía de la dignidad humana o del buen nombre de una persona natural o jurídica.
- La detección tanto de datos recogidos sin los permisos necesarios de las personas naturales o jurídicas en estos implicadas, como de hallazgos falsos o convenidos.
- Toda información o acto que vaya en contravía de las leyes nacionales e internacionales de Derechos de Autor y de Protección a menores.

#### **Comunicación con los autores**

- Las decisiones editoriales se informarán a los autores de manera oportuna, en términos respetuosos y procurando el mutuo aprendizaje.
- Cada etapa del proceso editorial, la publicación y divulgación será notificada a los autores, quienes en uso de sus derechos podrán hacer y solicitar cambios al texto hasta antes de ser informados de la disposición pública del material diseñado.
- Causales de suspensión de la publicación del artículo
- La detección durante cualquier etapa del proceso de alguno de los términos de rechazo descritos en este apartado.
- Duda o disputa de autoría y coautoría.
- Solicitud de los autores de cualquier tipo de privilegios.

## Transparencia

- Los comités velarán por la calidad académica de la revista; por ende, sus opiniones son consultadas periódicamente y estarán al tanto de la disposición en línea de la revista final.
- El editor-director, los comités y los evaluadores tendrán libertad para emitir su opinión sobre la viabilidad de publicación del artículo.
- La revista no revelará a los evaluadores los nombres de los autores, y viceversa, mientras se cumpla el proceso de edición y revisión de los textos. El grupo evaluador será publicado en las páginas preliminares de cada número.
- En ningún caso, la dirección de la revista exigirá al autor la citación de la misma o de alguno de los miembros de su equipo de colaboradores.
- Los evaluadores declaran la inexistencia de conflictos de interés; es decir, que su concepto no está sesgado por ningún tipo de conveniencia: financiera, laboral, profesional, personal o cualquier otra de la que pueda desprenderse un juicio no objetivo sobre el texto.

## Modelo sin cobro

- La revista no paga a los autores por sus contribuciones ni genera cobros
- por las actividades del proceso editorial o por la publicación.
- No se generan retribuciones económicas a los evaluadores o miembros de los comités.
- Todos los costos de producción editorial, publicación y divulgación son asumidos por la Universidad Católica Luis Amigó.

# Ética de la publicación y buenas prácticas

**Responsabilidades del editor:** el editor de la revista Lámpsakos es el encargado de seleccionar los artículos que harán parte de los volúmenes semestrales de la Revista. Para ello, él mismo se rige por el código de conducta que acoge esta publicación. La selección de los artículos estará guiada por su nivel académico y pertinencia temática, y en este sentido la discriminación por género, orientación sexual, nacionalidad, origen étnico o inclinaciones religiosas o políticas de quienes postulan sus manuscritos nunca será considerada como un criterio de selección. Ahora bien, el editor tiene la posibilidad de discutir las decisiones con respecto a la selección de artículos que tomen otros órganos de la publicación, siempre bajo los criterios de calidad de los textos en el ámbito de la investigación de la ingeniería. En relación con los autores, el editor está comprometido a mantener la confidencialidad de las decisiones que se tomen sobre sus artículos, y en este sentido, solo se comunicará con los autores, y nunca con personas

externas al proceso, sobre los arbitrajes. Finalmente, el editor evitará expresamente gestionar artículos que deriven en conflictos de intereses como resultado de alguna conexión posible con estos, con el objetivo de mantener la transparencia en el proceso de edición y publicación.

**Responsabilidades de los evaluadores:** como parte fundamental del proceso de publicación, los revisores deben mantener la confidencialidad de los manuscritos que se les envían y, en este sentido, evitar compartir con terceros el material a arbitrar. Es fundamental que mantengan objetividad y neutralidad a la hora de formular sus críticas a los manuscritos, sobre todo, estas deben estar fundamentadas en argumentos razonables. Los evaluadores están en libertad de apoyar al editor y al autor para elevar, con sus sugerencias, la calidad académica de los textos que han evaluado. También es su responsabilidad abstenerse de usar para su beneficio el material a arbitrar, y en esta misma línea, evitar hacer parte de procesos de evaluación de los cuales pueda derivarse algún conflicto de intereses. Finalmente, se espera que los evaluadores cumplan los tiempos asignados para su arbitraje y comuniquen al editor sobre su posibilidad de revisar de manera oportuna e idónea el texto que se les invita a evaluar.

