



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Revista Científica

Numero 31 (1)

Enero-Abril de 2018

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ciencias y Educación

ISSN 0124-2253

e-ISSN 2344-2350

Rector

Dr. Ricardo García Duarte

Vicerrector académico

Dr. William Fernando Castrillón Cardona

Director Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico

Dr. Nelson Libardo Forero Chacón



Centro de
INVESTIGACIONES Y
DESARROLLO CIENTÍFICO

EDITORIA

Dra. Adriana Patricia Gallego Torres

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Tania Pérez Bustos
Universidad Nacional de Colombia (Colombia)

Dra. Johanna Camacho González
Universidad de Chile (Chile)

Dr. Rubén González Crespo
Universidad Pontificia de Salamanca (España)

Dr. Luis Fernando Martínez Arcade
Ecole nationale d'Ingénieurs de Tarbes (Francia)

Mg. Edwin Millán Rojas
Universidad de la Amazonia (Colombia)

Dr. Jaime Duvan Reyes Roncancio
Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia)

COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Agustín Aduriz Bravo
Universidad Autónoma de Buenos Aires (Argentina)

Dr. Charbel Nino El Hani
Universidade Federal da Bahia (Brasil)

Dra. Amparo Vílchez
Universidad de Valencia (España)

Dr. Mario Quintanilla Gatica
Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile)

Graciela Utges
Universidad de Rosario (Argentina)

Dr. Marco Antonio Moreira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)

COMITÉ TÉCNICO

Ingri Gisela Camacho Triana
Gestor Editorial

David Mauricio Valero Gonzalez
Diagramación y Fotografía portada

Fabián Gullavan
Corrector de Estilo

Xpress Estudio gráfico y digital
Impresión

NATURALEZA REVISTA CIENTÍFICA

Periodicidad

La Revista Científica tiene una periodicidad cuatrimestral, los números circulan los meses de enero, mayo y septiembre.

Misión y naturaleza

La Revista Científica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, es auspiciada por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico, la revista es acceso abierto completo. La misión es difundir artículos originales, de alta calidad técnica y científica producidos por miembros de la comunidad académica en el **AREA DE LAS CIENCIAS NATURALES** (física, química, biología, matemáticas, ciencias de la computación, ciencias ambientales y educación científica).

Indexación

La Revista Científica esta indexada en **PUBLINDEX CATEGORIA C** (Sistema Nacional de Indexación de Revistas Científicas Colombianas), en Latindex (Directorio de Publicaciones Científicas de América Latina), REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico), Actualidad Iberoamericana, DOAJ y Academic Journal Database, Periodica, Clase, Google Scholar, Sherpa/Romeo, Fuente Academica Premier Plus (EBSCO), Dulcinea, ERIH PLUS (The European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences), Journal TOCS, Dialnet, MIAR, BASE, NEBIS (recherche Zürich), CIRC CC3METRICS, State Library, worldcat. MASTER JOURNAL LIST (THOMSON REUTERS), EMERGING SOURCES CITATION INDEX, Open Academic Journals Index (OAJI)

Dirección postal

Carrera 7 # 40-53, piso 3, Bogotá, Colombia

Correo electrónico:

revcientifica-cidc@correo.udistrital.edu.co

Página web:

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

CONTENIDO

EDITORIAL

- Educación científica para la paz 5
Patricia Gallego Torres

CIENCIA E INGENIERÍA

- Similarity solution and Runge Kutta method to a thermal boundary layer model at the entrance region of a circular tube: The Lévêque Approximation 6-18
Solución de similitud y método de Runge Kutta para un modelo de capa límite térmica en la región de entrada de un tubo circular: La aproximación de Lévêque
Ali Belhocine, Wan Zaidi Wan Omar

- Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres-Nariño 19-31
Methodology for the determination of wind characteristics and assessment of wind energy potential in Túquerres-Nariño
Francisco Eraso Checa, Edison Escobar Rosero

- Simulación de áreas de alta consecuencia para gasoductos 32-44
Simulation of high consequence areas for gas pipelines
Orlando Díaz-Parra, Enrique Vera-López

EDUCACIÓN CIENTÍFICA

- Aspectos matemáticos que amplían la noción de notación científica en el área de física de educación media general 45-54
Mathematical aspects that extend the notion of scientific notation in the area of Physics of General Middle Education
Yohan Godoy, Yusmery González

- La indagación científica y la transmisión-recepción: una contrastación de modelos de enseñanza para el aprendizaje del concepto densidad 55-67
Scientific inquiry and transmission-reception: a test of teaching models for learning the concept of density
Elvira Patricia Florez-Nisperuza, Andrés Fernando De la Ossa Albis

- Los ejes DOC una estrategia conceptual y metodológica en la construcción del Conocimiento Profesional del Profesor 68-84
The axes DOC: a conceptual and methodological strategy in the construction of professional knowledge of the teacher
Guillermo Fonseca Amaya

- Sistema de alerta para estudiantes con discapacidad visual en la UTM 85-95
Alert system for students with visual disabilities at the UTM
Marely del Rosario Cruz Felipe, Jenner Maricela Pinargote Ortega, Gabriel Primitivo Demera Ureta, Edison Manuel Vera Zambrano, Rosa Antonia Mosquera Alcívar

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

- Fuzzy Systems: An Approach to 5G Networks Under the SDN Paradigm 96-110
Sistemas Difusos: Una Aproximación a las redes 5G bajo el Paradigma SDN
Luis Felipe Albarracín Sanchez, Gustavo Adolfo Puerto Leguizamón



Educación científica para la paz

La educación para la paz desde la educación científica constituye una herramienta fundamental para contribuir a la formación ciudadana. En este sentido, y dadas sus implicaciones antropocéntricas, debería ser problematizada desde la educación en ciencias en primaria, media y secundaria. Nuestras conjeturas apuntan a que este proceso debe comenzar con la introducción de un modelo científico de educación para la paz desde la escolarización inicial, no como una asignatura sino como un eje transversal de los currículos. Este debe ser visto desde la teoría de la complejidad, que sugiere una nueva epistemología en la cual se fundan los valores y las competencias ciudadanas con los saberes disciplinares. Adicionalmente, ha de revisarse desde las respectivas transposiciones didácticas y la perspectiva teórica de la cultura para la paz, ya que además de la introducción de los modelos no podemos dejar de lado las actitudes, los imaginarios, los intereses, las concepciones, entre otros.

Lo anterior, con el ánimo de contribuir en el proceso de postconflicto que atraviesa el país, lo que supone que los académicos y científicos piensen desde este escenario la forma en la que se puede contribuir a que se logre una paz fundamentada y duradera. Uno de los ejes desde el cual se fundamenta la educación para la paz es el desarrollo sustentable, en el que los ciudadanos tengan una adecuada relación con la naturaleza y hagan un uso racional de los recursos, además de fomentar el respeto por su entorno. En este sentido, la Revista Científica se une a la necesidad de aportar a la construcción de la paz, invitando a las comunidades académicas de especialistas a reflexionar y plantear estrategias desde la ciencias hacia el camino de la paz.

PhD. Patricia Gallego Torres
Editora



Similarity solution and Runge Kutta method to a thermal boundary layer model at the entrance region of a circular tube: The Lévêque Approximation

Solución de similitud y método de Runge Kutta para un modelo de capa límite térmica en la región de entrada de un tubo circular: La aproximación de Lévêque

Solução de semelhança e método de Runge Kutta para um modelo de camada limite térmica na região de entrada de um tubo circular: A Aproximação Lévêque

Ali Belhocine¹

Wan Zaidi Wan Omar²

Received: septiembre de 2017

Accepted: noviembre de 2017

Citation: Belhocine, A, and Omar, W.Z.W (2018). Similarity solution and Runge Kutta method to a thermal boundary layer model at the entrance region of a circular tube: The Lévêque Approximation. *Revista Científica*, 31(1), 6-18. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12506>

Abstract

In the thermal entrance region, a thermal boundary layer develops and also reaches the circular tube center. The fully developed region is the zone in which the flow is both hydrodynamically and thermally developed. The heat flux will be higher near the inlet because the heat transfer coefficient is highest at the tube inlet where the thickness of the thermal boundary layer is zero, and decreases gradually to the fully developed value. In this paper, the assumptions implicit in Leveque's approximation are re-examined, and the analytical solution of the problem with additional boundary conditions, for the temperature field and the boundary layer thickness through the long tube is presented. By defining a similarity variable, the governing equations are reduced to a dimensionless equation with an analytic solution in the entrance region. This report gives justification for the similarity variable via scaling analysis, details the process of converting to a similarity form,

and presents a similarity solution. The analytical solutions are then checked against numerical solution programming by Fortran code obtained via using Runge-Kutta fourth order (RK4) method. Finally, others important thermal results obtained from this analysis, such as; approximate Nusselt number in the thermal entrance region was discussed in detail.

Keywords: Thermal entrance region, Thermal boundary layer, Dimensionless variables, Temperature, Nusselt number, Runge-Kutta method.

Resumen

En la región de entrada térmica, se desarrolla una capa límite térmica y también alcanza el centro del tubo circular. La región completamente desarrollada es la zona en la que el flujo se desarrolla tanto hidrodinámica como térmicamente. El flujo de calor será mayor cerca de la entrada porque el coeficiente de transferencia de calor es más alto en la entrada del tubo donde el espesor de la capa límite térmica

¹. Mechanical Engineering, University of Sciences and the Technology of Oran, Algeria. belho2017@gmail.com

². Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Malaysia. wanzaidi@utm.my

es cero y disminuye gradualmente hasta el valor completamente desarrollado. En este trabajo, se vuelven a examinar las suposiciones implícitas en la aproximación de Leveque, y se presenta la solución analítica del problema con condiciones de contorno adicionales, para el campo de temperatura y el espesor de la capa límite a través del tubo largo. Al definir una variable de similitud, las ecuaciones gobernantes se reducen a una ecuación adimensional con una solución analítica en la región de entrada. Este informe proporciona una justificación para la variable de similitud a través del análisis de escalamiento, detalla el proceso de conversión a una forma de similitud y presenta una solución de similitud. Las soluciones analíticas se verifican luego contra la programación de soluciones numéricas mediante el código de Fortran obtenido mediante el método de cuarto orden (RK4) de Runge-Kutta. Finalmente, otros resultados térmicos importantes obtenidos de este análisis, como; el número aproximado de Nusselt en la región de entrada térmica se discutió en detalle.

Palabras clave: Región de entrada térmica, capa límite térmica, variables sin dimensión, temperatura, número de Nusselt, método de Runge-Kutta.

Resumo

Na região da entrada térmica, desenvolve-se uma camada limite térmica e também alcança o centro do tubo circular. A região totalmente desenvolvida é a zona em que o fluxo é hidrodinâmico e termicamente desenvolvido. O fluxo de calor será maior perto da entrada porque o coeficiente de transferência de calor é mais alto na entrada do tubo onde a espessura da camada limite térmica é zero e diminui gradualmente para o valor totalmente desenvolvido. Neste artigo, os pressupostos implícitos na aproximação de Leveque são reexaminados e a solução analítica do problema com condições de contorno adicionais, para o campo de temperatura e a espessura da camada limite através do tubo longo é apresentada. Ao definir uma variável de similaridade, as equações governantes são reduzidas a uma equação sem dimensão com uma solução analítica na região de

entrada. Este relatório fornece justificativa para a variável de similaridade através da análise de escala, detalha o processo de conversão para uma forma de similaridade e apresenta uma solução de similaridade. As soluções analíticas são então verificadas em relação à programação de solução numérica pelo código Fortran obtido através do método Runge-Kutta de quarta ordem (RK4). Finalmente, outros resultados térmicos importantes obtidos a partir desta análise, tais como; O número aproximado de Nusselt na região de entrada térmica foi discutido em detalhes.

Palavras-chaves: Região de entrada térmica, camada limite térmica, variáveis sem dimensões, temperatura, número Nusselt, método Runge-Kutta.

Introduction

In most of heat transfer investigations and in practically convective heat transfer experimental works, heat transfer in a thermally developing laminar flow in circular tubes and channels has been addressed by several authors. The literature research shows that the particular models for predicting heat in the combined inlet region are in the case of a circular tube by Baehr and Stephan (1998) and Stephan (1959) in the case of a parallel plate channel. For the rectangular channel, empirical formulas have been developed by Garimella *et al.* (2000) while numerical data for the polygonal conduits were obtained by Asako *et al.* (1988). Shah and London (1978), Kakac *et al.* (1987), Ebdian and Dong (1998) and Kakac and Yener (1983) carried out complementary work on a rectangular, circular, triangular and parallel plate channel. Hausen (1943) developed a model to study the Graetz problem inside a circular tube. Churchill and Ozoe (1973a and 1973b) proposed simple models to develop flux in a circular duct. With the fully developed asymptote, and for the thermal input region. The Leveque solution was combined by Churchill and Ozoe (1973a and 1973b). For the Graetz

⁵. La importancia de los modelos en la generación del conocimiento científico ha sido puesta de manifiesto muchas veces de forma explícita por los propios científicos; por ejemplo, Pauling, Watson y Crick, entre otros (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016; 2017).

problem, and in order to predict the thermal characteristics in an arbitrary form of the tube, models have been developed by Yilmaz and Cihan (1993 and 1995). These two authors developed models for uniform wall flow conditions (H) and a uniform wall temperature (T) to predict the fully developed Nusselt number. These models have been combined with these models with the generalized Leveque solution so that the input offers an approved model along the length of the tube. Two different problems must be taken into consideration in the input region near the tube inlet. The first assumes the presence of a fully developed hydrodynamic boundary layer, while the other considers the more general problem containing hydrodynamic and thermal boundary layers that have developed. By using the Leveque approximation for the input region, approximate solutions are revealed useful. We can join that the velocity gradient is linear in the thermal entrance region of non-circular tubes in which the thermal boundary layer is thin and presumed to be evolving. Belhocine and Wan Omar (2015), Belhocine (2016) investigated the convective heat transfer and flow fluid inside a horizontal circular tube in the fully-developed laminar flow regime under the constant wall temperature boundary condition, is commonly called the Graetz Problem that our goal is to get the steady temperature distribution in the fluid. Belhocine and Wan Omar (2017) developed an exact solution to the classical Graetz problem in terms of an infinite hypergeometric series represented by a nonlinear partial differential equation considering two space variables, two boundary conditions, and one initial condition.

The purpose of this paper is to present an analytical solution to the Leveque approximation problem (boundary layer approach) which is based on a few assumptions for a fully developed laminar fluid flow inside a circular tube. The methodology for the resolution of the problem is based on the use of the self similar technique. This technique is based on the observation that a lot of problems admit solutions with a shape which

looks like always the same. Our main objective is to find the dimensionless temperature field and the thickness of the thermal boundary layer in the vicinity of the entrance region of the tube. Several steps have been discussed here on the governing equation of the temperature field to reach the solution such that; the non-dimensionalization and the use similarity variables, the transform the partial differential equation to an ordinary differential equation. Summarization of the boundary conditions and the integration of the equation. We then compare the exact approximate solution of the leveque problem with the numerical results using a Runge-Kutta fourth order (RK4) algorithm implemented by the Fortran code. The profiles of the solutions are provided from which we infer that the numerical and exact solutions agreed very well. Another result that we obtained from this study is the number of Nusselt in the thermal entrance region to which a parametric study was carried out and discussed well for the impact of the scientific contribution.

The heat equation in cylindrical coordinates

The general equation for heat transfer in cylindrical coordinates developed by Bird, Stewart, and Lightfoot (1960) is as follows;

$$\begin{aligned} \rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) &= k \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \\ &+ 2\mu \left\{ \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} \right)^2 + \left[\frac{1}{r} \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + u_r \right) \right]^2 + \left(\frac{\partial u_z}{\partial z} \right)^2 \right\} + \mu \left\{ \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right)^2 \right\} \\ &+ \left[\frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{u_\theta}{r} \right) \right]^2 \end{aligned} \tag{1}$$

The Graetz-Poiseuille flow problem

The Graetz problem is the problem of determining the steady-state temperature field in a fluid flowing in a circular tube when the wall of the tube is held

at a uniform temperature and the fluid enters the tube at a different uniform temperature. The fluid enters the tube at a temperature T_0 and encounters a wall temperature at T_ω , which can be larger or smaller than T_0 . The Graetz problem considers the thermal entry of an incompressible fluid in a circular tube with a fixed velocity profile. The situation is illustrated in figure 1.

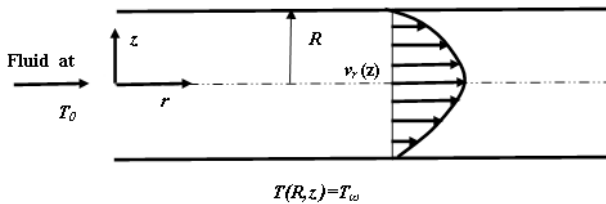


Figure 1. Illustration of Graetz problem.

After some hydrodynamic entry length, the velocity profile approaches a steady profile; that is, it ceases to change the downstream position. A fully developed parabolic velocity profile is established in a circular duct and remains unchanged over the length of the duct. There is a sudden jump in the wall temperature, and the fluid temperature is initially uniform at the upstream wall temperature. The thermal entry problem is to determine the behavior temperature profile as it changes to be uniform at the downstream wall temperature. Because the flow is incompressible, the velocity distribution does not depend on the varying temperatures.

1. The flow is steady, laminar and fully developed flow ($Re < 2400$)
2. Constant physical properties would also be and would not vary with temperature such as ρ, μ, C_p, k . This assumption also implies incompressible Newtonian flow.
3. Axisymmetric temperature field ($\frac{\partial T}{\partial \theta} = 0$),
4. Negligible viscous dissipation
5. For a fully developed hydrodynamic boundary layer, namely Hagen Poiseuille flow, the velocity profile is:

Where u_r is the maximum velocity existing at the centerline, $u_r = 0$, and $u_\theta = 0$.

$$u_z = v_0 \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (2)$$

The energy equation is subject to the assumptions mentioned above, Eq. (1) can be written as follows:

$$v_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (3)$$

where $\alpha = k/\rho C_p$ is the thermal diffusivity of the fluid and, our problem is subjected to the following boundary conditions: at the inlet of the tube $T(r, 0) = T_0$; at the wall of the tube $T(R, z) = T_\omega$ and at the centerline $T(0, z)$ is finite or $\frac{\partial T}{\partial r}(0, z) = 0$,

A suitable set of nondimensional variables is given as:

$$\begin{cases} \theta = \frac{T - T_\omega}{T_0 - T_\omega} \\ Y = \frac{r}{R} \\ Z = \frac{z}{RPe} \end{cases}$$

where the Péclet Number $Pe = \frac{Rv_0}{\alpha}$

After replacement of these variables, the non-dimensional energy equation and the boundary conditions applied to the system will take the following form:

$$(1 - Y^2) \frac{\partial \theta}{\partial Z} = \frac{1}{Y} \frac{\partial}{\partial Y} \left(Y \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) + \frac{1}{Pe^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial Z^2} \quad (4)$$

$$\theta(Y, 0) = 1, \theta(1, Z) = 0, \frac{\partial \theta}{\partial Y}(0, Z) = 0 \quad (5)$$

It is apparent that as the Péclet number (Pe) increases, the effect of the axial diffusion is

significantly diminished. The boundary layer assumptions call for neglecting the axial diffusion altogether, yielding the following governing equation:

$$(1 - Y^2) \frac{\partial \theta}{\partial Z} = \frac{1}{Y} \frac{\partial}{\partial Y} \left(Y \frac{\partial \theta}{\partial Y} \right) \quad (6)$$

This is a linear equation whose solution can be determined by the method of separation of variables. This method yields an infinite hypergeometric series solution for the scaled temperature field:

$$\theta(Y, Z) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{-\beta_n^2 Z} G_n(Y) \quad (7)$$

Where β_n , are the eigenvalues and $G_n(Y)$, are the eigenfunctions of a proper Sturm-Liouville system. The coefficients C_n can be obtained by using the orthogonality property of the eigenfunctions defined as follows:

$$C_n = \frac{\int_0^1 G_n(Y) Y(1 - Y^2) dY}{\int_0^1 G_n^2(Y) Y(1 - Y^2) dY} \quad (8)$$

The Lévêque Approximation

For all values of the axial position, the orthogonal function expansion solution obtained in the resolution of the classical Graetz problem is quite convergent, but the convergence is very slow as soon as one approaches the input tube. Indeed, for very long values of Z , the factor $e^{-\lambda_n^2 Z}$ has become converged. Lévêque (1969) observed the thermal input region in a circular tube and developed a periodic solution, which is useful precisely where the expansion of the orthogonal function converges too slowly (figure 2).

We will presently develop the Lévêque solution based on the hypothesis that the thickness of the thermal boundary layer $\delta_t \ll R$. This assumption leads to the following reductions:

- In the radial conduction term, the curvature effects can be neglected. Thus, derivative $\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right)$ is approximated by $\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial r} \left(R \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2}$
- Since we have been captivated that by the velocity distribution in the thermal boundary layer, the velocity field is developed in a Taylor series in the distance measured from the tube wall and if we keep the first non-zero term.