**Responsabilidades de los autores:** deben regirse por las normas de publicación y el código de ética que acoge nuestra Revista. Según lo anterior, se exige que sus manuscritos sean originales, inéditos y que no se encuentren en proceso de evaluación en otra revista. Como partes de una comunidad de investigadores, sus textos deben regirse por procedimientos que permitan el desarrollo de su disciplina en el orden científico, es decir, sus textos deben aportar datos veraces y confiables, referencias y fuentes completas y el desarrollo de las temáticas de tal orden que otros investigadores puedan corroborar, discutir o apoyar lo que en ellos se expone. Dado lo anterior, afirmaciones falsas o erróneas no serán toleradas por nuestra publicación. Los manuscritos presentados deben dar reconocimiento de su autoría a las personas que participaron en su construcción y redacción, y en este sentido, tanto autores principales como coautores deben estar incluidos en el texto y haber consentido y revisado la información que se presentará a la Revista. Los autores deben respetar la integridad de las comunidades que participan de sus investigaciones y garantizar la presentación de los formatos que dan cuenta de la participación voluntaria y digna de estas. Asimismo, los datos sobre las fuentes de financiación de su investigación deben ser transparentes. Finalmente, el autor tiene el compromiso de poner en conocimiento, inmediatamente, al editor de algún tipo de error o inexactitud que se haya publicado en su propia investigación.

Procedimiento para dirimir conflictos derivados de comportamientos no éticos: Se solicita, a quien realiza alguna reclamación, que identifique, antes de afirmar que se incurre en un comportamiento que contraviene la ética de nuestra publicación, la naturaleza de la falta y las pruebas que la demuestran, y proceda entonces a elevar su reclamación al editor de nuestra Revista.

## Reclamaciones

- Si una vez publicado el artículo: 1) el editor descubre plagio, adulteración, invento o falsificación de datos del contenido y del autor o errores de fondo que atenten contra la calidad o científicidad, podrá solicitar su retiro o corrección. 2) Un tercero detecta el error, es obligación del autor retractarse de inmediato y se procederá al retiro o corrección pública.
- Durante el proceso de edición, los autores deben reportar al editor cualquier error o inexactitud que identifiquen en el material enviado; si el artículo es publicado con dichas faltas, deben solicitar a la revista la corrección o retractación inmediata.

- Procedimiento para dirimir conflictos derivados de comportamiento no éticos
- Identificar, antes de asegurar que se incurre en comportamientos no éticos, la naturaleza de la falta y las pruebas que la corrobora.
- No emitir ningún juicio u observación asociada con situaciones particulares que estén en estudio hasta que se hayan reunido todas las pruebas y se tenga plena certeza de la existencia de la falta.
- Presentar ante el comité editorial las pruebas correspondientes al caso para que este considere, de acuerdo a la naturaleza de la falta, las acciones que se tomarán frente a la mala conducta.

Entre las acciones que se podrían aplicar, según la naturaleza de la falta, se tienen:

- Informar al autor acerca de la falta, corregirla y llamar la atención para que no se incurra en ella en publicaciones futuras.
- Retracción formal con publicación de una nota editorial en la que se informe el motivo y se llame la atención acerca de la importancia de las buenas prácticas éticas.
- Retiro del artículo con publicación de una nota editorial en la que se informe el motivo y se llame la atención acerca de la importancia de las buenas prácticas éticas.
- Solicitud escrita de retiro del artículo de una publicación paralela, siempre y cuando se evidencie que la versión disponible en Lámpsakos fue precedente.
- Los autores tendrán derecho a que se les publique, junto con la nota editorial, una declaración pública de máximo 80 palabras, en la que se expongan las razones de la falla que originó la acción.
- Informar a las entidades financiadoras, académicas o comerciales, acerca de la falta y las implicaciones de la misma, con el fin de que promueva las buenas prácticas éticas entre sus investigadores.
- Las opiniones contenidas en los artículos son atribuibles de modo exclusivo a los autores; por lo tanto, la Universidad Católica Luis Amigó no es responsable de lo que estas pudieran generar.

Toda reclamación se recibirá por escrito mediante correo electrónico ([lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)). El plazo máximo de respuesta será de cinco días hábiles a partir de la recepción de la disconformidad.

### ***Derechos de autor y acceso a la publicación***

Derechos morales. Se reconoce a los autores la paternidad de la obra y se protege la integridad de la misma. Los autores pueden tener derechos adicionales sobre sus artículos, según lo establecido en su acuerdo con la revista. Además, ellos son moral y legalmente responsables del contenido de sus textos, así como del respeto a los derechos de autor de las obras consultadas y de las citadas en estos; por lo tanto, no comprometen en ningún sentido el pensamiento de los comités, del equipo editorial, los evaluadores, ni de la Universidad Católica Luis Amigó.

### **Licencia**

La revista y los textos individuales que en esta se divulgan están protegidos por las leyes de copyright y por los términos y condiciones de la Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional. © 2018 Universidad Católica Luis Amigó. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en <https://www.funlam.edu.co/modules/fondoeditorial/item.php?itemid=264>

### **Publicación y divulgación**

La revista completa y los textos individuales se publican en formatos PDF y HTML en el *Open Journal Systems* (en el siguiente enlace: <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos>). La revista y cada artículo cuentan con *Digital object identifier* (DOI), lo que facilita su localización en internet, esta herramienta garantiza la preservación de acceso al contenido de la revista en caso que deje de publicarse. La revista usa la publicación anticipada, con el propósito de responder a las necesidades de vigencia del contenido y a los requerimientos de los autores y del medio. Este recurso se utiliza una vez se tengan los conceptos satisfactorios de los pares evaluadores; la publicación provisional contiene la última versión enviada por los autores, sin que aún se hayan realizado la corrección de estilo, la traducción y la diagramación.

Lámpsakos utiliza, entre otros medios, las redes sociales y académicas para la divulgación de su contenido. Y actualmente, está reconocida por diferentes servicios de indexación (ESCI, Dialnet, EBSCO, REDIB, InfoBaseIndex, SapiensResearch, Publindex, Latindex, MIAR, J4F).

### **Periodicidad de la publicación**

Lámpsakos es de carácter semestral. Publica dos números por año, correspondientes a los periodos enero-junio y julio-diciembre.

### **Recepción de contribuciones**

Medio y términos de recepción. Los textos propuestos se remiten mediante el Open Journal System (OJS), software de administración y publicación de revistas que permite el seguimiento a los documentos en sus distintas etapas. Los envíos en línea requieren de usuario y contraseña, que pueden solicitarse en <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/about/submissions#onlineSubmissions>. No se recibirán artículos impresos ni versiones parciales del texto, es decir, aquellas que estructuralmente no se ajustan a alguno de los tipos de artículo descritos en la guía para autores de la revista Lámpsakos.

La dirección de la Revista dará respuesta en un máximo de cinco (5) días acerca de la recepción del documento, pero esto no supone ni obliga su publicación.

Las consultas para la remisión pueden enviarse al correo electrónico de la revista ([lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)).

**Compromiso de los autores y cesión de derechos.** Una vez el Editor verifique el cumplimiento de los requisitos mínimos, solicitará a los autores que: i) declaren que el trabajo es original, inédito, no está siendo evaluado simultáneamente en otra revista; ii) se comprometan a no retirar el artículo luego de la evaluación de pares, si esta determina la viabilidad de la publicación, bien sea en el estado actual o con modificaciones; iii) declaren la inexistencia de conflictos de intereses y manifiesten la cesión de derechos patrimoniales a favor de la Universidad Católica Luis Amigó. iv) autoricen el tratamiento de sus datos personales.

Publicación de datos de autor. Una vez enviado el artículo, se entiende que el autor autoriza la publicación de los datos personales relacionados en la nota de autor.