If we set $x=R-r$, the speed distribution will take the following form:

$$v_z(r) = v_0 \left(1 - \frac{(R-x)^2}{R^2} \right) = v_0 \left(2 \frac{x}{R} - \frac{x^2}{R^2} \right) \approx 2v_0 \frac{x}{R} \quad (9)$$

We know that the boundary conditions outside the thermal boundary layer are those of the fluid entering the tube, we will use the boundary condition $T(x \rightarrow \infty) \rightarrow T_0$ instead of the centerline boundary condition used to arrive at the Graetz solution.

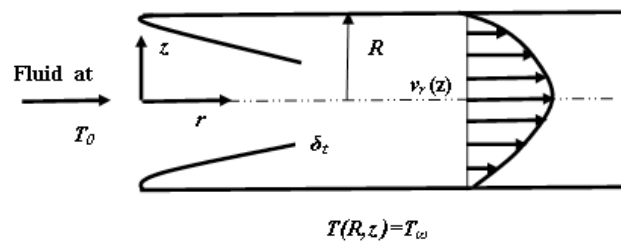


Figure 2. Schematics of the Lévêque problem and the coordinate system.

Governing Lévêque's Equation

Starting from the reduced energy equation whose axial conduction has been neglected yet, and considering the said hypotheses, for the temperature field, we obtain the following governing equation

$$2v_0 \frac{x}{R} \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (10)$$

We have used the chain rule in order to transform the second derivative in r into a secondary derivative of x .

$$2X \frac{\partial \theta}{\partial Z} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} \quad (11)$$

Boundary Conditions

The temperature field $T(x, z)$, is subject to the following boundary conditions.

$$\begin{cases} T(x, 0) = T_0 \\ T(0, z) = T_\omega \\ T(\infty, z) = T_0 \end{cases}$$

Non-Dimensionalization

Now, we will use dimensionless variables for the simplification of the equation. For this, we introduce the temperature and the axial coordinate of the following forms

$$\theta = \frac{T - T_\omega}{T_0 - T_\omega}, \quad Z = \frac{z}{R Pe} \quad (12)$$

The scaled governing equation from the wall via $X=x/R$ and the boundary conditions are given as follows

$$2X \frac{\partial \theta}{\partial Z} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} \quad (13)$$

$$\begin{cases} \theta(X, 0) = 1 \\ \theta(0, Z) = 0 \\ \theta(\infty, Z) = 1 \end{cases}$$

Analytical Methodology for Problem Solving: Temperature Field and Thermal Boundary Layer

At the current problem, we are looking for a similarity solution for the temperature field, we assume, $\theta(X, Z) = F(\eta)$, where $\eta = X/\delta(Z)$

is the similarity variable and $\delta(Z)$ is an unknown variable that draws the thickness of the scaled thermal boundary layer. Using the chain rule, we will perform the following necessary transformations.

$$\frac{\partial \theta}{\partial Z} = \frac{\partial \eta}{\partial Z} \frac{dF}{d\eta} = \left(-\frac{X}{\delta^2} \frac{d\delta}{dZ} \right) \frac{dF}{d\eta} = -\frac{\eta}{\delta} \frac{d\delta}{dZ} \frac{dF}{d\eta} \quad (14)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial X} = \frac{\partial \eta}{\partial X} \frac{dF}{d\eta} = \frac{1}{\delta} \frac{dF}{d\eta} \quad (15)$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} = \frac{\partial}{\partial X} \left[\frac{1}{\delta(Z)} \frac{dF}{d\eta} \right] = \frac{1}{\delta} \frac{\partial}{\partial X} \left[\frac{dF}{d\eta} \right] = \frac{1}{\delta} \frac{\partial \eta}{\partial X} \frac{d}{d\eta} \left[\frac{dF}{d\eta} \right] = \frac{1}{\delta^2} \frac{d^2 F}{d\eta^2} \quad (16)$$

When we use these results, the partial differential equation for $\theta(X, Z)$, is converted to an ordinary differential equation for $F(\eta)$

$$\frac{d^2 F}{d\eta^2} + 2\eta^2 \left(\delta^2 \frac{d\delta}{dZ} \right) \frac{dF}{d\eta} = 0 \quad (17)$$

We put the term in parentheses $\left(\delta^2 \frac{d\delta}{dZ} \right)$ a constant is equal to 3/2 because it is certain that the similarity hypothesis will fail unless this quantity is required to be independent of Z. Finally, we obtain an ordinary differential equation for $F(\eta)$ and another for $Z(\delta)$.

$$\frac{d^2 F}{d\eta^2} + 3\eta^2 \frac{dF}{d\eta} = 0 \quad (18)$$

$$\delta^2 \frac{d\delta}{dZ} = \frac{3}{2} \quad (19)$$

In order to derive the boundary conditions of these functions, it is enough to go to the limiting conditions on $\theta(X, Z)$. We notice that $\theta(0, Z) = 0$ which implies $F(0)=0$ and $\theta(\infty, Z) = 1$ which leads to $F(\infty) = 1$. The residual condition (input) gives us

$$\theta(X, 0) = F\left(\frac{X}{\delta(0)}\right) \quad (20)$$

By favoring $\delta(0) = 0$, this condition collapses into the condition $F(\infty) = 1$ obtained already from the boundary condition on the scaled temperature field as $X \rightarrow \infty$. By synthesizing the boundary conditions on $F(\eta)$ and $\delta(Z)$, we obtain:

$$F(0)=0, F(\infty) = 1 \text{ and } \delta(0) = 0$$

From the equation, we can write

$$\frac{d^2F}{d\eta^2} = -3\eta^2 \tag{21}$$

By integrating the two terms of the obtained equation

$$\int \frac{d^2F}{d\eta^2} d\eta = - \int 3\eta^2 d\eta \tag{22}$$

We arrive at the following expression

$$\ln \left[\frac{dF}{d\eta} \right] = -\eta^3 + k = \ln [C e^{-\eta^3}] \tag{23}$$

Where k and C are constants of the integral. By analogy, the following is drawn

$$\frac{dF}{d\eta} = C e^{-\eta^3} \tag{24}$$

Finally, the solution of the equation will take the following expression:

$$F(\eta) = C \int_0^\eta e^{-\eta^3} d\eta \tag{25}$$

The function $F(\eta)$ checks the initial condition for $\eta = 0, F(0) = 0$, and also considers the boundary condition for $\eta \rightarrow \infty, F(\infty) = 1$; which implies

$$F(\infty) = 1 = C \int_0^\infty e^{-\eta^3} d\eta \tag{26}$$

From where

$$C = \frac{1}{\int_0^\infty e^{-\eta^3} d\eta} \tag{27}$$

So

$$F(\eta) = \frac{\int_0^\eta e^{-\eta^3} d\eta}{\int_0^\infty e^{-\eta^3} d\eta} \tag{28}$$

The scaled boundary layer thickness $\delta(Z)$ is calculated by the integration, which gives the following solution

$$\delta(Z) = \left(\frac{9}{2} Z \right)^{1/3} \tag{29}$$

Finally, the solution of our differential equation takes the following form

$$F(\eta) = \frac{\int_0^\eta e^{-\gamma^3} d\gamma}{\int_0^\infty e^{-\gamma^3} d\gamma} = \frac{1}{\Gamma(4/3)} \int_0^\eta e^{-\gamma^3} d\gamma \tag{30}$$

Where $\Gamma(x)$ is the Gamma function (Abramowitz and Stegun, 1965), a Matlab code was used to approximate the values of the integral and the function $F(\eta)$ for each abscissa η .

Resolution of the problem using the Runge-Kutta 4th order method

The original ODE of our problem is defined as follows:

$$\frac{d^2F}{d\eta^2} + 3\eta^2 \frac{dF}{d\eta} = 0 \tag{31}$$

With $\eta = 0, F(0) = 0$ and $\frac{dF}{d\eta}(0) \neq 0$

However, we wish to use the 4th order Runge-Kutta method, so I have the system:

$$\begin{cases} \frac{dF}{d\eta} = P \\ \frac{dP}{d\eta} = -3\eta^2 P \end{cases} \quad (32)$$

With $F(0) = 0$ and $P(0) = 1$. Now, we know that for two general 1st order ODE's

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx} = f(x, y, z) \\ \frac{dz}{dx} = g(x, y, z) \end{cases} \quad (33)$$

The 4th order Runge-Kutta formula's for a system of 2 ODE's are:

$$\begin{cases} y_{i+1} = y_i + (k_0 + 2k_1 + 2k_2 + k_3)/6 \\ z_{i+1} = z_i + (l_0 + 2l_1 + 2l_2 + l_3)/6 \end{cases} \quad (34)$$

Where

$$\begin{cases} k_0 = hf(x_i, y_i, z_i) \\ k_1 = hf(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{k_0}{2}, z_i + \frac{l_0}{2}) \\ k_2 = hf(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{k_1}{2}, z_i + \frac{l_1}{2}) \\ k_3 = hf(x_i + h, y_i + k_2, z_i + l_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} l_0 = hg(x_i, y_i, z_i) \\ l_1 = hg(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{k_0}{2}, z_i + \frac{l_0}{2}) \\ l_2 = hg(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{k_1}{2}, z_i + \frac{l_1}{2}) \\ l_3 = hg(x_i + h, y_i + k_2, z_i + l_2) \end{cases}$$

We typically need some inputs for the algorithm:

- A range that we want to do the calculations over: $a \leq t \leq b$, let's use $a=0, b=1$
- The number of steps N , say $N=10$
- The step size $h=(b-a)/N=1/10=0.1$

The flowchart for the above process is shown in figure 3.

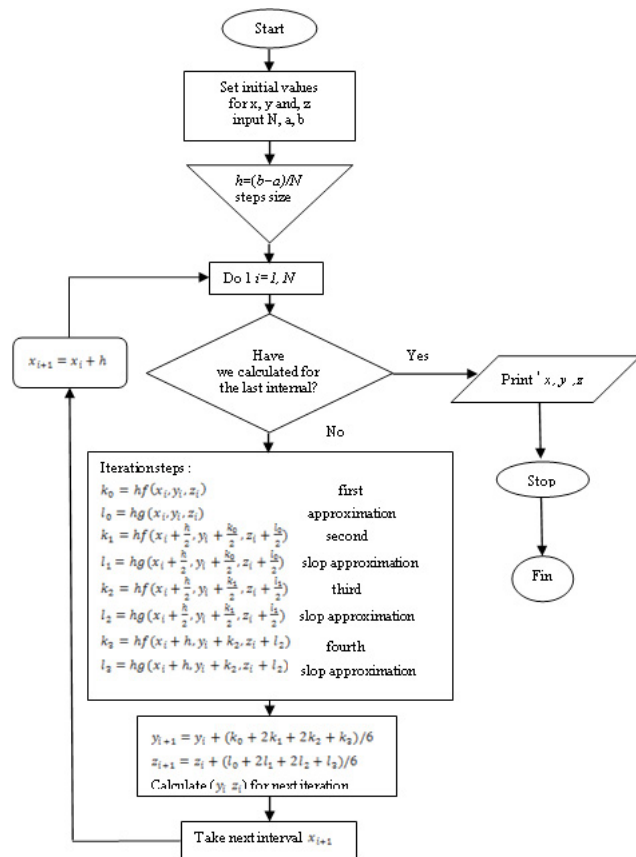


Figure 3. Flowchart of the RK-4 method for resolving the second ODE's systems.

The main program is written in Fortran language to solve the Levêque approximation containing a system of two differential equations of order 1 using the fourth-order Runge Kutta method RK04. This program relies on a definition of two functions whose subroutine RK04 is called at each repetition of the loop that intervenes in the calculations. The code edited in the machine that was executed is illustrated in detail in figure 4.

```

Program Test_Rk4
integer, parameter :: SIZE = 100
real*8 X(SIZE),Y(SIZE),Z(SIZE)
real*8 x1,x0,h
integer k,kl,1
pause ' Adjust window size...'
x0=0.d0 !starting x
x1=3.d0 !ending x
kl=30 !number of steps in x
h=(x1-x0)/kl !integration step
X(0)=x0
Y(0)=0.d0; Z(0)=0.89293687d0 !starting values
!integration loop
do k=0, kl-1
call RK4(X(k),Y(k),Z(k),h,X(k+1),Y(k+1),Z(k+1))
end do
!write header
print *, ' X Y estimated Z estimated '
print *, '-----'
!write kl+1 result lines
do k=0, kl
write(*,10) X(k), Y(k), Z(k)
end do
print *, '-----'
print *, '
stop
10 format(F9.4,F12.7,F15.7)
END
!y'z
real*8 Function F(x,y,z)
real*8 x,y,z
F=z
return
End
!z'=-3xxx
real*8 Function G(x,y,z)
real*8 x,y,z
G=-3d0*x*x*z
return
End
!Integrate sytem from x to x+h using Runge-Kutta
Subroutine RK4(x,y,z,h,x1,y1,z1)
real*8 x,y,z,h,x1,y1,z1
real*8 c1,c2,c3,c4,d1,d2,d3,d4,h2,F,G
c1=F(x,y,z)
d1=G(x,y,z)
h2=h/2.d0
c2=F(x+h2,y+h2*c1,z+h2*d1)
d2=G(x+h2,y+h2*c1,z+h2*d1)
c3=F(x+h2,y+h2*c2,z+h2*d2)
d3=G(x+h2,y+h2*c2,z+h2*d2)
c4=F(x+h,y+h*c3,z+h*d3)
d4=G(x+h,y+h*c3,z+h*d3)
x1=x+h
y1=y+h*(c1+d2.d0*c2+2.d0*c3+c4)/6.d0
z1=z+h*(d1+d2.d0*d2+2.d0*d3+d4)/6.d0
return
End
    
```

Figure 4. Fortran code of Runge Kutta for set of first order differential equations.

RESULTANTS and DISCUSSIONS

Comparison between the analytical and the numerical results

Analytical and numerical results that describe solutions with both methods in this analysis are summarized in table 1.

Figure 5 shows a comparison between the resolution results of the equation predicted by the analytical method and the numerical data derived from the Fortran code, the two sets of results of which are plotted in the same figure. On the basis of figure 5, it can be seen that the two curves are fairly identical, while observing that the dimensionless temperature θ gradually and gradually increases to the abscissa $Z = 0.7$, then loops and arches a little, by varying its path until it reaches the position

$Z = 1.7$ where it stabilizes at a constant value 0.79 along the tube until the outlet of the fluid stream. In the same figure, the derivative function $\frac{dF}{d\eta}$ which is physically interpreted as the variation of the thermal transfer coefficient (h) indicated in blue color which is a solution of our system of differential equation by the Runge Kutta method decreases exceptionally as it moves away from the inlet region and then reaches the value zero on the abscissa $Z = 1.6$ until the exit of the flow. Figure 5 indicates that the present analytical results are in good agreement with the numerical results and theoretical analysis calculated using a fourth order Runge Kutta method. However, with RK04 approach, the method provides an extremely accurate approximation.

Table 1. Results of the exact and the numerical solution.

η	Exact analytical solution $F(\eta) = \theta(X, Z)$	Numerical solution via fourth-order Runge-Kutta (RK4) method using a Fortran Code		
		X	Y estimated	Z estimated
0	0	0.0000	0.0000000	0.8929367
0.1	0.08927136	0.1000	0.0892714	0.8920442
0.2	0.17823109	0.2000	0.1782309	0.8858217
0.3	0.26608715	0.3000	0.2660866	0.8691499
0.4	0.35156264	0.4000	0.3515626	0.8375790
0.5	0.43300027	0.5000	0.4329998	0.7880137
0.6	0.50853023	0.6000	0.5085291	0.7194705
0.7	0.57631574	0.7000	0.5763146	0.6336619
0.8	0.63483615	0.8000	0.6348343	0.5351335
0.9	0.68314582	0.9000	0.6831438	0.4307465
1	0.72105634	1.0000	0.7210538	0.3284985
1.1	0.74916957	1.1000	0.7491656	0.2359384
1.2	0.76875346	1.2000	0.7687482	0.1586460
1.3	0.78149478	1.3000	0.7814872	0.0992794
1.4	0.78918921	1.4000	0.7891808	0.0574867
1.5	0.79347888	1.5000	0.7934697	0.0306282
1.6	0.79567283	1.6000	0.7956641	0.0149366
1.7	0.79669613	1.7000	0.7966892	0.0066372
1.8	0.79712921	1.8000	0.7971242	0.0026785
1.9	0.7972944	1.9000	0.7972914	0.0009805
2	0.79735155	2.0000	0.7973494	0.0003264
2.1	0.79736852	2.1000	0.7973676	0.0000995
2.2	0.79737298	2.2000	0.7973729	0.0000283
2.3	0.79737387	2.3000	0.7973742	0.0000077
2.4	0.79737387	2.4000	0.7973746	0.0000021
2.5	0.79737477	2.5000	0.7973747	0.0000006
2.6	0.79737477	2.6000	0.7973747	0.0000002
2.7	0.79737477	2.7000	0.7973747	0.0000001
2.8	0.79737477	2.8000	0.7973747	0.0000000
2.9	0.79737477	2.9000	0.7973747	0.0000000
3	0.79737477	3.0000	0.7973747	0.0000000

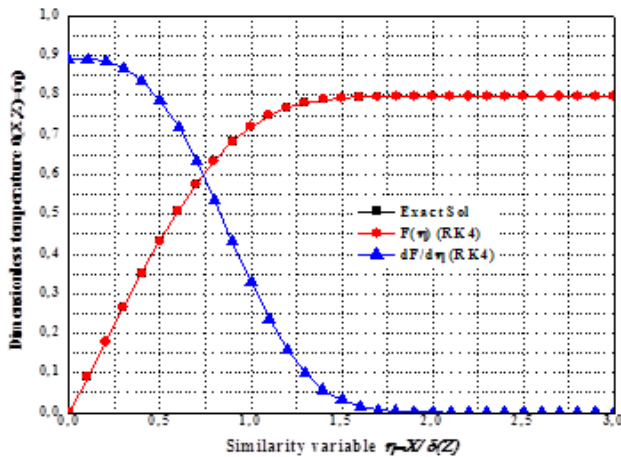


Figure 5. Comparison of exact and fourth-order Runge Kutta (RK4) numerical solutions.

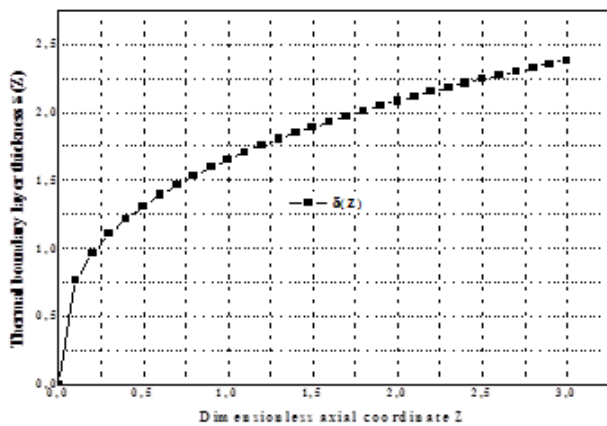


Figure 6. Thermal boundary layer thickness distribution by analytical method.

Figure 6 depicts variation of thermal boundary layer thickness with axial position. The thickness of the boundary layer gradually elongates from zero moving in the direction of the flow of the fluid when the fluid enters the tube and eventually leads to the center of the tube and invades the whole of the pipe. The wall shear stress is the highest at the pipe inlet where the thickness of the boundary layer is smallest, and decreases gradually to the fully developed value. Therefore, the pressure drop is higher in the entrance regions of a pipe, and the effect of the entrance region is always to increase the average friction factor for

the entire pipe. This increase may be significant for short pipes, but is negligible for long ones. It can be seen that directly at the wall is a thin layer where the velocity is considerably lower than it is at some distance from the wall. The thickness of this layer increases along the tube from front to back. The fluid velocity in a pipe changes from zero at the wall because of the no-slip condition to a maximum at the pipe center.

The heat transfer coefficient

Depending on the axial position, the heat flux from the wall to the fluid, we can calculate it directly using the following formula:

$$q_{\omega}(z) = k \frac{\partial T}{\partial r}(R, z) \tag{35}$$

By usual notation, we define the heat transfer coefficient $h(z)$ as follows:

$$q_{\omega}(z) = h(z)(T_{\omega} - T_b) \tag{36}$$

Where T_b is the bulk or cup-mixing average temperature. The mathematical definition of the bulk average temperature is given by the following expression:

$$T_b = \frac{\int_0^R 2\pi r V(r) T(r, z) dr}{\int_0^R 2\pi r V(r) dr} \tag{37}$$

Where $V(r) = v_0(1 - r^2/R^2)$ is the velocity field. The heat transfer coefficient is related to the temperature gradient at the tube wall, we can estimate it as follows:

$$h(z) = \frac{k \frac{\partial T}{\partial r}(R, z)}{(T_{\omega} - T_b)} \tag{38}$$

We can define the Nusselt number as a dimensionless heat transfer coefficient.

$$Nu(Z) = \frac{2hR}{k} = -2 \frac{\partial \theta}{\partial Y}(1, Z) \frac{1}{\theta_b(Z)} \quad (39)$$

Where θ_b is the dimensionless bulk average temperature

When the thermal boundary layer is thin in the thermal entrance region, the average bulk temperature T_b can be approximated by the temperature of the fluid entering the tube T_0 .