Autorización para tratamiento de datos. La Universidad Católica Luis Amigó como responsable del tratamiento de los datos y dando cumplimiento a la Ley 1581 de 2012 y al Decreto 1377 de 2013, manifiesta que los datos personales de los integrantes de los comités, evaluadores y autores, se encuentran incluidos en las bases de datos institucionales y son de uso exclusivo de la Universidad. Según la política de privacidad, la cual puede consultar en nuestro sitio web [www.ucatolicaluisamigo.edu.co](http://www.ucatolicaluisamigo.edu.co), los datos no son compartidos o suministrados a terceros sin la autorización previa del titular. Además, la Institución cuenta con los medios tecnológicos idóneos para asegurar que sean almacenados de manera segura y confiable.

De acuerdo con lo anterior, es obligación durante el proceso de edición de la Revista Lámpsakos, autorizar a la Universidad Católica Luis Amigó para el tratamiento de los datos personales, para las finalidades propias de la Institución.

**Declaración de privacidad.** Todos los datos de autores, comités, evaluadores y de-más colaboradores de Lámpsakos les introducidos en la plataforma OJS y/o en los artículos se usarán exclusivamente para la inclusión de la Revista en Sistemas de Indexación y Resumen y los fines declarados por la misma y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

**Cierre de edición.** La recepción de los artículos de investigación es permanente, pero se establecen como fechas de cierre para la selección de los artículos: el tercer viernes de marzo para el número correspondiente al periodo de julio-diciembre; y el tercer viernes de septiembre para el número que se publica en enero-junio. A partir de esos vencimientos, se iniciarán las actividades de corrección de estilo, diagramación, revisión de muestras y demás, propias del proceso de disposición pública del material. Dado el alto número de artículos que recibe la Revista, las actividades de revisión y evaluación se efectúan según el orden de llegada; el tiempo fijado entre la recepción de los artículos de investigación y su publicación es de seis (6) meses.

**Aval del Comité de ética.** Con el fin de evidenciar que se cuenta con los permisos necesarios de las personas naturales y jurídicas implicadas en la investigación de la que es producto el documento, cada artículo que a dichos actores se refiera debe enviar a la revista una copia del aval del Comité de ética del consentimiento y asentimiento informado de la investigación.

# GUÍA PARA AUTORES

La revista Lámpsakos es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Su periodicidad es semestral (se publica en junio y diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación online de libre acceso, publicada bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial. Para tal efecto, considera artículos que respondan a los lineamientos de la presente guía; por tal razón, la continuidad de los textos postulados está supeditada tanto a la comprensión y aceptación de los autores de las políticas de la revista, como al cumplimiento de los criterios que se describen a continuación.

## Formación académica y filiación de los autores

Se reciben artículos de autores con nivel académico de especialización, maestría, doctorado y posdoctorado, y de estudiantes de posgrado que escriban en coautoría con docentes o investigadores titulados en alguno de los niveles mencionados.

Para velar por la exogamia institucional, prevalecerá la publicación de textos de autores externos a la Universidad Católica Luis Amigó, sin que esto prime sobre la calidad del contenido.

## Idioma y tipología de los artículos

Los artículos pueden ser originales e inéditos, escritos en español o inglés siempre y cuando su estructura responda a uno de los tipos descritos por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias en el Documento guía para la indexación, emitido en febrero de 2010 (p. 7), que se citan en esta sección:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura contiene seis partes importantes que dan cuenta del desarrollo formal de la investigación: introducción, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias.
2. **Artículo de reflexión derivada de investigación.** Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. **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.

Aunque la revista privilegia los tres tipos de artículos antes descritos, considera excepcionalmente:

4. **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos. Se acepta para el proceso editorial, sí y solo sí, el estudio da cuenta de cada elemento citado: las experiencias, la revisión sistemática y la comparación con otros trabajos similares de la literatura.
5. **Cartas al editor.** Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista, que a juicio del Comité editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias en el Documento guía para la indexación, emitido en febrero de 2010 (pp. 7-8).

Cada número estará encabezado por:

6. **Presentación.** Documento redactado por el editor; da cuenta de los propósitos de la revista y de los artículos que componen el número en particular.
7. **Editorial.** Texto que recoge orientaciones y reflexiones sobre el dominio temático de la revista escrita por un miembro de los comités o un investigador invitado.

Excepcionalmente se publicarán reseñas de libros, que deberán ser escritas por un autor-investigador reconocido y obedecer a textos que se consideren de importancia para las disciplinas que cubre la revista. Por decisión del Comité editorial, las reseñas podrán ocupar el lugar del editorial.

### *Características de forma de los documentos*

Los manuscritos que deseen participar en las convocatorias, deben cumplir:

- Formato en Word, en tamaño carta.
- Márgenes de 2 cm en cada lado
- Letra Arial tamaño 10 espacio sencillo en doble columna.
- Todas las figuras y tablas se ubican dentro del texto luego de haber sido mencionadas en el texto (no antes). Las tablas no tienen líneas separando las celdas.
- La extensión mínima es de 7.000 palabras y la máxima de 10.000, incluyendo tablas, figuras y notas, exceptuando referencias.
- Numeración bibliográfica según formato IEEE. Todas las citas en el manuscrito deben estar anotadas en las referencias bibliográficas. Tampoco deben existir referencias bibliográficas aisladas que no estén citadas dentro del cuerpo del manuscrito. Cada artículo deberá incluir al menos 15 referencias bibliográficas de calidad científica, con sus respectivos enlaces URL o DOI.
- El título del artículo se escribe en mayúsculas sostenidas, negrilla, cursiva y centrado (Arial 14). Los subtítulos se escriben en negrillas y alineados a la izquierda, con la primera palabra en mayúscula inicial –las demás en minúscula, exceptuando los nombres propios– (Arial 10). Los entretítulos tendrán negrilla, cursiva y mayúscula solo en la letra inicial (Arial 10).

### **Indicaciones para la redacción**

Además de cumplir los lineamientos generales de ortografía y gramática propios del idioma en el que se presenta el artículo, la **redacción** debe ser clara y precisa, sin utilizar eufemismos ni discriminaciones en el lenguaje, como lo estipula el Manual de publicaciones de la *American Psychological Association* (APA, 2010, pp. 61-84). En ese sentido, las diferencias en cuanto al género, orientación sexual, grupo étnico o racial, discapacidades o edad deben mencionarse solo cuando sean relevantes para la comunicación.

Se debe evitar el uso de **citas secundarias** o “citas de citas”; en su lugar es recomendable citar a los autores originales.

Se recomienda el uso de la **cita literal** para presentar ideas que requieran precisión o discusión de términos.

El uso del **ampersand** (&) es exclusivo para citas y referencias en inglés.

El **título** debe tener una extensión máxima de 10 palabras; si incluye subtítulo, la extensión máxima total es de 15 palabras. En este se identifican las variables y asuntos teóricos que se investigan.

La **nota de autor** debe aparecer como pie de página para cada uno de los autores y debe contener lo siguiente: declarar su máximo nivel de formación académica y el programa del que egresó, su filiación institucional, correo electrónico, número de registro en ORCID y su perfil en Google Académico. Para la creación de este último se recomienda el siguiente tutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=Xc3lUyJgYX8>. Se entiende que quienes firman como autores han contribuido de manera sustancial a la investigación.

Los autores deben incluir el nombre y apellidos bibliográficos, es decir, como comúnmente firman las publicaciones científicas. La normalización de este dato permite la trazabilidad de la producción del autor.

El **resumen**, debe ser analítico, estructurado de la siguiente manera: introducción, método, resultados y conclusión, y con un máximo de 150 palabras. En el caso de los artículos de reflexión derivada de investigación, el resumen debe ser del mismo modo, expresar clara y sucintamente el objetivo del artículo, los principales supuestos de los que parte, los argumentos que utiliza como soporte y la tesis que lo estructura. Jamás deben aparecer citas ni referencias en un resumen.