As a result, the heat transfer coefficient in this input region is defined as:

$$q_\omega = k \frac{\partial T}{\partial r}(R, z) = h(T_\omega - T_0) \quad (40)$$

Changing into dimensionless variables and defining a Nusselt number $Nu=2hR/k$ we can write the following:

$$Nu(Z) = 2 \frac{\partial \theta}{\partial X}(0, Z) = \frac{2}{\delta(Z)} \frac{\partial F}{\partial \eta}(0) \quad (41)$$

By substituting $\delta(Z)$ and $\frac{\partial F}{\partial \eta}(0)$, the approximate Nusselt number obtained in the thermal entrance region is given by the following form.

$$Nu(Z) \approx 1.357 Pe^{1/3} \left(\frac{R}{Z}\right)^{1/3} \quad (42)$$

By comparing with the exact solution, we can draw that this result is a good approximation in the range:

$$\frac{Pe}{2500} \leq \left(\frac{z}{R}\right) \leq \frac{Pe}{50} \quad (43)$$

Figure 7 exhibits the Nusselt number versus axial distance, Z obtained in the thermal entrance region, for different Reynolds numbers. As expected, the Nusselt number, $Nu(Z)$, enhances by increasing the tube radius, and that this effect is magnified near the entrance. When Z is greater than a certain distance all the plots become

nearly flat, indicating a thermally fully-developed condition. Indeed, when fluid enters the tube with tube walls at a different temperature from the fluid temperature, thermal boundary layer starts growing. After some distance downstream (thermal entry length) thermally fully developed condition is eventually reached.

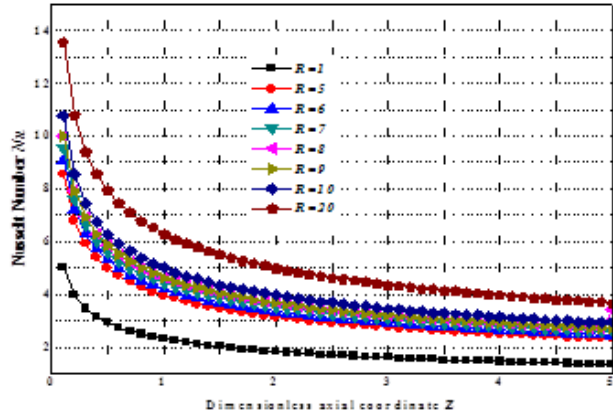


Figure 7. Nusselt number in the thermal entrance region versus axial position for different tube radius.

Figure 8 shows the effect of the Péclet number on the Nusselt number at a various axial distance. It's clearly seen, the Nusselt number increases with the increasing Péclet number. As can be seen, the Péclet number has a much more pronounced effect on the Nusselt values for positions near the tube entrance. However the curve exhibits the same overall behavior-larger Nu at small Z and more or less constant value of large Z . It is evident that the local Nusselt number decreased in the entry region as the thermal boundary layer developed. It reached a constant value independent of heat flux and Reynolds number in the thermally fully developed region. Hence, the heat transfer coefficient (h) is infinite in the beginning (boundary layers just building up), then decays exponentially to a constant value when flow is fully developed (thermally) and thereafter remains constant. The results show that the value of the Nusselt number starts high and decrease rapidly along the length of the tube.

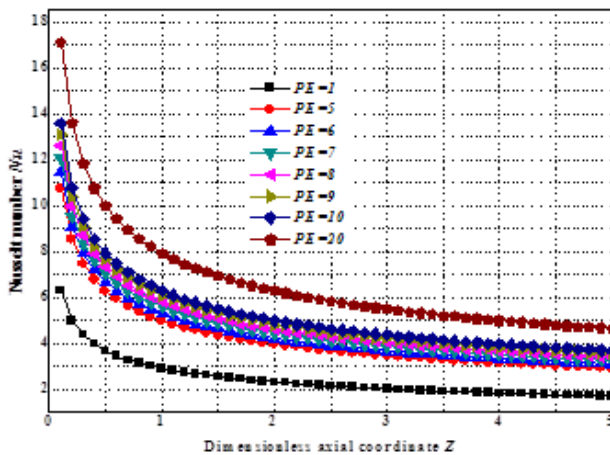


Figure 8. Nusselt number in the thermal entrance region versus axial position with various Peclet numbers

Conclusions

This paper presented an analytical and numerical solution to the Levêque approximation problem in order to predict the temperature field and boundary layer thickness at thermal entrance fully developed region through a circular tube with boundary condition at the axial coordinate origin. The exact solution methodology was based on the similarity variable and the generalized integral transform technique while the numerical approach is based on the fourth-order Runge Kutta technique for a linear system of ordinary two-variable differential equations programmed in Visual Fortran v5.0. The solution method was verified to lead to converging values which are in accordance with physically expected results. After demonstrating the convergence of the solution, the Nusselt number distribution of different Péclet values was analyzed, and the results are also in accordance with expected literature values. As final comments one should mention that the same solution procedure can be used for any dynamically developed velocity profile, as it occurs in many other occasions. Also, the methodology can be easily extended to other configurations such as other channel geometries, different wall heating conditions, and vicious and other flow heating effects.

References

- Abramowitz, M. and Stegun, I. (1965). *Handbook of Mathematical Functions*. New York: Dover.
- Asako, Y., Nakamura, H. and Faghri, M. (1988). Developing Laminar Flow and Heat Transfer in the Entrance Region of Regular Polygonal Ducts. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 31, 2590-2593. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(88\)90186-X](https://doi.org/10.1016/0017-9310(88)90186-X)
- Baehr, H. and Stephan, K. (1998). *Heat Transfer*. Berlin: Springer-Verlag.
- Belhocine, A. (2016). Numerical study of heat transfer in fully developed laminar flow inside a circular tube. *Int J AdvManuf Tech*, 85(9), 2681-2692. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-8104-0>
- Belhocine, A. and [Wan Omar, W.Z.](#) (2015). Numerical study of heat convective mass transfer in a fully developed laminar flow with constant wall temperature. *Case Studies in Thermal Engineering*, 6, 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2015.08.003>
- Belhocine, A. and [Wan Omar, W.Z.](#) (2017). An analytical method for solving exact solutions of the convective heat transfer in fully developed laminar flow through a circular tube. *Heat Transfer-Asian Research*, 1-12. <https://doi.org/10.1002/htj.21277>
- Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N. (1960). *Transport Phenomena*. New York: John Wiley and Sons.
- Churchill, S.W. and Ozoe, H. (1973a). Correlations for Laminar Forced Convection with Uniform Heating in Flow Over a Plate and in Developing and Fully Developed Flow in a Tube. *ASME J. Heat Transfer*, 95, 78-84. <https://doi.org/10.1115/1.3450009>
- Churchill, S.W. and Ozoe, H. (1973b). Correlations for Laminar Forced Convection in Flow Over an Isothermal Flat Plate and in Developing and Fully Developed Flow in an Isothermal Tube. *ASME J. Heat Transfer*, 95, 416-419. <https://doi.org/10.1115/1.3450078>

- Ebadian, M.A. and Dong, Z.F. (1998). Forced convection internal flows in ducts. In: Rohsenov, W.M., Hartnett, J.P., and Cho, Y.I. (eds.), *Handbook of heat transfer*, 3rd edition (pp.5.1-5.137). New York: McGrawHill.
- Garimella, S., Dowling, W.J., Van derVeen, M. and Killion, J. (2000). Heat Transfer Coefficients for Simultaneously Developing Flow in Rectangular Tubes. Proceedings of the 2000 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, vol. 2, pp. 3-11.
- Hausen, H. (1943). Darstellung des Wärmeübergangs in Rohren durch verallgemeinerte Potenzbeziehungen. *VDI-Zeitung, Suppl. Verfahrenstechnik*, 4, 91-98.
- Kakac, S. and Yener, Y. (1983). Laminar Forced Convection in the Combined Entrance Region of Ducts. In: Kakac, S., Shah, R.K. and Bergles, A.E. (eds.), *Low Reynolds Number Heat Exchangers* (pp. 165-204). Washington: Hemisphere Publishing.
- Kakac, S., Shah, R.K. and Aung, W. (1987). *Handbook of Single Phase Convective Heat Transfer*. New York: Wiley.
- Lévêque, M.A. (1969). Les lois de la transmission de chaleur par convection. *Annales des Mines, Memoires, Series 12, 13*, 201-299, 305-362, 381-415 (1928). In Newman, J., *Trans. ASME J. Heat Transfer*, 91, 177.
- Shah, R.K., and London, A.L. (1978). *Laminar Flow Forced Convection in Ducts*. New York: Academic Press.
- Stephan, K. (1959). Wärmeübergang und Druckabfall bei Nicht Ausgebildeter Laminar Stromung in Rohren und in Ebenen Spalten. *Chem-Ing-Tech*, 31, 773-778. <https://doi.org/10.1002/cite.330311204>
- Yilmaz., T. and Cihan, E. (1993). General equation for heat transfer for laminar flow in ducts of arbitrary cross-sections. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 36(13), 3265-3270. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(93\)90009-U](https://doi.org/10.1016/0017-9310(93)90009-U)
- Yilmaz., T. and Cihan, E. (1995). An Equation for Laminar Flow Heat Transfer for Constant Heat Flux Boundary Condition in Ducts of Arbitrary Cross-Sectional Area. *J. Heat Transfer*, 117(3), 765-766. <https://doi.org/10.1115/1.2822644>





Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres - Nariño

Methodology for the determination of wind characteristics and assessment of wind energy potential in Túquerres - Nariño

Metodologia para a determinação das características do vento e a avaliação do potencial de energia eólica em Túquerres -Nariño

Francisco Eraso-Checa¹

Edisson Escobar-Rosero²

Diego Fernando Paz³

Carlos Morales⁴

Recibido: junio de 2017

Aceptado: noviembre de 2017

Para citar este artículo: Eraso-Checa, F., Escobar-Rosero, E., Paz, D.F., y Morales, C. (2018). Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres-Nariño. *Revista Científica*, 31(1), 19-31. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12304>

Resumen

El mundo experimenta un aumento constante en la demanda de energía eléctrica. Una alternativa para suplir dicha demanda consiste en la implementación de energías renovables. En Colombia, desde la aparición de la Ley 1715 se ha desarrollado una política de incentivos para la integración de nuevos proyectos en este tipo de energías. Por ello, es importante adelantar estudios con datos reales para que eventualmente puedan ser implementados. En este artículo se presenta el análisis del potencial de generación eólica de la sabana de Túquerres, ubicada en el departamento de Nariño, Colombia. El potencial se obtuvo a partir de la medición de la velocidad del viento entre los meses de junio y diciembre del año 2015. Los datos se analizaron estadísticamente según una medida de tendencia central, distribución

de frecuencias y distribución de *Weibull* para la normalización de datos dispersos. Finalmente, se calculó la densidad de potencia a partir del modelo de una turbina eólica de eje horizontal y se simuló la curva de generación eléctrica de la zona. La velocidad de viento promedio de la zona es de 4,4 m/s y la densidad de potencia encontrada es igual a 3,47 W/m².

Palabras clave: densidad de potencia, distribución del viento, generación de energía, energía eólica, turbina eólica, velocidad del viento.

Abstract

The world is living a steady increase in the electric power demand, an alternative power generation different to conventional is the renewable energy. With the appearance of the Law 1715, Colombia has an incentives policy for the integration of new projects

1. Institución Universitaria Centro de Estudios Superiores María Goretti. San Juan de Pasto, Colombia. Contacto: feraso@iucsmag.edu.co
2. Institución Universitaria Centro de Estudios Superiores María Goretti. San Juan de Pasto, Colombia. .Contacto: eescobar@iucsmag.edu.co
3. Institución Universitaria Centro de Estudios Superiores María Goretti. San Juan de Pasto, Colombia. Contacto: Diegopaz901@gmail.com
4. Institución Universitaria Centro de Estudios Superiores María Goretti. San Juan de Pasto, Colombia. Contacto: carlos-0719941@hotmail.com

in renewable energies. Because of that, is important to develop studies with real data in the field of the potential of renewable energy resources which can be implemented. This article presents the analysis of the wind generation potential of Túquerres Savanna, located in the department of Nariño. The potential was obtained from the measurement of the wind speed, during the period between the months of June and December of the year 2015. The data were analyzed statistically according to a measure of central tendency, frequency distribution and Weibull distribution for the normalization of scattered data; finally, the power density was calculated according to a horizontal axis wind turbine and the electrical generation potential of the area was simulated. The average wind speeds are 4,4 m/s and the power density founded is 3,47 W/m².
Keywords: energy generation, eolic energy, eolic turbine, power density, wind distribution, wind speed.

Resumo

O mundo está experimentando um aumento constante da procura de electricidade. Uma alternativa para atender a essa demanda é a implementação de energia renovável. Com o advento da Lei 1715, Colômbia desenvolve uma política de incentivos para a integração de novos projetos nesse tipo de energia. Portanto, é importante para fazer avançar os estudos com dados reais para eventualmente, ser implementado. Este artigo apresenta a análise do potencial de geração eólica da sabana de Tuquerres, localizado no departamento de Nariño. O potencial foi obtido a partir da medição da velocidade do vento entre Junho e de Dezembro de 2015. Os dados foram estatisticamente analisados como uma medida da tendência central, distribuição de frequência e distribuição de Weibull para a normalização dos dados dispersos; finalmente, a densidade de potência é calculado a partir do modelo de uma área de geração de energia eólica de eixo horizontal da curva de potência foi simulado. A área média da velocidade do vento é de 4,4 m/s e a densidade de energia é encontrada igual a 3,47 W/m².

Palavras-chaves: densidade de potência, distribuição do vento, energia eólica, geração de energia, turbina de vento, velocidade do vento.

Introducción

Colombia experimenta un incremento en la demanda de energía eléctrica debido principalmente a la expansión demográfica y al crecimiento industrial. Una alternativa para cubrir la demanda de esta, teniendo en cuenta la sostenibilidad y confiabilidad del Sistema Nacional Interconectado (SIN), es integrar las energías renovables y aprovechar que Colombia cuenta con diversos recursos energéticos renovables que pueden ayudar a la generación eléctrica requerida para soportar el crecimiento tanto del sector residencial como industrial.

El viento es una de esas fuentes renovables. Su fuerza se aprovecha para la generación de energía eólica mediante los sistemas aerogeneradores. La respuesta eléctrica de un determinado tipo de aerogenerador depende de las condiciones de viento de una zona específica; a partir de la dirección se define la ubicación del aerogenerador y con la velocidad se determina el potencial eólico del viento expresado en potencia por unidad de área (López, 2012). Este parámetro es necesario para alimentar el modelo del aerogenerador y predecir la cantidad de energía eléctrica que se puede generar en dicha zona.

En este documento se analiza el potencial eólico de la sabana de Túquerres, un municipio ubicado en el departamento de Nariño, Colombia, cuya geografía y condiciones climáticas aparentan ser favorables para el aprovechamiento del viento.

Fundamento Teórico

Condiciones ambientales de la sabana de Túquerres

La cabecera municipal de Túquerres se ubica sobre la parte alta de la sabana perteneciente al altiplano de Túquerres e Ipiales, atravesado por los ríos Sapuyes y Guátara. Esta es la altiplanicie más alta de Colombia al pie del volcán Azufral con un promedio de alturas superior a los 2900 msnm y

se localiza a 72 km de San Juan de Pasto, capital del departamento de Nariño (Alcaldía de Túquerres, 2015).

El clima está modificado por diferentes factores ya que, pesar de encontrarse en la zona tórrida o intertropical, posee un promedio de temperaturas que oscila entre los 9 y los 13 °C, situación que es determinada por la altura. El promedio anual de lluvias es de 900 mm, valor que aumenta a medida que se desciende hacia el piedemonte de la cordillera occidental en el Pacífico (Alcaldía de Túquerres, 2015). El comportamiento de la curva del viento es mono modal con los mayores valores entre los meses de julio, agosto y septiembre, siendo el mes de agosto el que mayor promedio presenta con 5,4 m/s; mientras que los valores medios mínimos se encuentran en el mes de abril con 3,3 m/s (Alcaldía de Túquerres, 2011).

Energía eólica

El viento es el aire en movimiento causado por la diferencia de temperatura que se encuentra en diferentes puntos de la tropósfera. La energía solar calienta el aire de manera desigual haciendo que las masas de aire caliente asciendan y el aire frío descienda en un movimiento circundante que puede ser suave o fuerte. Esta situación depende de la velocidad, la cual a su vez depende de la altura en la que se encuentre el movimiento del aire (Eraso-Checa, Erazo y Escobar, 2017).

Para la zona ecuatorial a la cual pertenece el municipio de Túquerres, se sitúa una franja de claro predominio de “vientos de componente Este, Nordeste en el hemisferio Norte y Sudeste en el hemisferio Sur. Se trata de los vientos alisios, vientos bastantes constantes y regulares que recorren estas latitudes a una velocidad media de 20km/h” (González, 2012).

En esencia, la energía eólica aprovecha la energía cinética producida por el viento para hacer girar un sistema de aspas que permiten obtener energía eléctrica mediante el uso de un generador. La electricidad puede consumirse en tiempo real,

acumularse para su posterior consumo o transportarse para ser suministrada en otros territorios (Escudero-López, 2011).

Sistemas eólicos

Un aerogenerador o un conjunto de aerogeneradores conectados a una carga de manera directa o a través de un convertor DC/AC establecen un sistema eólico; estos pueden funcionar de manera independiente o estar conectados a la red comercial. Sus aplicaciones más comunes se orientan al área de telecomunicaciones y a sistemas aislados para viviendas. El generador transforma la energía del viento en corriente directa de 12 o 24 voltios DC que puede entregarse a la carga, a un convertor DC/AC o almacenarse en un banco de baterías. El sistema cuenta con un regulador electrónico de voltaje que vigila el estado de carga de las baterías, distribuye la corriente y compensa las pérdidas de tensión en la línea de conducción (Chinchila-Sánchez, 2001).

La energía eólica es competitiva con respecto a fuentes convencionales de energía como la hídrica y la térmica (Escudero-López, 2011). En la actualidad, se construyen grandes parques eólicos con generadores de 1 a 2 megavatios de potencia (70 m de diámetro y torres de más de 150 metros de altura). España, Alemania y Dinamarca son los países que presentan un mayor crecimiento con instalaciones anuales que superan los 2500 megavatios (Pintor González, 2014).

Aerogenerador de eje horizontal

Las turbinas eólicas de eje horizontal tienen el eje del rotor principal y el generador eléctrico en la parte superior de una torre y deben apuntar en dirección al viento (Moragues y Rapallini, 2003). Tienen varios componentes como: el rotor que convierte la fuerza del viento en energía rotatoria del eje, una caja de engranajes aumenta la velocidad y un generador transforma la energía del eje en energía eléctrica (Impsa, 2016).

Potencia suministrada por un aerogenerador de eje horizontal

La potencia suministrada por un aerogenerador de eje horizontal depende de la superficie barrida por la hélice, es decir, de la longitud de las palas y es independiente del número de las mismas.

La energía que origina el viento es energía cinética causada por la masa del aire en movimiento, como se observa en la ecuación 1.

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

Donde m es la masa del aire en Kg y v es la velocidad instantánea del viento (m/s) como se observa en la ecuación 2.

$$m = \Phi \cdot V \quad (2)$$

Donde Φ es la densidad del aire igual a $1,25 \text{ kg/m}^3$, y V es el volumen del cilindro barrido, representado en la ecuación 3.

$$V = AL \quad (3)$$

Donde A es la superficie barrida, L la longitud del cilindro y t el tiempo, como se observa en la ecuación 4.

$$L = vt \quad (4)$$

De esta forma, la energía cinética se representa mediante la ecuación 5.

$$E_c = \frac{1}{2} \Phi \cdot V \cdot v^2 = \frac{1}{2} \Phi \cdot A \cdot L \cdot v^2 = \frac{1}{2} \Phi \cdot A \cdot v \cdot t \cdot v^2 = \frac{1}{2} \Phi \cdot A \cdot v^3 \cdot t \quad (5)$$

La ecuación 6. determina la potencia teórica del aerogenerador.

$$P = \frac{E_c}{t} = \frac{1}{2} \Phi \cdot A \cdot v^3 \quad (6)$$

Si el área barrida transversalmente por el viento es circular, como ocurre en todas las máquinas

eólicas de eje horizontal, la ecuación 7. permite calcular dicha área.

$$A = \Phi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (7)$$

Siendo D el diámetro; por lo que la potencia disponible se observa en la ecuación 8.

$$P = \frac{\pi}{8} \cdot \Phi \cdot D^2 \cdot v^3 \quad (8)$$

Caracterización del aerogenerador

La energía almacenada en el viento es muy elevada pero esta no se aprovecha en su totalidad. Albert Betz demostró en 1919 que la extracción de la energía del viento hace que este reduzca su velocidad. Según el teorema de Betz, la energía máxima que podrá captarse del viento para que el rendimiento sea el máximo es el 59% de la energía cinética del viento; esto representa la primera pérdida del rendimiento final de la turbina (Villanueva y Marcello, 2016). La potencia que se puede extraer del viento con un aerogenerador está determinada por la ecuación 9. (Escudero-López, 2011).

$$P = C_p \cdot \frac{\Phi}{2} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v^3 \quad (9)$$

En donde:

C_p : coeficiente de potencia.