Las **palabras clave**, sin excepción, deben ser mínimo diez (10), separadas por ; escritas con mayúscula inicial y deben ser extraídas de un tesoro reconocido científicamente, tal es el caso del Tesoro de la Unesco, disponible en: [http://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/..](http://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/)

Los autores deben traducir al inglés el título, el resumen y las palabras clave. No se recomienda hacerlo a través de softwares o páginas web.

Las **notas al pie de página** únicamente se utilizan para aclaraciones o digresiones, jamás para referencias ni para información importante. Cuando sean necesarias las notas al pie, deben ir en letra Arial tamaño 8 puntos.

**Estructura del artículo:** en la **Introducción** se plantea el problema de investigación, los antecedentes y el marco teórico, las hipótesis y los objetivos específicos. En **metodología**, se describe la forma, el procedimiento y la técnica en qué se desarrolló la investigación. En **desarrollo** se da cuenta de los hallazgos de la investigación; si es necesario, se hace uso de tablas y figuras. En **conclusiones**, se escucha la voz propia de los autores, con las implicaciones que tiene la investigación realizada y la contribución evidenciando el aporte al área de ingeniería. En **trabajos futuros**, los autores describen las acciones futuras que tomará su investigación. En el **financiamiento** el autor(es) relaciona las instituciones que financiaron la investigación de la que se deriva el artículo. Con el **conflicto de intereses** el autor(es) declara la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole. En la sección de **agradecimientos**, se debe reconocer cualquier ayuda técnica, funciones de apoyo como recolección o ingreso de datos, reclutar participantes, dar sugerencias para el análisis estadístico o lectura, análisis del artículo y apoyo financiero indicando el nombre del proyecto de investigación del que se deriva el artículo, las entidades financiadoras, el código del proyecto, fase de desarrollo y fechas de inicio y finalización. También se incluye en esta sección el reconocimiento a tipo contrato o beca. Por último, en las **referencias** deben ir listadas todas las obras a que se hizo mención en el artículo. Es importante cotejar todas las partes de cada referencia con la publicación original, de manera que no se omita información para su fácil ubicación, incluyendo los DOI o las URL si están disponibles.

### *Estructuras de las citas y referencias*

Las referencias se realizan en formato IEEE <http://www.ieee.org>. Solo se listan en las referencias las obras efectivamente citadas, bien haya sido de forma directa o indirecta. Es importante verificar que siempre se respete la manera como se firman los autores, esto es, que sí lo hacen con dos apellidos, así aparezcan tanto en el momento de la cita como en el listado de referencias. Igualmente es necesario conservar el orden de aparición de los autores en las fuentes consultadas, pues obedece al grado de contribución en la investigación. El orden de organización de las citas en la sección de referencias del artículo, se hace por orden alfabético del apellido del autor (No por orden de citación dentro del artículo).

**Cita textual** (o literal) corta: es cuando se reproduce con exactitud una idea de un autor compuesto por hasta 39 palabras. No se debe alterar ningún término del texto y en caso de precisar o introducir algo, se debe poner entre corchetes. La cita corta va entre comillas y luego de ellas se abren paréntesis para incluir el o los apellidos de los autores, el año y el número de la(s) página(s) de donde se tomó la idea textual. Este tipo de citas nunca van en cursiva y todo énfasis debe indicarse a quién pertenece (si se encuentra en el original o es un énfasis que se quiere hacer). Ejemplo: “Es infinitamente más cómodo, para cada uno de nosotros, pensar que el mal es exterior a nosotros [cursivas añadidas], que no tenemos nada en común con los monstruos que lo han cometido” [1].