Φ : densidad del aire (Kg/m^3).

v : velocidad del viento (m/s).

D : diámetro de las hélices (m).

Un parámetro importante para caracterizar el funcionamiento de un aerogenerador es la densidad del aire, la cual para Colombia oscilan entre $0,7 \text{ Kg/m}^3$ sobre zonas de alta montaña y $1,2 \text{ Kg/m}^3$ en zonas ubicadas a nivel del mar. Teniendo en cuenta la información previa, el valor de la densidad del aire a trabajar es $0,7 \text{ Kg/m}^3$ el cual corresponde a zonas de alta montaña (Upme, s.f.), semejante al lugar de desarrollo de la investigación.

Una vez se ha conseguido la densidad del aire para el lugar de ubicación del sistema y se ha conocido el valor de la velocidad promedio del viento, se obtiene la potencia del viento por medio de la ecuación 10.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \cdot \Phi V^3 \quad (10)$$

En donde:

$\frac{P}{A}$: densidad de potencia (W/m^2).

Φ : densidad del aire (Kg/m^3).

V : velocidad del viento (m/s).

Metodología

Instalación de la estación meteorológica

Para la instalación se consideraron los parámetros de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), entre los que se encuentran: la ubicación del anemómetro, la cual debe estar a 10 metros de altura con relación al suelo; la resistencia de los postes a vientos fuertes; la ubicación correcta de la veleta mediante el uso de una brújula; el tiempo de muestreo igual a 10 minutos; y la calibración de los instrumentos de medición. Los datos se analizaron teniendo en cuenta el aerogenerador horizontal.

Organización de los datos adquiridos por la estación

Los datos extraídos de la estación correspondieron a la velocidad y dirección del viento, estos, se organizaron por hora y fecha en una hoja de cálculo, registrando promedios por hora, día, semana y mes.

Medidas de tendencia central de la velocidad del viento

Se realizó el cálculo de la velocidad del viento media, máxima, mínima, la moda, la mediana y la

desviación estándar de los datos recolectados durante el periodo de monitoreo mediante la herramienta de análisis descriptivo de Excel®.

Distribución de frecuencia del viento

Se realizó la distribución de frecuencias con los datos adquiridos en el periodo de monitoreo, los cuales se organizaron de menor a mayor. Al aplicar la regla de *Sturges* se obtuvo el número y la amplitud de clases en los que se distribuye la velocidad del viento; se calculó la frecuencia absoluta la cual corresponde al número de ocurrencias en horas de cada intervalo; y se obtuvo la probabilidad de ocurrencia de la velocidad del viento para cada intervalo (esto se observa en la tabla 4).

Densidad de potencia eólica

La estimación de la densidad del potencial eólico de la sabana de Túquerres para el periodo de monitoreo, se calculó de acuerdo a la ecuación 10. Para este cálculo se tuvo en cuenta el valor de la densidad del viento (Φ) igual a $0,7 \text{ Kg/m}^3$ (*Upme*).

Ajuste de la densidad de potencia con distribución de Weibull

Se utilizó la función de probabilidad de *Weibull* (Walpole, 2007) con el fin de realizar un análisis estadístico de los datos de densidad de potencia, debido a que esta ha demostrado tener un buen ajuste con los datos de velocidad del viento. Para calcular la probabilidad de *Weibull* se determinaron los parámetros de forma y escala (β y α), obtenidos por medio del análisis de regresión lineal entre los valores de la variable y su probabilidad acumulativa, utilizando la transformada logarítmica y el método de mínimos cuadrados.

Coefficiente de potencia

A partir de la ecuación 9. se calculó el coeficiente de potencia que determina el valor máximo de

aprovechamiento de la energía cinética disponible en la sabana de Túquerres. Este valor debe ser inferior al límite de *Betz*.

Análisis matemático del viento en la sabana de Túquerres

Registro de datos

El 5 de junio de 2015 se llevó a cabo la instalación de la estación meteorológica Meteoagro MA 3081 en la sabana de Túquerres, a una altura de 3533 msnm, en las coordenadas 1° 5'29.01" latitud Norte y 77°40'22.00" longitud Oeste, correspondiente a la finca San Pedro. El periodo de monitoreo fue de junio a diciembre de 2015. La descarga de información se realizó cada dos semanas, periodo en el cual se supervisó el funcionamiento de la estación.

Para la instalación de la estación se tuvieron en cuenta las normas que establece la OMM y se siguieron sus recomendaciones para la documentación de la información recopilada, organizándola según la descripción de los instrumentos utilizados, la metodología de recolección de información, el periodo de tiempo de recolección de datos, los parámetros monitoreados, las coordenadas y geografía de la zona y los responsables de las mediciones.

Velocidad del viento

La tabla 1 presenta los datos de velocidad de viento (m/s) promediados para cada uno de los meses correspondientes al periodo de muestreo. El promedio general por hora es de 4,4 m/s.

Tabla 1. Velocidad promedio del viento por mes (m/s) (junio-diciembre).

Junio	Julio	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
3,74	3,65	4,26	4,85	4,64	5,26

Fuente: elaboración propia.

Análisis de la velocidad del viento

Partiendo de la información promedio horaria de la velocidad del viento almacenada por la estación meteorológica cada 10 minutos, se obtuvo la gráfica del comportamiento del viento durante cada mes del periodo de monitoreo y la gráfica total del mismo (figura 1).

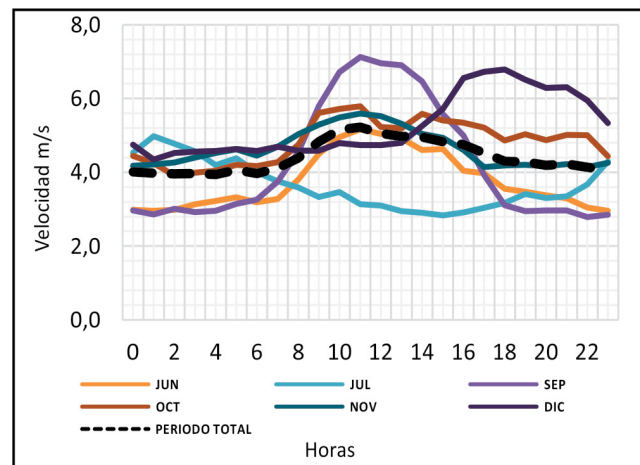


Figura 1. Velocidad horaria del viento durante junio a diciembre del 2015.

Fuente: elaboración propia.

Se observa que en el mes de septiembre se obtuvieron los mejores registros de velocidad, con una velocidad máxima de 7,2 m/s promedio hora; el mes con menor velocidad registrada fue julio, donde se presentaron velocidades entre 2,8 y 5 m/s; para los demás meses la velocidad estuvo por encima del valor requerido para la generación de energía eléctrica, el cual es de 3,5 m/s. La línea punteada describe el comportamiento de la velocidad promedio hora del viento durante todo el periodo de monitoreo, este permanece constante entre las 12 y las 6 horas con una velocidad de 4 m/s; a partir de las 7 hasta las 11 horas se incrementa la velocidad hasta alcanzar un valor pico de 5,2 m/s; por último, se puede observar que entre las 7 y las 18 horas se alcanza una velocidad superior a las 4 m/s.

Medidas de tendencia central de la velocidad del viento

Haciendo uso de la herramienta de análisis descriptivo de Excel®, se realizó el cálculo de la media, máxima, mínima, moda, mediana y desviación estándar de la velocidad del viento monitoreada. En el análisis se presenta la velocidad media mensual del viento y se demuestra que esta se encuentra por encima del valor necesario para la generación de energía eólica. La velocidad máxima se encuentra entre 12,9 m/s y 13,9 m/s en intervalos cortos de tiempo pero que significan un buen potencial de generación eléctrica (véase tabla 2). La velocidad mínima registrada fue de 1 m/s.

El cálculo de la moda representa el dato de velocidad con mayor frecuencia, siendo para el mes de junio, julio y septiembre igual 2,7 m/s, para los meses de octubre y noviembre de 3,7 m/s y para diciembre de 3,8 m/s. La mediana es el valor central en un conjunto de todos los datos ordenados con los datos registrados en la tabla. Por último, se calculó la desviación estándar, la cual indica la variabilidad que tienen los datos con respecto a la media. Se puede notar que la variabilidad durante el periodo de monitoreo no supera el 2,8%.

Teniendo en cuenta que la altura mínima de un aerogenerador de eje horizontal es de 30 m sobre el nivel del suelo, se procede a calcular la velocidad media del viento a esta altura a ese nivel aplicando la ecuación 11.

$$Vm(z) = Vm(r) \frac{z^\alpha}{r} \tag{11}$$

Donde:

$Vm(z)$: velocidad media a la altura (z) de exploración (m/s).

$Vm(r)$: velocidad media a la altura de referencia (m/s).

Z: altura a la cual se va a explorar (m).

r: altura de referencia (m).

α : coeficiente de rugosidad del sistema

En la tabla 3 se presentan los valores de velocidad del viento en la sabana de Túquerres a 30 metros de altura (**z**), partiendo de la ubicación de la estación (r) y un valor del coeficiente de rugosidad (**α**) igual a 0,1 correspondiente a las características de la zona donde se llevó a cabo el monitoreo de la velocidad del viento.

Tabla 3. Velocidad del viento a 10 y 30 metros de altura.

Mes	Z	r	α	Velocidad del viento (m/s)		Incremento (%)
				Altura 10 mts	Altura 30 mts	
Jun				3,8	4,2	12%
Jul				3,7	4,1	12%
Sep	30	10	0,1	4,3	4,8	12%
Oct				4,8	5,4	12%
Nov				4,6	5,2	12%
Dic				5,3	5,9	12%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Medidas de tendencia central para la velocidad del viento.

Mes	Media	Max	Min m/s	Moda	Mediana	Desviación estándar (%)
Jun	3,8	12,9	1,0	2,7	3,1	2,2
Jul	3,7	12,9	1,0	2,7	3,1	2,1
Sep	4,3	13,9	1,0	2,7	3,7	2,3
Oct	4,8	12,9	1,0	3,7	4,4	2,8
Nov	4,6	13,6	1,0	3,7	4,4	1,4
Dic	5,3	13,7	1,0	3,8	4,8	1,8
Prom	4,4	13,9	1,0			

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3 se observa que a 30 metros de altura la velocidad del viento se incrementa en un 12%, haciendo lo que hace factible la implementación de tecnologías para generación de energía eólica pues las velocidades estarían por encima de los 4 m/s y superarían la velocidad necesaria para la generación eólica (Eolicat, 2016).

Distribución de frecuencias de la velocidad del viento

Para realizar la distribución de frecuencias de la velocidad del viento se aplicó la regla de *Sturges* (González, 2005), para lo cual es necesario conocer el rango de datos, el número y el ancho del intervalo; esta distribución se observa en la tabla 4. En esta se encuentran los límites de velocidad del viento inferior (L_i), superior (L_s), la frecuencia relativa (fr) y su sumatoria acumulada (Fr), la frecuencia absoluta (fa) y su sumatoria acumulada (Fa).

Se puede observar que a partir del número de clase tres la producción de energía eólica es de

19.906 horas, las cuales se obtiene mediante la sumatoria de las frecuencias absolutas (fa). Esto significa que el 77% del tiempo muestreado el sistema eólico genera electricidad.

Histograma de velocidad del viento en la sabana de Túquerres

La distribución de frecuencias de la velocidad del viento se visualiza en la figura 2. Esta se organiza teniendo en cuenta el número de clases encontradas mediante la regla de *Sturges*. Se puede observar que la mayor cantidad de datos se encuentra ubicada en la clase cuya tendencia central es 3,7 m/s.

También se observa que los datos presentan asimetría hacia la derecha, lugar en el que se encuentran las velocidades que superan los 3 m/s. 15 374 datos se encuentra entre 3 y 6 m/s lo que corresponde al 60,1% del total de las 25 581 horas monitoreadas. Lo anterior significa que la zona de estudio presenta un buen potencial para la implementación de energía eólica.

Tabla 4. Distribución de frecuencias mediante la regla de *Sturges*.

No.	Velocidad		Marca (m/s)	fa	fr	Fa	Fr
	L_i (m/s)	L_s (m/s)					
1	1,0	1,9	1,4	2107	0,082	2107	0,0824
2	1,9	2,8	2,3	3568	0,139	5675	0,2218
3	2,8	3,7	3,2	4006	0,157	9681	0,3784
4	3,7	4,6	4,1	5535	0,216	15216	0,5948
5	4,6	5,4	5,0	3708	0,145	18924	0,7398
6	5,4	6,3	5,9	2439	0,095	21363	0,8351
7	6,3	7,2	6,8	2003	0,078	23366	0,9134
8	7,2	8,1	7,7	942	0,037	24308	0,9502
9	8,1	9,0	8,6	747	0,029	25055	0,9794
10	9,0	9,9	9,4	236	0,009	25291	0,9887
11	9,9	10,8	10,3	74	0,003	25365	0,9916
12	10,8	11,7	11,2	36	0,001	25401	0,9930
13	11,7	12,6	12,1	98	0,004	25499	0,9968
14	12,6	13,4	13,0	49	0,002	25548	0,9987
15	13,4	14,3	13,9	23	0,001	25571	0,9996
16	14,3	15,2	14,8	10	0,000	25581	1,0000
Total				25581	1	25581	

Fuente: elaboración propia.

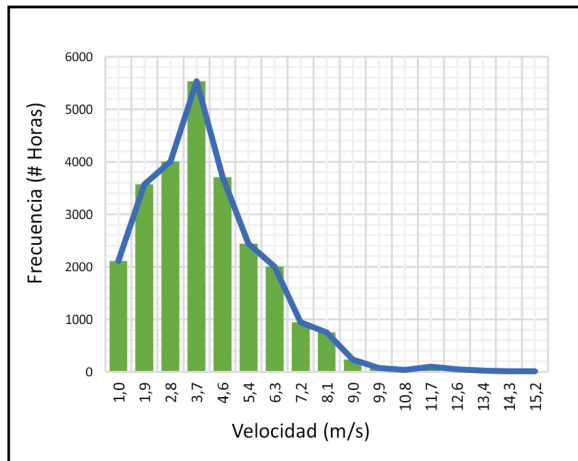


Figura 2. Histograma de la velocidad del viento.
Fuente: elaboración propia.

Densidad de potencia eólica

La estimación de la densidad del potencial eólico de la sabana de Túquerres para el periodo de monitoreo se calcula de acuerdo a la ecuación 10 y se representa en la tabla 5 para cada una de las clases.

Las variaciones que presenta el viento dependen de las condiciones climatológicas de la zona, por esto es necesario el uso de métodos estadísticos para evaluar el aprovechamiento del potencial eólico en la zona. Dada la variabilidad y asimetría del histograma representado en la figura 2, se puede normalizar la función de la probabilidad de distribución de la velocidad del viento a través del análisis de *Weibull*. Los parámetros para dicho análisis se obtuvieron mediante el análisis de regresión lineal entre los valores de la variable y su probabilidad acumulativa, utilizando la transformada logarítmica y el método de mínimos cuadrados. La función de distribución de acumulación se presenta en la ecuación 12.

$$W(v) = 1 - e^{-\frac{v^\alpha}{\beta}} \quad (12)$$

En donde:

$W(v)$: función de distribución de probabilidad Weibull para la velocidad del viento.

v : velocidad del viento.

α : parámetro de forma.

β : parámetro de escala.

Tabla 5. Densidad de potencia en la sabana de Túquerres.

Vel (m/s)	Vel ³ (m ³ /s ³)	P/A (W/m ²)
1,0	1,00	0,35
1,9	6,74	2,36
2,8	21,44	7,50
3,7	49,32	17,26
4,6	94,59	33,11
5,4	161,47	56,51
6,3	254,17	88,96
7,2	376,91	131,92
8,1	533,92	186,87
9,0	729,40	255,29
9,9	967,57	338,65
10,8	1252,65	438,43
11,7	1588,86	556,10
12,6	1980,41	693,14
13,4	2431,51	851,03
14,3	2946,39	1031,24
15,2	3529,27	1235,24

Fuente: elaboración propia.

Con una transformación de doble logaritmo la ecuación 13 puede ser escrita como:

$$\text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - W(v)} \right) \right) = \alpha \text{Ln}(v) - \alpha \text{Ln}(\beta) \quad (13)$$

De esta manera se representa la ecuación 13. en una ecuación lineal descrita en la ecuación 14.

$$y = \alpha x - b \quad (14)$$

Para la ecuación 14, la pendiente de la recta representa el parámetro de forma (α). En esta Y se representa por la ecuación 15 y X por la ecuación 16.

$$y = \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - W(v)} \right) \right) \quad (15)$$

$$x = \ln(v) \tag{16}$$

A partir de la deducción de la ecuación lineal de la función de probabilidad acumulada de *Weibull* ((5), se encontraron los parámetros α y β , en donde α es igual a la pendiente de la recta y β es igual al exponencial del cociente entre punto de corte de la recta en el eje Y. Es decir $\alpha = 2,2625$; $\beta = 5,09$.

La velocidad normalizada del viento se representa en la figura 3. Luego de conocer la probabilidad de *Weibull* para cada velocidad del viento se estimó la densidad de potencial eólico específica ajustada de la sabana de Túquerres para los datos obtenidos durante el periodo de monitoreo de acuerdo a la (3, como se muestra en la columna P/A ($W[v]$) de la tabla 6.

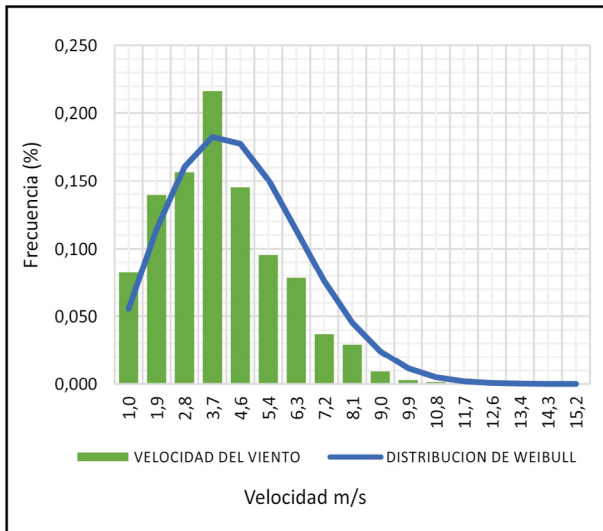


Figura 3. Distribución de Weibull de la velocidad del viento.

Fuente: elaboración propia.

Coefficiente de potencia

Como la potencia contenida en el viento no puede estar por encima del límite de Betz equivalente al 59,26% de la energía cinética del viento, la columna P/A (C_p) de la tabla 6 muestra la potencia real disponible para la sabana de Túquerres.

La figura 4 presenta, en amarillo, la densidad de potencia real que puede entregar un aerogenerador de eje horizontal ubicado en la sabana de Túquerres, teniendo en cuenta la componente de velocidad típica de la zona, la cual se relaciona en el eje horizontal. También se observa que dicha curva se encuentra por debajo de la curva de potencia normalizada utilizando la distribución de *Weibull*, representada por el área azul.

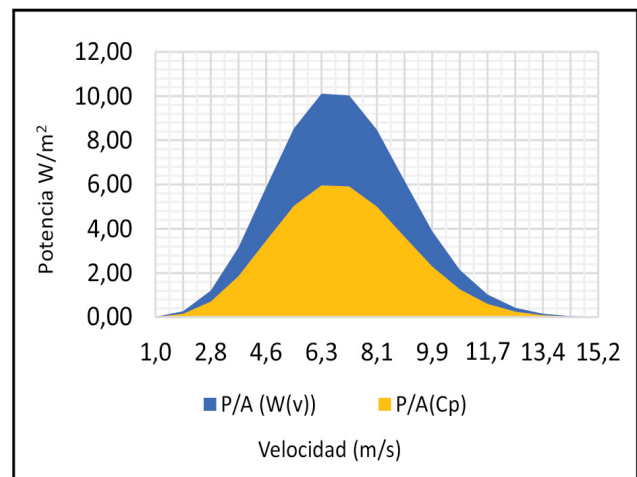


Figura 4. Densidad del potencial eólico en la sabana de Túquerres.

Fuente: elaboración propia.

Estos parámetros de viento se entregaron a un modelo de un aerogenerador de eje horizontal que se presenta en la figura 5. El aerogenerador consta de una entrada de velocidad del viento, una entrada de velocidad del generador, una señal de entrada para el ángulo de paso beta y la salida correspondiente a la potencia mecánica.

La simulación obtenida a la salida del aerogenerador presenta la curva de potencia de la figura 6. La velocidad de arranque inicia a los 3 m/s, lo que genera una potencia de 16W; a 12 m/s alcanza la potencia nominal de 3,5 kW, llegando a alcanzar una potencia de 2,7 kW a una velocidad de 15,2 m/s. A esta velocidad el aerogenerador cuenta con un sistema de frenado ya que la velocidad nominal es de 12 m/s.

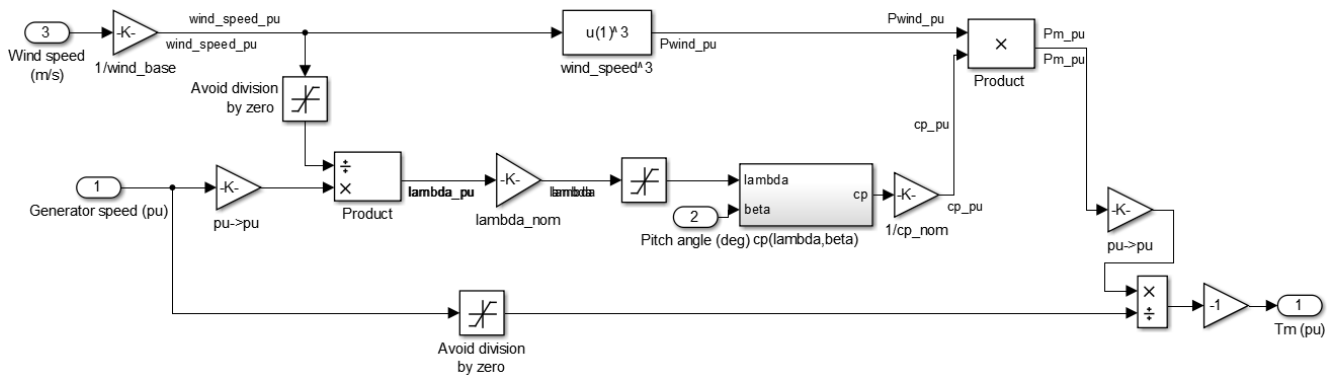


Figura 5. Modelo de la turbina eólica.

Fuente: elaboración propia.

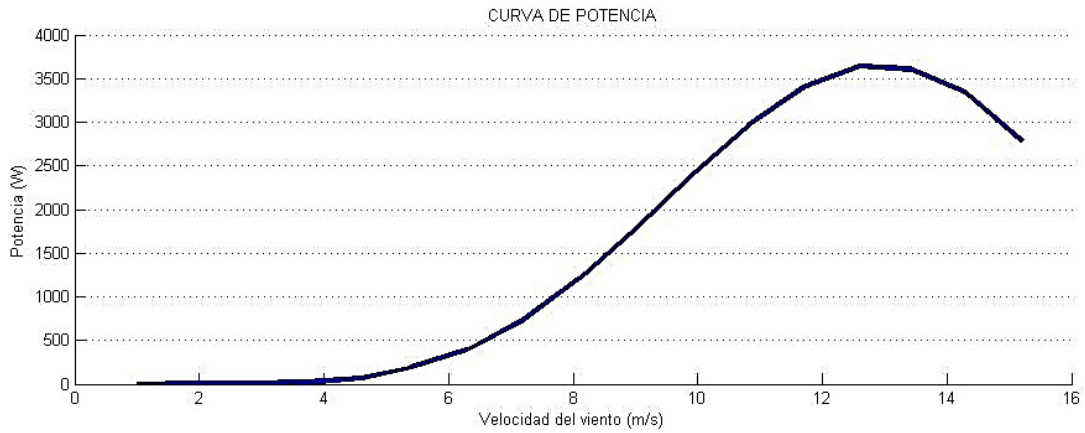


Figura 6. Curva de potencia de la simulación.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Densidad del potencial.

Vel (m/s)	Vel ³ (m ³ /s ³)	P/A (W/m ²)	P. Weibull	P/A (W(v))	P/A (Cp) (W/m ²)
1,0	1,00	0,4	0,05555	0,02	0,01
1,9	6,74	2,4	0,11436	0,27	0,16
2,8	21,44	7,5	0,16051	1,20	0,71
3,7	49,32	17,3	0,18250	3,15	1,86
4,6	94,59	33,1	0,17747	5,88	3,47
5,4	161,47	56,5	0,15099	8,53	5,03
6,3	254,17	89,0	0,11362	10,11	5,96
7,2	376,91	131,9	0,07602	10,03	5,92
8,1	533,92	186,9	0,04535	8,48	5,00
9,0	729,40	255,3	0,02415	6,17	3,64
9,9	967,57	338,7	0,01148	3,89	2,29
10,8	1252,65	438,4	0,00487	2,13	1,26
11,7	1588,86	556,1	0,00184	1,02	0,60
12,6	1980,41	693,1	0,00062	0,43	0,25
13,4	2431,51	851,0	0,00019	0,16	0,09
14,3	2946,39	1031,2	0,00005	0,05	0,03
15,2	3529,27	1235,2	0,00001	0,01	0,01

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Una implementación de un sistema eólico de eje horizontal eficiente requiere que la zona de ubicación cuente con una velocidad promedio del viento superior a 3,5 m/s, debido a que partir de esta velocidad se obtiene un potencial eléctrico significativo. La sabana de Túquerres mostró una velocidad promedio igual a 4,4 m/s durante el periodo evaluado; esto significa que el potencial de generación eólico para esta zona es aprovechable desde el punto de vista técnico. El análisis estadístico realizado indica que el promedio de generación de densidad de potencia es igual a 3,47 W/m².

El trabajo estadístico desarrollado, sumado a la utilización del límite de Betz, permite generar un escenario real de aprovechamiento del potencial eólico de la sabana de Túquerres en el que se contemplan las pérdidas energéticas normales correspondientes al proceso de conversión de la energía. Es de resaltar que sin el uso de estas herramientas se sobrestimaría el potencial de una zona de estudio y los resultados reales no coincidirán con los diseños.

La toma de datos se realizó entre los meses de junio y diciembre del año 2015. Sin embargo, los resultados pueden ser generalizados para todo el año, pues al tratarse de una zona ecuatorial las condiciones ambientales no cambian de manera.

Referencias

- Alcaldía de Túquerres. (2011). *Plan básico de ordenamiento territorial municipio de Túquerres*. Recuperado de: <http://www.tuquerres-narino.gov.co/apc-aa-files/65663135376634333334353635353636/POT.pdf>
- Alcaldía de Túquerres. (27 de febrero de 2015). *Unidos por Túquerres*. Recuperado de: http://www.tuquerres-narino.gov.co/documentos_municipio.shtml
- Chinchila-Sánchez, M. (2001). *Control de un sistema de generación eólica de velocidad variable con generador síncrono multipolar de imanes permanentes acoplado a red*. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid.
- Eoliccat. (1 de junio de 2016). *¿Qué fuerza debe tener el viento para accionar los aerogeneradores?* Recuperado de: <http://eoliccat.net/la-tecnologia/preguntas-frecuentes/?lang=es>
- Eraso-Checa, F., Erazo, O. y Escobar, E. (2017). *Energía fotovoltaica: modelos y respuestas a condiciones meteorológicas*. Pasto, Colombia: Institución Universitaria Cesmag.
- Escudero-López, J. (2011). *Manual de energía eólica*. México D.F.: Mundi-Prensa.
- González, M. (1 de marzo de 2012). *Clima ecuatorial*. Recuperado de: <http://titulacion-geografia-sevilla.es/contenidos/profesores/materiales/archivos/2012-04-16CLIMAE-CUATORIAL.pdf>
- González, J.J. (2005). El histograma con la TI-92: optimización de clases. *Revista de Didáctica de las Matemáticas*, 61, 67-72.
- Impsa. (2016). *Aerogeneradores*. Recuperado de: <http://www.impsa.com/es/productos/impsawind/SitePages/aerogeneradores.aspx>
- López, M.V. (2012). *Ingeniería de la energía eólica*. Barcelona: Marcombo.
- Moragues, J. y Rapallini, A. (2003). *Energía eólica*. Buenos Aires: Instituto Argentino de la Energía General Mosconi.
- Pintor González, S. (2014). *Energías renovables y desarrollo sostenible= Renewable energy and sustainable development*.
- Upme. (s.f.). *upme.gov.co*. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Atlas_Viento.htm
- Villanueva, Y. y Marcello, R. (2016). *Análisis estructural y modal de la hélice de un aerogenerador de 3kW de potencia*

mediante simulación numérica computacional. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Walpole, R.E. (2007). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México D.F.: Pearson Educación.





Simulación de áreas de alta consecuencia para gasoductos

Simulation of high consequence areas for gas pipelines

Simulação de áreas de alta consequência para gasodutos

Orlando Díaz-Parra¹

Enrique Vera-López²

Recibido: septiembre de 2017

Aceptado: noviembre de 2017

Para citar este artículo: Díaz-Parra, O., y Vega-López, E. (2018). Simulación de áreas de alta consecuencia para gasoductos. *Revista Científica*, 31(1), 32-44. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12513>

Resumen

El gasoducto es utilizado para el transporte de gas natural a gran distancia. Los riesgos derivados del manejo de un material combustible transportado a alta presión por conducciones que pasan cerca del lugar donde habitan personas hace necesario que se adopten medidas de prevención, mitigación y control para disminuir el efecto en caso de ignición de una fuga de gas. En este trabajo se muestra el desarrollo de un nuevo modelo matemático para determinar áreas de alta consecuencia y su aplicación mediante software de amplia disponibilidad y fácil manejo, como lo son Google Earth y Excel, para determinar y visualizar el área en la cual el nivel de radiación puede afectar la integridad de las personas y las edificaciones. El modelo tiene en cuenta la caída de presión al interior del gasoducto a partir de la estación de compresión, el índice de escape de gas y las formas posibles de ignición del gas. Este desarrollo se constituye en una alternativa ante el uso de software especializado y personal altamente capacitado. La simulación se aplica a un trazado del gasoducto Miraflores-Tunja utilizando una macro desarrollada en Excel para determinar el área de

impacto y compararla con las coordenadas de las áreas vulnerables. Las zonas en las que se intersectan se constituyen en áreas de alta consecuencia y se identifican junto con los tramos del gasoducto que las afectan para entregar al operador una herramienta de análisis de riesgo para la determinación y visualización del gasoducto y su entorno.

Palabras clave: análisis de riesgo, áreas de alta consecuencia, gasoducto, gas natural, integridad, simulación.

Abstract

The gas pipeline is used for the transport of natural gas at a great distance. Risks derived from the handling of a combustible material transported under high pressure, by pipelines that pass close to where people live, makes it necessary to adopt prevention, mitigation and control measures to reduce the effect in case of ignition of a gas leak. This work shows the development of a new mathematical model to determine areas of high consequence and their application, using widely available and easy to use software, such as Google Earth and Excel, to determine and visualize the area up to which the level of

¹. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. Contacto: orlando.diazparra@uptc.edu.co

². Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. Contacto: enrique.vera@uptc.edu.co

radiation can affect the integrity of people and buildings. The model take into account the pressure drop into the gas pipeline from the compression station, the gas leakage rate and possible forms of gas ignition. This development is an alternative to the use of specialized software and highly trained personnel. The simulation is applied to a traced of the Miraflores-Tunja gas pipeline, using a macro developed in Excel to determine the impact area and compare it with the coordinates of the vulnerable areas. The zones where these areas intersect are constituted in high consequence areas and are identified along with the sections of the pipeline that affect them, to provide the operator with an risk analysis tool for the determination and visualization of the gas pipeline and its environment.

Keywords: gas pipelines, high consequence areas, integrity, natural gas, risk analysis, simulation.

Resumo

O gasoduto é usado para o transporte de gás natural a uma grande distância. Os riscos derivados do manuseio de um material combustível transportado sob alta pressão, por condutas que passam perto de onde as pessoas vivem, torna necessário adotar medidas de prevenção, mitigação e controle para reduzir o efeito em caso de ignição de vazamento de gás. Este trabalho mostra o desenvolvimento de um novo modelo matemático para determinar áreas de alta consequência e sua aplicação usando um software amplamente disponível e fácil de usar, como Google Earth e Excel, para determinar e visualizar a área até a qual o nível de pode afetar a integridade de pessoas e edifícios. O modelo leva em consideração a queda de pressão a partir da estação de compressão, a taxa de escape de gás e as possíveis formas de ignição do gás. Este desenvolvimento é uma alternativa ao uso de software especializado e pessoal altamente treinado. Simulação é aplicada a uma rota do gasoduto Miraflores-Tunja, usando uma macro desenvolvida no Excel para determinar a área de impacto e compará-la com as coordenadas das áreas vulneráveis. Nas áreas onde essas áreas se cruzam constituem as áreas de alta consequência e são identificados juntamente com os trechos do gasoduto que os afetam, para fornecer ao operador

uma ferramenta de análise de risco para a determinação e visualização do gasoduto e seu arredores.

Palavras-chaves: análise de risco, áreas de alta consequência, gasoduto, gás natural, integridade, simulação.

Introducción

La delimitación de áreas de alta consecuencia (AAC) en un gasoducto se realiza teniendo en cuenta los factores de riesgo derivados de la naturaleza del fluido, el volumen de fluido transportado, la presión interna aplicada al fluido, la dimensión y material del tubo conductor, el entorno físico-geográfico por donde transita y del entorno social y poblacional circundante de dichas instalaciones (Daza-Leguizamón, Vera-López y Riaño-Cano, 2016).

Son de reconocida aplicabilidad en la delimitación o determinación de las AAC normas nacionales (NTC-5747, 2009) e internacionales (API-581 2002; Code of Federal Regulations, 2017; GRI-00/0189, 2000). Del mismo modo, se han realizado numerosas investigaciones al respecto (Ma *et al.*, 2013; Jo y Ahn, 2002; Hui y Guoning, 2012; Tong *et al.*, 2013; Li y Huang, 2012; Park, Lee y Jo 2004) las cuales concluyen en modelos simplificados para el cálculo del radio de impacto o área de consecuencia en la que son factores importantes la presión de operación, el diámetro de la conducción, el índice de escape de gas y el umbral de radiación que se considera admisible. La realización de un análisis de riesgo lleva al operador de un gasoducto a tomar las medidas necesarias para prevenir, mitigar o controlar los factores de riesgo en las zonas que sean definidas como AAC.

En este trabajo se muestra la aplicación de un nuevo modelo matemático para determinar las AAC únicamente en función de la distancia a la estación de compresión, la cual considera las posibles pérdidas de vidas humanas, las pérdidas económicas y en la propiedad derivados de la fuga de gas natural y su posible ignición, así como también la forma de expansión de los gases, las

características de la mezcla aire-gas y la forma en que se desarrolla el proceso de ignición.

La aplicación se realiza mediante la simulación computacional del modelo desarrollado con herramientas informáticas de amplia utilización y fácil manejo, como lo son Google Earth y Excel, para determinar e identificar las AAC sobre un trazado escogido como caso de estudio. El resultado es la visualización del área de impacto potencial y la localización de las AAC y los tramos del gasoducto que las afectan, para que el usuario final, o el operador del gasoducto, identifique las áreas en las que deberá adoptar medidas de mitigación y control.

El modelo desarrollado se aplicó a un caso de estudio correspondiente a un tramo de un gasoducto en Colombia (gasoducto Miraflores-Tunja), para el que se identificó un trazado y áreas de ocupación humana. Mediante el diseño de macros en Excel se ejecutan órdenes en lazo cerrado y se procesan datos en una hoja de cálculo para obtener archivos que, llevados a mapas geográficos informáticos en Google Earth, permiten visualizar el área de impacto y las AAC.

Metodología

A continuación, se exponen algunos conceptos básicos sobre el gas natural y las AAC para continuar con los modelos de delimitación existentes. Después se muestra el desarrollo del nuevo modelo matemático de delimitación de AAC y se describe el diseño del proceso de simulación del mismo desarrollado por medio de las herramientas de Google Earth y Excel.

El gas natural y la AAC

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso que en su mayor parte está compuesta por metano y etano, y en menor proporción por propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados. El gas natural es inflamable y explosivo (Huang y Li, 2012). La densidad

relativa del gas natural es 0,58, mucho menor que la del aire. Cuando se fuga gas natural al aire y su fracción en volumen en la mezcla está entre 5,3% a 15% se puede producir la combustión (Hui y Guoning 2012).

El término ACC se refiere a una zona que se extiende a cada lado de un gasoducto que pasa por áreas de ocupación humana permanente, como poblaciones o conjuntos residenciales, o transitorias, como iglesias, hospitales o colegios, en un entorno urbano o suburbano. Un AAC se delimita mediante la construcción de un área de impacto y la verificación de la existencia de áreas vulnerables dentro de esta zona, como se muestra en la figura 1.

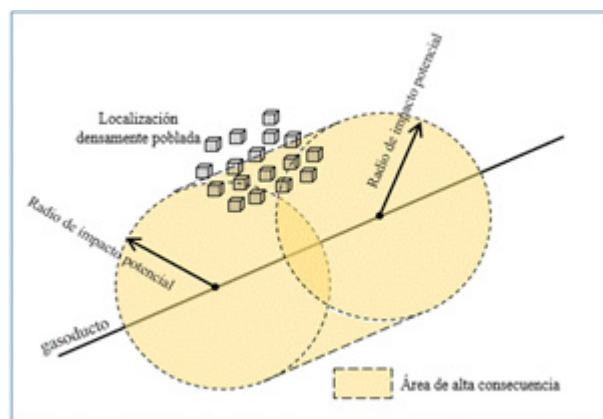


Figura 1. Extensión del área de alta consecuencia cuando el círculo de impacto potencial contiene una localización vulnerable.

Fuente: apéndice E, CFR-49-142.

La información presentada en investigaciones previas sobre carga térmica sugiere que no se espera que una estructura de madera se quemara por debajo de 15 kW/m² (Committee for the Prevention of Disasters caused by Dangerous Substances, 1992; TNO Green Book, 1989). Este grado de intensidad de calor también significa aproximadamente un 1% de mortalidad para las personas expuestas durante 30 segundos antes de llegar a un refugio. Es por esto que normas como GRI-00/0189, CFR-49-192 y NTC-5747 adoptan este nivel como admisible de radiación térmica en sus modelos de delimitación de las AAC.

Modelos de delimitación de AAC aplicables

Modelos matemáticos de delimitación de AAC emitidos en normas nacionales e internacionales concluyen en una ecuación para calcular el radio de impacto potencial o el área de consecuencia, tal como se resume en la tabla 1, en la cual también se muestran los resultados de investigadores sobre el tema.

Tabla 1. Modelos matemáticos de cálculo del radio de impacto según investigadores y normas aplicables.

Modelo matemático	Norma-investigador	año
$r = 0,685\sqrt{pd^2}$	GRI-00/0189	2000
$A = ax^b$	API-581	2002
$r = 0,69 * d * \sqrt{p}$	NTC-5747	2009
$r = 0,69 * \sqrt{p * d^2}$	CFR-49-192	2017
$L = \sqrt{\frac{5 * x_R * \eta * Q_C * H_C}{4 * \pi * j * n}}$	Huang y Li	2012
$r = 10,285 \sqrt{Q}$	Hui y Guoning	2012
$r = 7,767 \sqrt{Q}$	Ma y Li	2013

Fuente: elaboración propia.

Con las ecuaciones de los modelos matemáticos de las normas GRI, NTC y CFR se obtienen resultados muy similares; así como la función de la presión p y el diámetro d del tubo conductor.

La norma API-581 utiliza un modelo diferente que determina el área de consecuencia (A); sin embargo, de ella se puede calcular el radio de un círculo de un área equivalente y de esa forma comparar los resultados. En este modelo a y b son constantes que se extraen de tablas propias de la norma según el índice de escape (x). Huang y Li presentan un modelo que considera la fracción de la radiación (X_R), la eficiencia de la combustión (η), el flujo de escape (Q_C), el poder calorífico del gas (H_C) y el número de fuentes (n). En los demás modelos Q es el índice de escape.

Es bien conocido que el modelo API es el más conservador. Con el fin de realizar una comparación entre los resultados de los diferentes modelos y que estos sean equiparables con los del modelo que se desarrolla en este trabajo, en la tabla 2 se muestran los resultados del radio de impacto, en metros, para un diámetro de fuga de 20 pulgadas y diferentes niveles de presión en el ducto.