### La referencia correspondiente sería así:

- [1]. [1] R. Yousefian y S. Kamalasadán, "A Lyapunov function based optimal hybrid power system controller for improved transient stability", *Electric Power System Research*, vol. 137, pp. 6-15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.03.042>

**Citas literales** o textuales de más de 40 palabras: las citas literales que tienen más de cuarenta palabras se escriben en párrafo aparte y sin comillas ni cursiva. Para efectos de su clara identificación para la diagramación, en la revista Lámpsakos se escriben en un tamaño de 10 puntos, con sangría a 1.0 cm. y sin comillas. Concluida la cita, se escribe punto antes de la referencia del paréntesis y posterior a este. Ejemplo:

La detección de las personas se realiza al inicio de la aplicación de guía, cuando el robot está en la recepción y en espera de un usuario. El algoritmo de detección comprueba si existe algún rostro en el área de visión, si detecta uno, el robot comenzará la interacción invitando al posible usuario a utilizar sus servicios. El usuario que desee utilizar el servicio deberá colocarse frente al robot y utilizar las opciones de una pantalla táctil, esto permitirá que el algoritmo de visión detecte y almacene el color predominante del usuario que será la persona más cercana al robot. El algoritmo de detección de rostros presenta un funcionamiento a una frecuencia promedio de 10Hz. [3].

### La referencia correspondiente sería así:

- [2]. [3] K. L. Luna, E. R. Palacios and A. Marín, "A Fuzzy Speed Controller for a Guide Robot Using an HRI Approach", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 8, 2018. DOI: 10.1109/TLA.2018.8528222

**Paráfrasis o cita no literal:** este tipo de cita toma las ideas de una fuente original y las reproduce, pero no con los términos originales, sino con las propias palabras del autor. Se utiliza para exponer ideas generales. Ejemplo: El trabajo de [4] intenta potenciar una mirada objetiva del avance de la tecnología VoIP, con comparaciones actualizadas de diferentes servicios ofertados a la fecha.

### La referencia correspondiente sería así:

- [3]. [4] M. D. Núñez Cuadrado, C. A. Jativa Huilcapi y R. A. Lara Cueva, "Evaluación del desempeño de la tecnología VoIP en un set de servicio extendido, en concordancia con IEEE 802.11g," *Sistemas y Telemática*, vol. 5, no. 42, pp. 85-100, no. 46, pp. 28-35, 2017.

**Libros:** para citar este tipo de referencia, se usa Iniciales y Apellido del autor, Título del libro en cursiva. Edición. Lugar de publicación: Editorial, Año de publicación.

### Ejemplos:

- [4]. [1] R. G. Gallager. *Principles of Digital Communication*. New York: Cambridge University Press, 2008.

**Artículo de revista:** usar para referenciar, Iniciales y Apellido del autor, "Título del artículo entre comillas", Título de la revista en cursiva, volumen (abreviado vol.), número abreviado (no.) páginas (abreviado pp.), Año.

### Ejemplos

- [5]. [1] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, June 1997.

Para referenciar **artículos que aún no han sido aceptados** para publicación, se empleará la frase "admitido para publicación" en lugar de la fecha. Si han sido aceptados, pero aún no aparecen publicados, usar "a ser publicado" en lugar de la fecha.

**Artículos publicados en conferencias.** Usar el siguiente formato: Iniciales y Apellidos del autor, "Título del artículo de conferencia", el Nombre completo de la conferencia en cursiva, Abreviación del nombre de la conferencia (si existe), Ciudad y País de la conferencia, año, páginas donde se relaciona el artículo (abreviado pp.)

### Ejemplos

- [6]. [1] N. Osifchin and G. Vau, "Power considerations for the modernization of telecommunications in Central and Eastern European and former Soviet Union" CEE/FSU), in *Second International Telecommunications Energy Special Conference*, 1997, pp. 9-16.
- [7]. [2] G. Caire, D. Burshtein, and S. Shamai (Shitz), "LDPC coding for interference mitigation at the transmitter," in *Proceedings of the 40th Annual Allerton Conference in Communications, Control, and Computing*, Monticello, Italia, october 2002, pp. 217-226.

NOTA: La palabra "in" antes del título de la conferencia no se pone en cursiva.

**Artículo presentado en conferencia, sin publicar:** Usar el siguiente formato: iniciales y apellidos del autor, "Título del artículo de conferencia", incluir la palabra presentado en (en inglés presented at) el Nombre completo de la conferencia en cursiva, Abreviación del nombre de la conferencia (si existe), Ciudad y País de la conferencia, año.

### Ejemplo:

- [8]. [3] H. A. Nimr, "Defuzzification of the outputs of fuzzy controllers", presented at 5th *International Conference on Fuzzy Systems*, Cairo, Egypt, 1996.

**Informes técnicos** (informes, documentos internos, memoranda): Para referenciar de esta manera se usa, iniciales y apellido del autor, "título del informe", nombre de la empresa, sede de la empresa, tipo de informe abreviado, número de informe, fecha de publicación.

**Ejemplo:**

- [9]. [4] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, 1997.

**Tesis de máster o tesis doctoral:** para referenciar este tipo de trabajo, se acude a la siguiente información, Iniciales y Apellido del Autor, "Título de la tesis o proyecto", clase de documento (tesis doctoral, trabajo fin de máster, etc.), Departamento, Institución Académica, Ciudad, País, año.

**Ejemplo:**

- [10]. [5] H. Zhang, "Delay-insensitive networks", master thesis, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canadá, 1997.
- [11]. [6] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images", doctoral dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, USA, 1998.

De internet: para referenciar trabajos que son tomados del internet, usar Iniciales y Apellido del Autor (año, mes y día). Título (edición).

**Ejemplo:**

- [12]. [7] J. Jones. (1991, May 10). Networks (2nd ed.) <http://www.atm.com>

**NOTA:** los recursos en internet pueden presentar una tipología muy variada (revistas, monografías, sitios web de entidades, bases de datos, etc.) En general, se citan como el documento impreso del tipo al que pertenecen añadiendo la indicación del DOI (Digital Object Identifier) o URL.

**Catálogos:** para citar los catálogos, se debe usar Catálogo No. (o Catalog No. si es en inglés), Código del catálogo, Nombre del producto, Empresa, Ciudad, Estado

**Ejemplo:**

- [13]. [8] Catalog no. NWM-1, Microwave Components, M. W. Microwave Corp., Brooklyn, New York.

**Estándares o patentes:** para citar este tipo de trabajo se usa, Iniciales y Apellido del autor, "Título de la patente", Número, Mes, Día, Año.

### Ejemplo:

[14]. [9] K. Kimura and A. Lipeles, "Fuzzy Controller Component,"; U. S. Patent 14,860,040, December 14, 1996.

### Envío Del Artículo

- Los artículos deberán enviarse a través del Open Journal de la revista: <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/user/register>, hacer el registro de los metadatos allí requeridos.
- Los campos solicitados nunca deben diligenciarse con mayúscula sostenida.
- Con mayúscula inicial se escriben los nombres propios y también los comunes.
- Cerciorarse de ingresar las referencias correctamente en concordancia con las normas IEEE.
- Es preciso verificar que se cumplen los criterios de la guía para autores.
- Lea las políticas desarrolladas en el código de conducta; con estas deberá estar de acuerdo para participar efectivamente del proceso de edición y publicación –que incluye tanto el suministro de documentación, la autorización de tratamiento de sus datos personales, como ajustes a la propuesta de publicación–.
- Si el artículo ha sido postulado previamente a otra revista, proporcione esta información en Comentarios al editor.
- Si se presenta cualquier dificultad con el envío, puede reportarla al siguiente correo electrónico: [lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)

### Revisión de pruebas

Si un artículo es aceptado para su publicación, luego de la evaluación por pares, se procede a la normalización y corrección de estilo. A los autores se les remite el documento corregido para que realicen la revisión correspondiente y envíen su aprobación u observaciones, de manera que prosiga con la diagramación. Una vez el artículo se diagrama, se le remite el pdf a los autores con el objetivo que examinen si existe algún error tipográfico. En ningún caso se podrán hacer modificaciones de contenido ni adicionar material.

**La contribución debe enviarse únicamente mediante el OJS:**  
<http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/>  
[lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)

Universidad Católica Luis Amigó

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Transversal 51A N° 67B - 90. Medellín, Antioquia - Colombia

Tel: (574) 448 76 66

[www.ucatolicaluissamigo.edu.co](http://www.ucatolicaluissamigo.edu.co)