Desarrollo del nuevo modelo matemático de delimitación de AAC

El nuevo modelo matemático que se aplica mediante esta simulación relaciona el radio de impacto con la distancia a la estación de compresión. Para su desarrollo se consideró la localización geográfica y el trazado de un gasoducto tomado como caso de estudio. Para llegar a una ecuación del radio de impacto, primero se propone una ecuación que describa el cambio de la presión a lo largo de la conducción y con ella se plantea una ecuación

Tabla 2. Resultados comparativos del resultado del radio de impacto (m).

Presión (psi)	Diámetro de fuga= 20 pulgadas					
	API-581	NTC-5747 CFR-49-192	GRI-00/0189	Ma y Li	Hui y Guoning	Huang y Li
600	543	103	102	184	244	135
800	595	119	118	212	281	156
1000	638	133	132	237	314	174
1200	676	146	145	260	344	191
1400	709	157	156	281	372	206

Fuente: elaboración propia.

para el índice de escape de gas en cualquier punto de la conducción. Finalmente, al considerar la intensidad de radiación térmica desde la llama en el punto de fuga, se determina la ecuación resultante del modelo matemático.

Trazado del gasoducto: para realizar la simulación del modelo de delimitación de AAC se propone un trazado que va desde Miraflores hasta Tunja. Este es una fracción del gasoducto Cusiana-Portovenir-La Belleza.

Caso de estudio: se considera el transporte de 80 kg/s de gas natural por una conducción de diámetro constante de 20 pulgadas, constituida por tubo de acero sin costura con una rugosidad de 0,045 mm en un trayecto de 46,9 km de longitud, operando con una presión inicial de 1200 psi en la estación de compresión localizada en Miraflores y cuyo trazado se muestra en la figura 2.

En el desarrollo del nuevo modelo matemático que determina el radio de impacto potencial se considera el hecho que al disminuir la presión por efecto de la fricción del gas contra las paredes del tubo conductor, disminuye también la densidad lo que causa el aumento en la velocidad media de transporte.



Figura 2. Trazado de gasoducto para caso de estudio.

Fuente: elaboración propia basada de Google Earth.

Para determinar los valores de la velocidad (v), densidad (ρ), temperatura (T) y presión (P) a lo largo de la conducción, se realiza un proceso iterativo dividiendo la longitud total del gasoducto en segmentos de análisis (para el caso de estudio cada 10 km), de manera que las condiciones de salida de un segmento (subíndices 2) corresponden a

las condiciones de entrada del segmento siguiente (subíndices 1). En este proceso iterativo se propone una velocidad de salida para el segmento. La densidad se determina con la ecuación de continuidad para conducción de fluidos por tuberías de sección constante (ecuación 1),

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 * v_1}{v_2} \quad (1)$$

La temperatura se determina, entonces, con la ecuación de conservación de la energía para un proceso adiabático (ecuación 2), teniendo en cuenta que no hay interacciones de trabajo y el calor específico del gas (c_p).

$$T_2 = T_1 + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2 * c_p} \quad (2)$$

La densidad promedio del segmento se calcula según la ecuación 3,

$$\rho_{prom} = \frac{(\rho_1 + \rho_2)}{2} \quad (3)$$

La presión a la salida se determina mediante la ecuación de Darcy-Wellbach (4) donde f es el factor de fricción, l es la longitud del segmento y D el diámetro del mismo,

$$P_2 = P_1 - \frac{f * l * \rho_{prom} * v_2^2}{D} \quad (4)$$

El comportamiento del gas puede aproximarse al aplicar la ecuación de estado, donde R es la constante del gas, afectada por el factor de compresibilidad (z) y, entonces, se obtiene un nuevo valor de temperatura utilizando la ecuación 5,

$$T_2' = \frac{P_2}{z * R * \rho_2} \quad (5)$$

Entonces, cuando la diferencia entre la temperatura calculada según las ecuaciones 2 y 5 sea

mínima, se termina el proceso iterativo con resultados para velocidad, densidad, temperatura y presión de salida del segmento. En la tabla 3 se muestran los resultados de la iteración y la caída de presión, en psi, según la distancia L (en kilómetros) desde la estación de compresión para el caso de estudio, en donde se realizó un proceso iterativo hasta con tres decimales para la velocidad en una hoja de cálculo.

Tabla 3. Resultados de la iteración para los parámetros de operación en la conducción.

Propiedades del gas en la conducción				
L (km)	Densidad (kg/m ³)	Temperatura (K)	Velocidad (m/s)	Presión (psi)
0	62,132	288	7,140	1200,00
10	59,099	287,999	7,506	1141,48
20	55,883	288,014	7,938	1079,41
30	52,447	288,026	8,458	1013,01
40	48.731	288,016	9,103	941,18
50	44.641	287,998	9,937	862,19

Fuente: elaboración propia.

Con el fin de efectuar el proceso de simulación usando Google Earth y Excel, se expresa mediante una ecuación exponencial la presión en función de la distancia desde la estación de compresión (P_L), según la ecuación 6. Una ecuación exponencial, como la propuesta, se puede hacer creciente o decreciente, es fácil de ajustar a una curva dada y de manipular en una hoja de cálculo.

$$P_L = a * e^{b*L^n} \quad (6)$$

Ajustando los parámetros a , b y n para que dado cualquier L (en kilómetros) en el rango definido en la tabla 3, se determine P_L (en psi), la ecuación anterior queda según (7):

$$P_L = 1200 * e^{-0,001974*L^{1,309}} \quad (7)$$

En la figura 3 se muestra el descenso de la presión según la distancia L (en km) desde el punto de compresión, según los resultados de la tabla 3

(línea azul) comparados con los mismos obtenidos con la ecuación propuesta (línea naranja).



Figura 3. Variación de la presión desde la estación de compresión para el caso de estudio.

Fuente: elaboración propia.

Ahora, considerando un proceso de fuga isentrópico en el que las mayores consecuencias se tienen cuando el orificio de fuga es del mismo tamaño del diámetro del tubo conductor y que se tienen dos extremos en la rotura total, al utilizar los factores de conversión correspondientes la ecuación del índice de fuga (Q_{effect}) en kg/s a cualquier distancia L en kilómetros para el caso de estudio se encuentra mediante la ecuación 8:

$$Q_{effect} = 1,243 * e^{-0,001974*L^{1,309}} \quad (8)$$

La intensidad de radiación (I) desde un chorro de fuego se expresa mediante la ecuación 9, la cual relaciona la eficiencia de combustión (η), la emisividad de la llama (x_g), el índice de escape (Q_{effect}), el poder calorífico del gas (H_c) y la distancia a partir del chorro (r)

$$I = \frac{\eta * X_g * Q_{effect} * H_c}{4 * \pi * r^2} \quad (9)$$

Se adopta un umbral de 15 kW/m² en el modelo en desarrollo como la intensidad de calor umbral con el fin de dimensionar un área de alta consecuencia por radiación térmica. De manera que, sustituyendo los valores y realizando las

conversiones necesarias para determinar la distancia r a la cual se alcanza este valor umbral desde el punto de fuga, se encuentra que la ecuación 10 es resultado del modelo matemático planteado en la que el radio de impacto potencial es función únicamente de la distancia a la estación de compresión, tal como sigue:

$$r = 151,9 * e^{-0,000987 * L^{1,809}} \quad (10)$$

Donde:

r es el radio de impacto potencial en metros.

L es la distancia a la estación de compresión en kilómetros.

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para presión, índice de fuga y radio de impacto para el caso de estudio propuesto.

Tabla 4. Resumen resultados para P, Q y r aplicando el modelo matemático.

Resumen resultados modelo de delimitación AAC			
L (km)	P_L (psig)	Q_L (kg/seg)	r (m)
0	1200,0	1,243	151,9
10	1152,7	1,194	148,9
20	1086,2	1,125	144,5
30	1013,0	1,049	139,6
40	937,5	0,971	134,3
50	862,2	0,893	128,8

Fuente: elaboración propia.

Simulación del modelo de delimitación de AAC

El punto de partida de la simulación es el trazado en Google Earth que se muestra en la figura 2. La localización del gasoducto del caso de estudio está conformada por una sucesión de puntos (13 en total) geo-referenciados que se extraen de Google Earth con un formato en grados decimales (coordenadas geográficas), contenidos en un archivo de extensión kml.

Las coordenadas del trazado se importan en un libro de cálculo en Excel y se almacena esta

matriz de puntos para convertirlos en coordenadas cartesianas, en formato UTM, cuya ventaja es el tratamiento de distancias en unidades de longitud (metros o kilómetros) y rotaciones en grados o radianes.

En el libro de cálculo de Excel, mediante el diseño de macros, la segmentación original de 13 puntos del gasoducto se subdivide en tramos de menor magnitud que el radio mínimo de impacto. En cada punto de esta sub-segmentación se calcula el radio de impacto según la ecuación del modelo desarrollado y se constituye el área de impacto. De otra parte, se localizan geográficamente las áreas vulnerables de estudio y se calcula la distancia desde cada punto de la sub-segmentación hasta estas áreas, y si el resultado es menor al radio de impacto el área vulnerable se identifica como AAC.

Descripción de las macros diseñadas en Excel para la simulación

Para el caso de estudio se divide el gasoducto en tramos de máximo 100 metros, teniendo en cuenta que el radio de impacto mínimo (tabla 4) es de 128 metros. Particularmente, el trazado del gasoducto tiene una longitud de 46,9 kilómetros por lo que resultarán de la segmentación por lo menos 470 segmentos.

Entonces, para realizar la segmentación se leen las coordenadas de dos puntos consecutivos y se calcula la distancia (d) entre estos puntos. Si la distancia es mayor a 100 metros se determina la parte entera de la relación entre la distancia dividida por 100 y un residuo y se le suma una unidad a la parte entera encontrada de manera que se establece en cuantos tramos de aproximadamente 100 metros de longitud (k = número de tramos) se divide el segmento tratado como lo muestran las ecuaciones 11 y 12 y se generan los puntos respectivos.

$$d = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2} \quad (11)$$

$$k = \left(\text{entero} \left(\frac{d}{100}\right) + 1\right) \quad (12)$$

Si la distancia es menor a 100 metros no se hace segmentación y se continúa con el siguiente par de puntos como se muestra en el diagrama de bloques de la figura 4. En total, para el caso de estudio, se obtienen 474 segmentos, lo que representa que se generan 475 pares de puntos (474 + 1) en coordenadas cartesianas que sustituyen a los 13 puntos iniciales, conservando la misma trayectoria.

Para generar el punto de la segmentación se inicia estableciendo la pendiente m y el ángulo θ formado con el eje x por la línea recta que une el primer y segundo par de puntos del trazado, utilizando las ecuaciones 13 y 14.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (13)$$

$$\theta = \tan^{-1} m \quad (14)$$

La coordenada X_n del siguiente punto de la sub-segmentación se obtiene al sumar al valor de la coordenada X_{n-1} el producto de la longitud de la sub-segmentación por el coseno del ángulo formado, según la ecuación 15:

$$X_n = X_{n-1} + l * \cos \theta \quad (15)$$

La operación para encontrar la coordenada X_n del segundo punto no experimenta consecuencias si la recta se encuentra en el primer y cuarto cuadrante, donde el coseno es positivo, pero da un resultado falso cuando se encuentra en el segundo y tercer cuadrante, donde el coseno es negativo. Es por eso necesario insertar un identificador y un condicional según el sentido que tenga la recta para corregir el valor del ángulo θ , tal como lo muestran las ecuaciones 16 y 17:

$$\text{sentido}(x) = (x_2 - x_1) \quad (16)$$

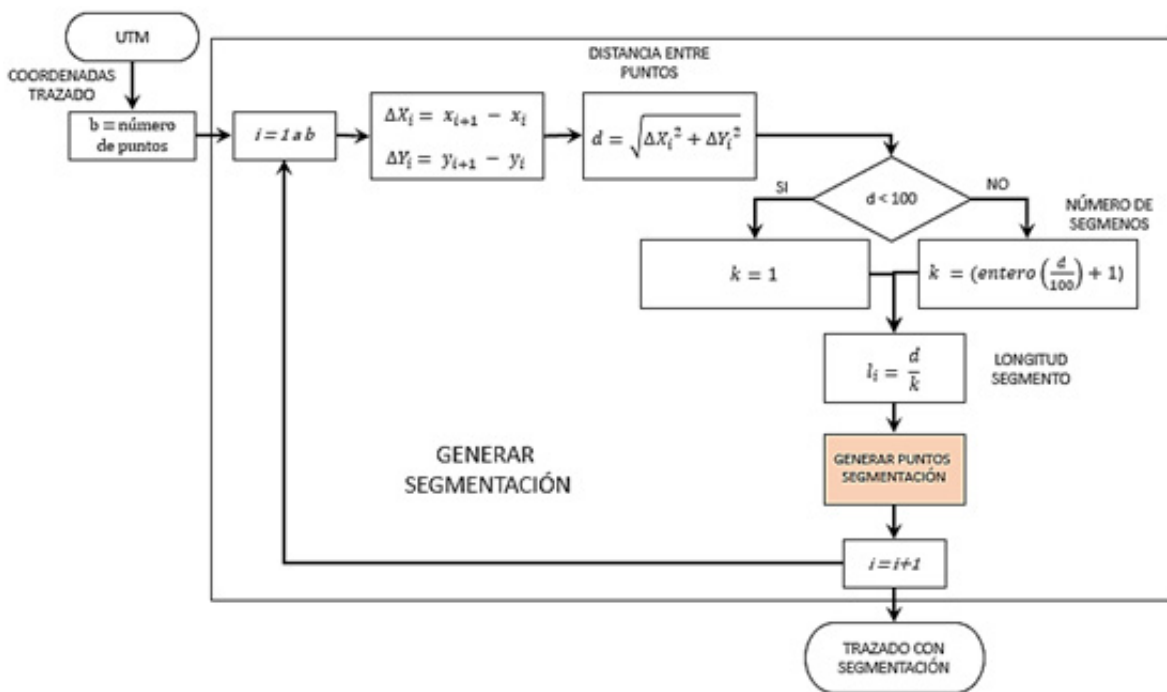


Figura 4. Diagrama de bloques para la segmentación del gasoducto.

Fuente: elaboración propia.

si $(\text{sentido}(x)) < 0$ entonces $(\theta = \pi + \theta)$ y si no $(\theta = \theta)$ (17)

Para obtener la coordenada Y_n se realiza la operación que muestra la ecuación 18:

$$Y_n = Y_{n-1} + m * (X_n - X_{n-1}) \quad (18)$$

Esta rutina se repite k veces en cada tramo original. El diagrama de bloques de este proceso se muestra en la figura 5 y de esta forma se obtienen las coordenadas (X_n, Y_n) de cada punto de la sub-segmentación.

El área de impacto potencial es una franja alrededor del gasoducto de ancho igual al diámetro de impacto potencial (dos veces el radio) con centro en el trazado. Para cualquier punto del trazado del gasoducto se calcula el radio de impacto según la ecuación del modelo matemático desarrollado en este trabajo (ecuación 10). La distancia L se obtiene al acumular las longitudes en que se ha dividido el gasoducto hasta el punto en análisis. La franja se construye con dos líneas paralelas al

trazado y a una distancia r del trazado. Estas líneas a su vez están conformadas por puntos situados sobre la línea perpendicular a la línea del trazado; entonces, si las coordenadas del punto del trazado son (X_n, Y_n) , las coordenadas de los puntos de la línea arriba y a la derecha del trazado se determinan con las ecuaciones 19 y 20.

$$X_{n'} = X_n - r * \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \quad (19)$$

$$Y_{n'} = Y_n + r * \cos\theta \quad (20)$$

Y para la línea abajo y a la izquierda del trazado, las coordenadas se determinan con las ecuaciones 21 y 22.

$$X_{n''} = X_n + r * \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \quad (21)$$

$$Y_{n''} = Y_n - r * \cos\theta \quad (22)$$

En la figura 6 se muestra el diagrama de bloques de este proceso para construir el área de impacto.

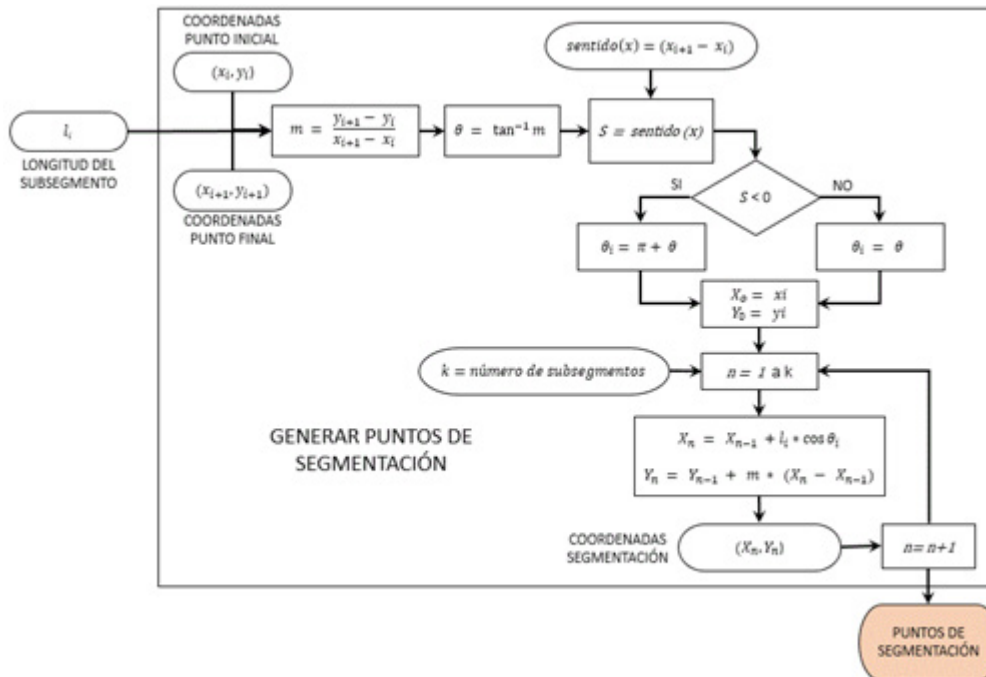


Figura 5. Diagrama de bloques para generar puntos de segmentación.

Fuente: elaboración propia.

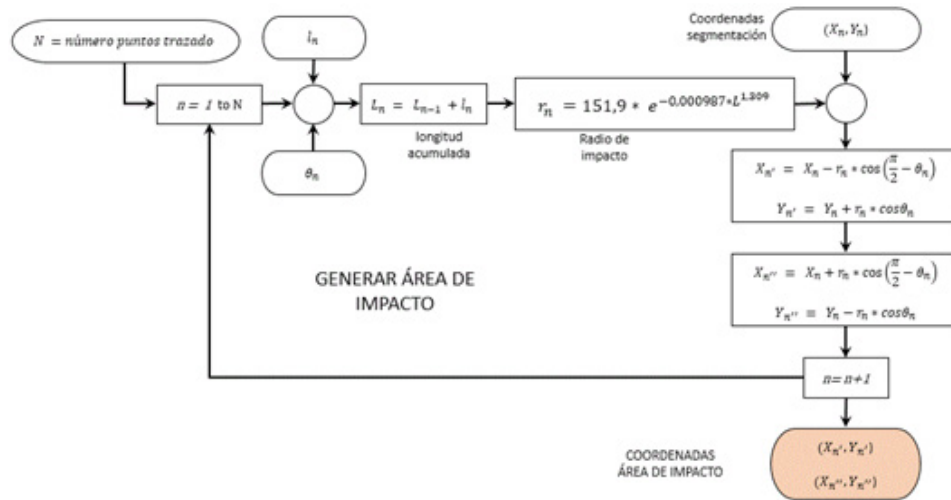


Figura 6. Diagrama de bloques para generar el área de impacto.

Fuente: elaboración propia.

Mediante una revisión del área circundante al gasoducto se indican las coordenadas de las áreas vulnerables, cargándolas en una nueva matriz de datos los cuales también se cambian del formato geográfico a UTM con el fin de realizar el cálculo de la distancia desde los puntos en que se ha segmentado el gasoducto y estas localizaciones.

Las AAC corresponden a las zonas donde se intersectan las áreas vulnerables con el área de impacto. Entonces, utilizando la geo-referenciación realizada para los k puntos vulnerables, en donde estarán ubicados según coordenadas (X_k, Y_k) , se calcula la distancia a la que se encuentra este punto con cada punto del trazado utilizando la expresión 22.

$$D = \sqrt{(X_n - X_k)^2 + (Y_n - Y_k)^2} \quad (23)$$

Se compara esta distancia D con el radio de impacto r de cada punto del trazado en particular y, si se cumple la condición de la ecuación 23, entonces el área sensible se identifica como AAC y el punto del trazado del gasoducto se identifica como tramo del gasoducto que afecta AAC.

$$D < r \quad (24)$$

Si esta condición no se cumple para ningún punto del trazado, el área sensible está por fuera del área de impacto y no afecta las AAC, como se muestra en el diagrama de bloques que se sigue en la macro en Excel de la figura 7.

Resultados

Con el modelo de simulación desarrollado, al visualizar el área de impacto en el Google Earth se aprecian por simple inspección las AAC, según se localicen las áreas vulnerables dentro o fuera de ella. Sin embargo, una vez que se analizan las áreas vulnerables, se colocan dos identificadores en el libro de cálculo: el primero marca las áreas vulnerables que son AAC y el segundo marca el punto del gasoducto que afecta AAC, siendo ambos apreciables en el resultado final.

En el simulador desarrollado, las coordenadas cartesianas de los puntos del trazado, las áreas vulnerables analizadas, el área de impacto y los tramos del gasoducto que afectan AAC se cambian a coordenadas geográficas para ser visualizadas en Google Earth, como se muestra en la figura 8. En esta se extrajo un pequeño cuadrante del trazado mostrando la identificación del gasoducto (línea

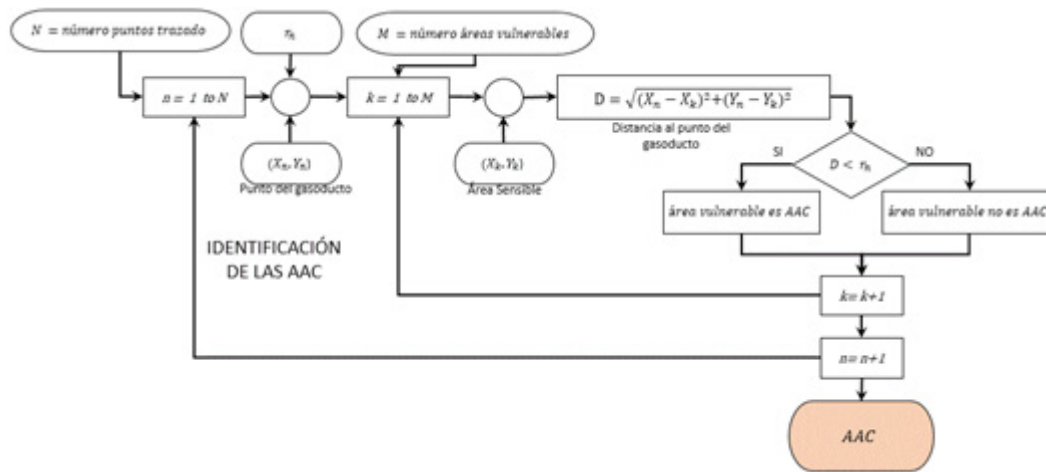


Figura 7. Diagrama de bloques para la delimitación de las AAC.

Fuente: elaboración propia.

blanca), el área de impacto (zona roja traslúcida), área sensible (casas 353, 360 y 368), los tramos de gasoducto que afectan AAC (puntos rojos del trazado) y los segmentos que no afectan AAC (puntos verdes).

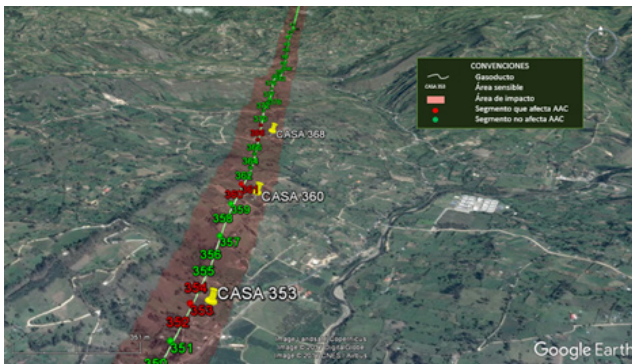


Figura 8. Cuadrante del gasoducto donde muestra el resultado de AAC.

Fuente: elaboración propia badasa en Google Earth.

La numeración que se aprecia en la figura 8 (351 a 372) corresponde a los números asignados a cada punto en que se sub-segmentó el trazado en tramos distanciados menos de 100 metros. Los puntos rojos e identificados con los números 352, 353 y 354 son tramos del gasoducto que afectan AAC. Los demás puntos se muestran en color

verde, lo que indica que los tramos del gasoducto entre ellos no afectan AAC. La franja del área de impacto observada tiene la dimensión del radio de impacto calculado con el modelo matemático desarrollado.

Interfaz para la simulación de las AAC

En la figura 9 se muestra la interfaz desarrollada en Excel con la que se realiza la delimitación de las AAC y se obtienen los resultados mostrados en la figura 8.

Una vez se ha realizado la simulación en Excel, se genera un archivo kml para ser leído en Google Earth y visualizar los resultados de la simulación. El archivo generado es guardado en la carpeta que se señala en las cajas de selección. Al final se tendrán dos archivos: un libro de cálculo en Excel con las ejecuciones de las macros descritas y realizadas y un archivo kml para visualizar los resultados en Google Earth.

Conclusiones

El modelo matemático desarrollado en este trabajo delimita las AAC mediante una ecuación exponencial de tres constantes y una única variable,

que es la distancia a la estación de compresión. El modelo matemático se evaluó frente a otros modelos aplicables correspondientes a normas nacionales e internacionales y a las conclusiones de otros trabajos desarrollados por investigadores a nivel mundial. Los resultados se validan al estar comprendidos entre los modelos más y menos conservadores, pero cercanos a estos últimos, lo que representa una ventaja para el operador del gasoducto al considerar también la disminución de la presión con la distancia a la estación de compresión.



Figura 9. Interfaz para simulación del modelo de AAC.
Fuente: elaboración propia.

El modelo desarrollado se utiliza para determinar el radio de impacto potencial y tiene en cuenta la variación de la presión, el índice de escape de gas y un umbral de radiación admisible. También considera las propiedades del gas transportado, las características geométricas del tubo conductor, los parámetros de operación del gasoducto, el trazado del mismo y la localización de áreas vulnerables alrededor del trazado. Es de especial relevancia en un estudio de AAC la disminución de la presión al interior del tubo conductor debida a los efectos de la fricción y que son consideradas en este modelo.

La simulación del modelo matemático se realizó mediante el diseño de macros para la ejecución de procesos en lazo cerrado utilizando una hoja de cálculo de Excel, de manera que al exportar los resultados se obtiene la visualización de las AAC y de los tramos de gasoducto que afectan AAC mediante un software de amplia utilización que puede ser manejado por personal de poca experiencia como Google Earth, representando una fortaleza adicional para su utilización.

El modelo matemático y la simulación se aplicaron a un caso de estudio y puede ser aplicado en cualquier otro, para lo cual deben ajustarse los valores de los parámetros a , b y n de la ecuación de la presión a lo largo del gasoducto y con ello obtener los nuevos parámetros de la ecuación exponencial del radio de impacto. También se requiere conocer el trazado para trasladar las coordenadas geográficas al libro en Excel y realizar el tratamiento correspondiente a la sub-segmentación y generación del área de impacto.

Agradecimientos

Este trabajo contó con la participación efectiva de diversas entidades de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, tales como la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, el grupo de Geomática de la Escuela de Ingeniería Civil, los docentes de la Escuela de Ingeniería Electromecánica y los integrantes de los grupos de investigación Giem y Gente.

Referencias

- API-581. (2002). Risk-Based Inspection Base Resource Document. American Petroleum Institute, Washington, DC.
- Code of Federal Regulations, US. (2017). Title 49-Part 192-Transportation of Natural and Other Gas by Pipeline: Minimum Federal Safety Standards. En: *Code Of Federal Regulations*.
- Committee for the Prevention of Disasters caused by Dangerous Substances. (1992). Green Book

- Methods for the Determination of Possible Damage Methods for the Determination of Possible Damage. [CPR 16E].
- Daza-leguizamón, O., Vera-lópez, E. y Riaño-Cano, G. (2016). Efecto de la resolución espacial de modelos digitales de elevación en la simulación de derrames de hidrocarburos. *Revista Científica*, 3(26), 149-72. <https://doi.org/10.14483/23448350.11620>
- GRI-00/0189. (2000). *A Model for Sizing High Consequence Areas Associated with Natural Gas Pipelines*. Alberta, Canadá: Gas Research Institute.
- Huang, Z. y Li, J. (2012). Assessment of Fire Risk of Gas Pipeline Leakage in Cities and Towns. *Procedia Engineering*, 45, 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.124>
- Hui, S. y Guoning, D. (2012). Risk Quantitative Calculation and ALOHA Simulation on the Leakage Accident of Natural Gas Power Plant. *Procedia Engineering*, 45(4), 352-59.
- Jo, Y. y Ahn, B. (2002). Analysis of Hazard Areas Associated with High-Pressure Natural-Gas Pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15, 179-88. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(02\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(02)00007-4)
- Jianhuaa, L. y Zhenghua, H. (2012). Fire and Explosion Risk Analysis and Evaluation for LNG Ships. *Procedia Engineering*, 45, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.123>
- Ma, L. Yongshu, L., Lei L., Manchun L. y Liang C. (2013). A Novel Method of Quantitative Risk Assessment Based on Grid Difference of Pipeline Sections. *Safety Science*, 59, 219-226. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2013.04.012>
- NTC-5747. 2009. "Gestión de Integridad de Gasoductos." Editorial ICONTEC. pp. 107
- Park, K.S., Lee, J.H. y Jo, Y.D. (2004). An Approach to Risk Management of City Gas Pipeline. *Process Safety and Environmental Protection*, 82, 446-452. <https://doi.org/10.1205/psep.82.6.446.53210>
- Tong, S.J., Siu, M.L., Pei H.Z. y Bao, Z.C. (2013). Jet Fire Consequence Evaluation on the Natural Gas Transported by Pipelines. *Procedia Engineering*, 52, 349-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.152>.





Aspectos matemáticos que amplían la noción de notación científica en el área de física de educación media general

Mathematical aspects that extend the notion of scientific notation in the area of Physics of General Middle Education

Aspectos matemáticos que se estendem a noção de notação científica na área de Física Educação Media General

Yohan Godoy¹
Yusmery González²

Recibido: junio de 2017

Aceptado: noviembre de 2017

Para citar este artículo: Godoy, Y., y González, Y. (2018). Aspectos matemáticos que amplían la noción de notación científica en el área de física de educación media general. *Revista Científica*, 31(1), 45-54. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12257>

Resumen

Para este trabajo se diseñó una propuesta didáctica constructivista en donde los estudiantes del tercer año de educación media general puedan adquirir un aprendizaje significativo en el uso de la notación científica. El tipo de investigación utilizado se encuentra entre los proyectos factibles con un diseño de campo no experimental. Para la recolección de datos se utilizó una encuesta aplicada a 43 estudiantes de la asignatura de física del tercer año del liceo Rosario Almarza, en Trujillo, Venezuela. Los análisis de los resultados indicaron que estos presentan deficiencias en cuanto a las cifras significativas y orden magnitud, los cuales son aspectos matemáticos esenciales para la comprensión y el uso de la notación científica en la física; también resaltaron la necesidad de implementar otras estrategias de enseñanza y aprendizaje, como lo es una serie de actividades complementarias para el docente en el aula o el estudiante. Con estos resultados, se procedió a realizar

una guía didáctica usando los aspectos matemáticos conocidos y diversas actividades lúdicas para ampliar la noción y uso de la notación científica.

Palabras clave: cifras significativas, física, guía didáctica, notación científica, orden de magnitud.

Abstract

For this work, a constructivist didactic proposal was designed in which the students of the third year of General Media Education can acquire a significant learning in the use of Scientific Notation. The type of research used is among feasible projects with a non-experimental field design. For data collection, the survey technique was used, which was applied to 43 students of the Physics subject of the third year of the Liceo Rosario Almarza Trujillo-Venezuela. The analysis of the results indicated that they present deficiencies in terms of significant numbers and order magnitude, which are essential mathematical aspects for the understanding and use of Scientific

¹. Universidad de los Andes Venezuela, república Bolivariana de Venezuela. Contacto: johannsmat@yahoo.com

². Complejo Educativo "Andrés Bello Rosario". Venezuela, república Bolivariana de Venezuela. Contacto: yusmerygon25@gmail.com

Notation in the area of Physics, as well as highlighting the need for Implement other teaching and learning strategies, such as a series of complementary activities for the teacher in the classroom or the student. In view of these results, a didactic guide was carried out using the known mathematical aspects and various ludic activities to extend the notion and use of scientific notation.

Keywords: significant numbers, physics, didactic guide, scientific notation, order of magnitude.

Resumo

Para este trabalho, se busque uma proposta didáctica construtiva em donde os estudantes do terceiro ano de Educação Mídia Geral ganha um aprendito significativo no uso da Notação Científica. O tipo de investigação utilizado se encontra entre os projectos factíveis com um design de campo sem experimentação. Para a recollecção de dados, utilizou a técnica da pesquisa aplicada a 43 estudantes da categoria de Física do terceiro ano do Liceo "Rosario Almarza" Trujillo-Venezuela. Os análises dos resultados indicam que são apresentadas em más de 10.000 significados e ordenadas, os quais são matemáticos essenciais para a compreensão e o uso da Notação Científica na área da Física, assim como também ressaltaron a necessidade de Implementar outras estratégias de ensino e aprendizagem, como é uma série de atividades complementares para o docente na fila do estudante. Em Vista a estes resultados, se procede a realizar uma guia didáctica usando os problemas matemáticos conhecidos e diversas atividades lúdicas para ampliar a noção e uso da notação científica

Palavras-chaves: Algarismos significativos, física, tutorial, notação científica, ordem de grandeza.

Introducción

El estudio de la física y las matemáticas han jugado un papel muy importante para la interpretación de los fenómenos naturales y sociales, por lo que tienen un rol muy significativo en la formación del estudiante de educación media general en Venezuela.

El estudio de la física no se trata solo de ecuaciones matemáticas, es también una comprensión

correcta de principios y leyes que el estudiante adquiere para poderlos aplicar en distintas situaciones. Para ello es necesario que el docente implemente estrategias que sean acordes a las deficiencias de los estudiantes, pues no es suficiente la consulta bibliográfica de un texto de ciencias para dichas debilidades en el aprendizaje de la física. Cabe agregar que el estudio de los fenómenos naturales por parte de la física comienza con la estimación y medida de magnitudes, lo que hace tener una relación íntima con las matemáticas.

Como se ha señalado anteriormente, las matemáticas son fundamentales para la comprensión de la física. En el caso de la notación científica, es una herramienta matemática usada en la física para poder expresar cantidades tan grandes y/o pequeñas que solo pueden ser medidas dentro de cierto límite de error; como, por ejemplo, la distancia del universo o la masa de un protón. Sin embargo, se ha observado que cuando el estudiante esta frente a un cálculo de dichas magnitudes presentan dificultades para asirse de los conocimientos matemáticos.

Lo anterior conduce hacia la promoción didáctica de estrategias para fortalecer la notación científica, como un enlace entre la matemática y la física. Muchos han sido los esfuerzos por crear y promover proyectos de aprendizaje que involucren la interdisciplinaridad de las ciencias. Así pues, la guía didáctica que se propone en esta investigación surge como una alternativa para aportar soluciones positivas tanto al docente como al estudiantado.

Marco Referencial

Para Arquímedes, el manejo de la notación científica en tiempos remotos probablemente pudo haberle aportado una mayor simplicidad para crear sus grandes inventos, ya que para ese tiempo no existía una tecnología tan sofisticada como la que gozamos actualmente.

Según Rodríguez, haciendo referencia a Arquímedes, expresa lo siguiente:

[...] Pero intentaré demostraros por medio de puntos geométricos que seréis capaces de seguir, que los números nombrados por mi... algunos exceden no sólo al número de la masa de arena igual en magnitud a la de la Tierra llena de la forma descrita, sino al de la masa igual en magnitud al Universo. (2002, p. 241)

Con base en lo anterior, lo que le pudo haber proporcionado una ventaja a Arquímedes para sus inventos probablemente fue el uso de la notación científica, ya que esta representa una forma de interactuar e interpretar problemas cotidianos y fenómenos naturales que ocurren a nuestro alrededor de forma matematizada. Hoy día los estudiantes de física de educación media general cuentan con esta herramienta matemática, lo cual facilita el proceso del par enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales.

Por lo tanto, esta investigación se propone conectar las ideas matemáticas, específicamente la notación científica con el área de física, de tal modo que el estudiante observe estas ciencias fácticas como un todo integrado y pueda tener un aprendizaje creativo y productivo, así como una actitud científica ante la vida. Para lograr tal fin, se ha diseñado una guía de estudio con un enfoque constructivista.

El modelo constructivista en el análisis de las dimensiones

El constructivismo parte de que el aprendizaje nunca puede ser independiente de quien aprende; no puede simplemente transferirse de una persona a otra como el símil de un vaso que llena al otro. El modelo constructivista indica que cada ser humano debe concatenar ideas y estructuras que tengan un significado personal, siempre y cuando tenga el deseo de aprender. Es por ello que el enfoque constructivista de la enseñanza exige, en primer lugar, conocer las ideas previas, es decir, el esquema conceptual de los estudiantes. De allí la importancia del uso de la pregunta, pero no una pregunta

cualquiera que induce respuestas estereotipadas y la cual presupone la respuesta correcta, sino aquellas preguntas que conducen a la reflexión sobre el entorno y estimular la creación de modelos que permitan dar explicación a su mundo.

A esto se suman docentes con un enfoque constructivista que confían en las capacidades de sus estudiantes para encontrar respuestas a las preguntas y soluciones a los problemas, por tanto, fomenta la autonomía moral y cognitiva. Enseña a partir de problemas que tienen significado y por ello hace diagnósticos de los problemas, necesidades, intereses y recursos tanto de los estudiantes como del entorno. Florez (1994, p. 238) Duschl (1995, p. 110) proponen a los docentes algunas sugerencias o principios para potenciar la enseñanza constructivista:

- a. Partir del nivel de desarrollo del estudiante.
- b. Asegurar la construcción de un aprendizaje significativo.
- c. La necesidad de que los estudiantes realicen aprendizajes significativos por sí solos.
- d. La exigencia de que los estudiantes modifiquen sus esquemas de conocimiento.
- e. Y que los estudiantes realicen una intensa actividad creativa e intelectual.

La matemática como herramienta para la física

Las matemáticas juegan un papel importante en el desarrollo y enseñanzas de las ciencias, como se ha venido desarrollando hasta ahora, guarda una estrecha relación especialmente con la comprensión de la Física. Sin embargo, en el proceso académico enseñanza-aprendizaje, en algunas ocasiones, se realizan de forma tan abstracta que alejan la ciencia formal de los intereses reales de los estudiantes.

Para la enseñanza de la matemática en el área de física, química y biología se debe aplicar un nuevo enfoque donde el estudiante pueda aplicar dichos conocimientos a su vida diaria. En relación con esto, Rodríguez expresa que:

[...] para que los estudiantes descubran sus propias ideas matemáticas, es menester asumir la postura inicial de mostrar la relación matemática-cotidianidad, porque alienta en primer lugar al estudiante a dejar su predisposición inicial, y verla como inalcanzable y, en segundo lugar, aprecian su verdadero valor y utilidad al relacionarla con los problemas del mundo y de su cotidianidad. (2011, p. 39)

Existen relaciones de la matemática con la física, la computación, la biología, la música, la química, las ciencias sociales y otros; no obstante, sin exagerar demasiado, se podría afirmar que la mayor parte del desarrollo de la matemática en los últimos tres siglos tiene origen y motivación en el deseo de resolver situaciones derivadas de planteamientos físicos-matemáticos. De allí la importancia que tiene el enfocar los aspectos matemáticos tales como cifras significativas, orden de magnitud y notación científica para la comprensión y resolución de problemas en física de tercer año de educación media general.

Aspectos matemáticos como cifras significativas, orden magnitud presentes en la notación científica

Estos dos aspectos de carácter matemático se pueden explicar a nivel físico, para que los estudiantes lo puedan comprender en un nivel concreto y luego visualizarlo a un nivel abstracto. En el caso de las cifras significativas, muchos de los números que se manejan en la ciencia son el resultado de una medida y, por lo tanto, solo se conocen con cierta incertidumbre experimental. La magnitud de esta incertidumbre, que depende de la habilidad del científico y del aparato utilizado, frecuentemente solo puede estimarse. Considere la longitud de un bolígrafo medido con una regla graduada. El resultado se podría expresar de la siguiente manera:

$$12.4 \text{ cm} = 0.124 \text{ m} = 124 \text{ mm} = 1.24 \times 10^2 \text{ mm}$$

La medida anterior tiene tres (3) cifras significativas

Cuando se realizan cálculos aproximados o comparaciones se suele redondear un número hasta la potencia de 10 más próxima, tal número recibe el nombre de orden de magnitud. Por ejemplo, si una longitud es 100 veces mayor que otra se dice que es dos órdenes de magnitud mayor. Cuando dos números tienen aproximadamente el mismo valor, se dice que son del mismo orden de magnitud. En física es muy importante manejar los órdenes de magnitud, ya que nos permiten representar y comparar de una forma simplificada las distintas magnitudes físicas.

Ahora bien, estos dos términos explicados anteriormente son indispensables para trabajar con notación científica que Briceño Valero y García Oropeza (2012, p. 118) definen como “un medio de indicar y mantener un seguimiento de la coma decimal en un número”. Es muy frecuente el uso de la notación científica (también denominada notación exponencial) en la física, ya que ella permite simplificar algunas medidas que son extremadamente grandes o muy pequeñas y por tanto difíciles de manejar.

Un aspecto importante que debe quedar claro para el alumno es que un número expresado en notación científica está compuesto por dos factores: el primer factor es un número que tiene una cifra entera (de 0 a 9) y una parte decimal, mientras que el segundo factor es una potencia de 10, con exponente positivo si se trata de una cantidad muy grande o con exponente negativo si es una cantidad muy pequeña.

Véase mejor con los siguientes ejemplos:

- La masa de un electrón es de aproximadamente 0.000 000 000 000 000 000 000 000 9 gramos, expresado en notación científica quedaría de la siguiente manera: 9×10^{-28} gramos.
- El año-Luz es la distancia que recorre la luz en un año y equivale aproximadamente a 9 500 000 000 000 kilómetros. En notación científica equivale a 9.5×10^{12} km.

Guía didáctica como estrategia para el aprendizaje de la notación científica

Una guía didáctica es considerada como un instrumento impreso que generalmente se entrega al estudiante al principio de un curso, lapso o año escolar. Esta contiene todos los elementos indicativos para que el estudiante pueda realizar los estudios necesarios y así lograr los objetivos de aprendizaje de un contenido específico. Asimismo, tal vez le ayude a comprender qué relación significativa puede existir entre un libro de texto y la vida diaria.

La guía de estudio que se diseñó en esta investigación ha permitido suavizar las dificultades generales de los estudiantes, las cuales han sido diagnosticadas mediante instrumentos de recolección de datos, mostrando una estructura muy flexible para los estudiantes de física de tercer año de educación media general. Las actividades le permitirán interactuar con lo recibido en clase, para luego ser evaluados según sus componentes y habilidades.

Metodología

El propósito de este trabajo fue valorar los procesos didácticos de un grupo de estudiantes de tercer año de educación media general en la asignatura de física, para luego proponer estrategias acordes a las necesidades presentadas por los mismos. En este sentido, este estudio forma parte de una investigación tipo factible con diseño de campo no experimental. Entendiéndose un proyecto factible como un estudio “que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales” (Upel, 2011, p. 21); y el diseño de campo no experimental, el que se realiza sin manipular las variables.

La muestra estuvo compuesta por un grupo de 43 estudiantes del liceo Rosario Almarza, del municipio de Trujillo del estado Trujillo, en Venezuela.

De igual manera, para Stracuzzi y Pestana, la muestra “representa un subconjunto de la población, accesible y limitado...” (2006, p. 116). Como la población es relativamente pequeña, la muestra es la cantidad de estudiantes que comprende la población en total. En este caso son las dos secciones de la asignatura de física de dicha institución con un total de 43 estudiantes.

Por otro lado, para evitar sesgos entre lo que se investiga y aquello que realmente se quiere investigar, se utilizó la técnica de validación del juicio del experto, la cual consiste en entregarles a tres o cinco expertos un ejemplar del instrumento a aplicar, con su respectiva matriz de respuestas, acompañado de los objetivos de investigación y luego de su evaluación y realización de sugerencias (si las hay), ejecutarlo. Para el caso presente, la evaluación del instrumento estuvo a cargo de los Magister en Ciencias Oswaldo Linares, Ermelinda Azuaje y María Castro, quienes son especialistas en metodología, pedagogía y matemática, respectivamente, todos ellos profesores activos de la Universidad de Los Andes en Trujillo, Venezuela.

El cuestionario que se utilizó estaba compuesto por 12 ítems agrupadas en cuatro dimensiones. A continuación, se describen cada una:

- Nivel declarativo: capacidad de reconocer los elementos matemáticos asociados a la notación científica como la potenciación y sus propiedades.
- Nivel operativo: capacidad de demostrar el proceso para resolver un ejercicio a través de herramientas matemáticas como suma y resta de potencias, identificación de cifras significativas y orden de magnitud, entre otros.
- Nivel explicativo: capacidad de aplicar sus conocimientos de notación científica para la resolución de problemas prácticos de la vida real, como expresar la distancia entre dos ciudades, el tamaño de una molécula, cantidad de letras en un libro, entre otros.
- Nivel didáctico: capacidad del docente para diseñar, organizar y poner en práctica un

conjunto de estrategias de enseñanza y actividades de aprendizaje, como las guías didácticas, mapas conceptuales, V de Gowin, entre otros.

La escala de respuesta fue entre 0 y 100%, donde las respuestas que tiende a 100% se consideran muy satisfactoria y las nada satisfactoria las que se acercaban a 0%.

La siguiente tabla, muestra los ítems con sus respuestas y dimensiones

Tabla 1. Valoración de respuestas del instrumento aplicado.

Dimensión	Ítems	Porcentaje
Nivel declarativo	1	71%
	2	80%
	3	57%
	4	57%
Nivel operativo	5	95%
	6	61%
	7	52%
	8	4%
Nivel explicativo	9	61%
Nivel didáctico	10	-
	11	-
	12	-

Fuente: Godoy (2011).

Así mismo, Stracuzzi y Pestana (2006) aseguran que la confiabilidad es la “ausencia de error aleatorio en un instrumento de recolección de datos”. Para calcular la confiabilidad del instrumento aplicado se utilizó el método K-R20, el cual procede de la siguiente forma: en primer lugar, para cada ítem se computa p, que es la proporción de sujetos que pasaron un ítem sobre el total de sujetos; luego, se computa q, que es igual a 1 - p; se multiplica p x q; y finalmente se suman todos los valores de p x q. El resultado obtenido es la sumatoria de la varianza individual de los ítems, o sea, $\sum p \times q$. En segundo lugar, se calcula la varianza total de la distribución de calificaciones (V_t); y, en tercer lugar, se aplica la fórmula correspondiente.

El modelo de Kuder-Richardson es aplicable en las pruebas de ítems dicotómicos en los cuales existen respuestas correctas e incorrectas, como las aplicadas en el cuestionario en cuestión.

Para calcular la confiabilidad, se aplicó una prueba piloto en una de las secciones del tercer año de educación media general y, puesto que el resultado fue favorable, se aplicó a la segunda sección. En la tabla 1 se observa el procedimiento para calcular la confiabilidad.

Tenemos el coeficiente de confiabilidad de la siguiente manera:

$$r_{tt} = \frac{n}{n-1} \times \frac{V_t - \sum pq}{V_t}$$

Tenemos que $n = 9$ representa el número de ítems que contiene el instrumento.

La varianza total de la prueba queda determinada por la siguiente fórmula:

$$\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

$$V_t = 12.55$$

Para ello, fue necesario calcular la media aritmética:

$$\bar{x} = 8,42$$

Sustituyendo todos los valores anteriores, tenemos que la confiabilidad es:

$$r_{tt} = 1,13 \times 0,86 = 0,97$$

A mayor valor de r_{tt} , mayor confiabilidad. El mayor valor teórico de r_{tt} es 1 y, en general, 0.80 se considera un valor aceptable. Como se puede observar, la $r_{tt} = 0,97$. Este resultado indica que existe una correlación “muy alta”, lo cual equivale a decir que el instrumento analizado es altamente confiable.

Tabla 2. Confiabilidad del instrumento.

Sujetos	Ítems									Total	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	√	√	√	x	√	x	x	x	x	4	-4.42	19.5364
2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	9	0.58	0.3364
3	√	√	x	√	√	√	√	x	√	7	-1.42	2.0164
4	√	√	x	√	√	√	√	x	√	7	-1.42	2.0164
5	√	x	x	x	√	√	x	x	x	3	-5.42	29.3764
6	√	√	√	x	√	x	x	x	√	5	-3.42	11.6964
7	√	√	x	x	√	√	x	x	x	4	-4.42	19.5364
8	√	√	√	√	√	√	x	x	√	7	-1.42	2.0164
9	√	√	√	√	√	√	x	x	√	7	-1.42	2.0164
10	x	√	√	√	√	√	x	x	x	5	-3.42	11.6964
11	x	x	x	√	√	x	√	x	x	3	-5.42	29.3764
12	x	x	√	x	√	x	√	x	√	4	-4.42	19.5364
13	√	√	√	x	√	√	√	x	√	7	-1.42	2.0164
14	√	x	√	x	√	√	√	x	x	5	-3.42	11.6964
15	√	√	x	x	√	√	√	x	x	5	-3.42	11.6964
16	x	√	x	√	x	√	x	x	√	4	-4.42	19.5364
17	x	√	x	x	√	x	x	x	x	2	-6.42	41.2164
18	x	√	√	√	√	√	x	x	√	6	-2.42	5.8564
19	√	√	x	√	√	x	√	x	√	6	-2.42	5.8564
20	√	√	√	√	√	x	√	x	√	7	-1.42	2.0164
21	√	√	√	√	√	x	√	x	√	7	-1.42	2.0164
p	0.71	0.8	0.57	0.57	0.95	0.61	0.52	0.04	0.61			251.0644
q(1-p)	0.29	0.2	0.43	0.43	0.05	0.39	0.48	0.96	0.39			
p x q	0.21	0.16	0.25	0.25	0.05	0.24	0.25	0.04	0.24			1.6674

Fuente: Godoy (2011).

Resultados

La figura 1 ilustra el porcentaje promedio de los nueve ítems valoradas por los estudiantes de la asignatura de física del liceo Rosario Almarza.

El porcentaje promedio de la muestra fue del 52%, lo que denota una valoración moderadamente satisfactoria. La figura 1 presenta los ítems en el orden antes mencionado, las primeras cuatro corresponden a la dimensión Nivel declarativo, las siguientes al Nivel operativo y así respectivamente.

Lo que estos resultados arrojan de los ítems (6, 7 y 8) es que los estudiantes reflejan poca operatividad en:

- Las cifras significativas, lo cual puede producir confusión a la hora de expresar un número en notación científica. Como lo expresan Brett y Suarez (2009), al indicar que generalmente las medidas realizadas en laboratorio, los dígitos serán significativos cuando están dados por la apreciación del instrumento.

- Orden de magnitud, la cual consiste precisamente en representar cantidades en potencia de 10 más cercana al valor real de un número según Lobo et al. (2005). Con esta falta de operatividad, el estudiante no aprovechará las bondades que ofrece la notación científica de comparar cantidades muy grande y/o pequeñas de forma rápida y precisa.

Seguidamente, de los ítems (3 y 4) los estudiantes medianamente reflejan un nivel declarativo en:

- Reconocer condiciones mínimas para expresar un número en Notación Científica, ya que según Álvarez (2009, p. 11), las cantidades en notación científica se expresan por medio de un número natural entre 1 y 9, seguido de algunos decimales a conveniencia y multiplicado por una potencia de base 10.
- Aceptar que los factores parte entera y literal, son factores importantes de la notación científica, que depende tanto del signo como

del valor del exponente, que según (Álvarez, 2009, p. 13) el exponente de la potencia de 10 representa el número de cifras (lugares) que debe correrse la coma decimal hacia la derecha o izquierda, si el exponente es positivo o negativo respectivamente.

Por otro lado, el ítem que podría calificarse como mínima aceptable (por su importancia) es de la dimensión Nivel didáctico. Esto denota la capacidad del estudiante en aplicar la notación científica en situaciones reales o a su contexto inmediato, ya que se evidencia poco trabajo imaginativo para relacionar cualquier distancia empleada entre dos objetos y expresarla en notación científica. Es por eso que se hace el esfuerzo de una guía didáctica que propicie el uso de la imaginación en los estudiantes a través de diferentes actividades lúdicas. Afianzado en que “una guía didáctica es un recurso que ponemos en las manos de nuestros estudiantes para que les informe y oriente en su aprendizaje” (Zabalza Beraza, 2004, p. 7).

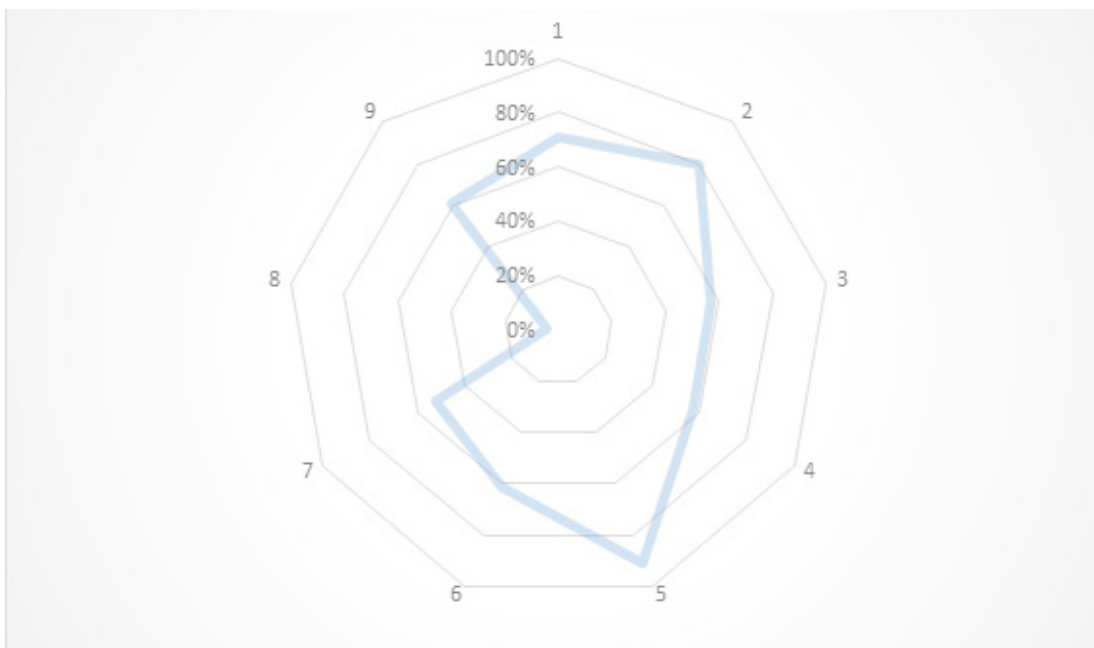


Figura 1. Porcentaje promedio de las respuestas en cada ítem.

Fuente: Godoy (2011).

Conclusiones

Como se pudo apreciar en la presentación de los resultados, los estudiantes encuestados presentan información muy básica con respecto a la notación científica. Su relación con esta es muy abstracta; no existe, para ellos, una aplicabilidad a su quehacer cotidiano, situación que no mejora con otros aspectos matemáticos como las cifras significativas y el orden de magnitud, que de hecho fue el ítem donde los estudiantes presentaron mayor deficiencia. Esto conlleva a pensar que el estudiante tiene una visión bastante errónea de la física, pues tal parece que la considera como una asignatura aislada e independiente.

Con respecto a lo anterior, los investigadores han sopesado la gran importancia de la promoción de estrategias innovadoras y motivantes con enfoques constructivistas en la asignatura de física, especialmente para los estudiantes de tercer año de educación media general, pues es para ellos su primer encuentro formal con esta área de formación y dicha experiencia marcará un hito para el éxito o fracaso en su comprensión y por ende la asimilación de las demás asignaturas afines. Por lo que se hizo hincapié en la promoción de una guía didáctica sobre la notación científica que servirá no solo para tener una mejor fluidez en la resolución de problemas físicos, sino también para la química, biología, astronomía, entre otros.

La guía didáctica titulada *Aprendiendo física con el uso la notación científica* fue diseñada para combinar aspectos matemáticos como cifras significativas, orden de magnitud y potenciación para el buen uso de la notación científica y, a su vez, ampliar los diferentes enfoques prácticos de esta con la vida cotidiana. Su estructura interna quedó de la siguiente manera: Portada, Índice, Introducción, Justificación, Objetivos, Aspectos teóricos, Actividades lúdicas, Lecturas complementarias y Bibliografía. Está diseñado con un lenguaje sencillo para que el estudiante pueda

usarlo con o sin ayuda del docente. Dicha guía didáctica se encuentra alojada en el siguiente blog: <https://sites.google.com/site/theorematicas/guiadidactica>.

Referencias

- Álvarez, J. (2009). *Física*. Caracas: Fundación Editorial Salesiana.
- Brett, E. y Suarez, W. (2009). *Teoría y práctica de física de tercer Año*. Caracas: Discolar S.A.
- Briceño Valero, J. M. y García Oropeza, L. (2012). El lenguaje matemático como competencia necesaria para la enseñanza y aprendizaje de la física. En E. Badillo Jiménez, *El desarrollo de competencias en la clase de ciencias y matemáticas*. Mérida, Venezuela: Fondo Editorial Mario Briceño Iragorri.
- De Pro, A. (septiembre de 2003). Algunas reflexiones sobre la enseñanza de la física y de la química. *Educación en el 2000*, 12-17. Recuperado de <https://www.educarm.es/documentos/246424/461834/3reflexiones.pdf/a00305ef-90c1-4457-b13e-966f6aaa97b3>
- Duschl, R. (1995). Perspectivas epistemológicas sobre el cambio conceptual: implicaciones para la práctica educativa. *Comunicación, lenguaje y educación*, 25, 107-125. <https://doi.org/10.1174/021470395321337857>
- Florez, R. (1994). *Hacia una pedagogía del conocimiento*. Bogotá: McGraw Hill.
- Lobo, H., Gutiérrez, G., Briceño, J., Rosario, J., Villarreal, M. y Caceres, J. (2005). *Mecánica*. Mérida, Venezuela: Editorial Codepre.
- Rodríguez, A. (2002). *Historia de las Matemáticas: Arquímedes El Genio de Siracusa*.
- Rodríguez, M. (2011). La matemática y su relación con las ciencias como recurso pedagógico. *Números*, 77, 35-49.
- Stracuzzi, S. P. y Pestana, F. M. (2006). *Metodología de la investigación cuantitativa*. Caracas: Fedupel.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Unesco). (1981). *Manual de*

la Unesco para la enseñanza de las ciencias.
París: Unesco.

Upel. (2011). Manual de Trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales. Caracas: Fedupel.

Zabalza Beraza, M. (2004). Guía para la planificación didáctica de la docencia universitaria en el marco del EEES. Documento de trabajo. La Coruña. España: Universidad de Santiago de Compostela.





La indagación científica y la transmisión-recepción: una contrastación de modelos de enseñanza para el aprendizaje del concepto densidad

Scientific inquiry and transmission-reception: a test of teaching models for learning the concept of density

Investigação científica e transmissão-recepção: um teste de modelos de ensino para aprender o conceito de densidade

Elvira Flórez-Nisperuza¹

Andrés Fernando De la Ossa Albis²

Recibido: agosto de 2017

Aceptado: noviembre de 2017

Para citar este artículo: Flórez-Nisperuza, E., y De la Ossa Albis, A. (2018). La indagación científica y la transmisión-recepción: una contrastación de modelos de enseñanza para el aprendizaje del concepto densidad. *Revista Científica*, 31(1), 55-67. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12452>

Resumen

La indagación científica ha sido centro de atención de múltiples investigaciones en las últimas décadas; algunas respaldan y otras desacreditan su efectividad en el aprendizaje en relación con modelos de enseñanza más tradicionales como el de transmisión-recepción, que, para este estudio, se integran a prácticas de laboratorio coherentes con las respectivas metodologías. Este estudio tiene como objetivo principal determinar cuál de estas metodologías de la enseñanza tiene mayor influencia en el aprendizaje del concepto de densidad como propiedad de la materia en los niveles de conocimiento, comprensión y aplicación después de la intervención de cada estrategia, así como la indagación en el grupo experimental y la transmisión-recepción en el grupo de control. Por otra parte, se busca caracterizar los niveles de indagación alcanzados por los equipos conformados para realizar las

prácticas de laboratorio del grupo sometido a dicho estrategia y relacionarlo con el aprendizaje. Para ello, se acude al paradigma cuantitativo de investigación y a un diseño cuasi-experimental de tipo transversal con pre y postest. Los resultados muestran de forma contundente que la indagación científica presenta mejores resultados en el aprendizaje del concepto en cuestión que la metodología de contraste con promedios de (10,59) y (8,18) respectivamente, corroborado estadísticamente por una prueba t que muestra un nivel de significancia de 0,017. Además, el equipo de laboratorio que presentó mejor nivel de indagación obtuvo también el mejor promedio en el postest; sin embargo, atípicamente el equipo con el desempeño más bajo en la indagación superó al resto de equipos en dicho promedio.

Palabras clave: prácticas de laboratorio, formulación de hipótesis, diseño de experimentos, investigación.

¹. Universidad de Córdoba. Montería, Córdoba, Colombia. Contacto: epatriciaflorez@correo.unicordoba.edu.co

². Universidad de Córdoba. Montería, Córdoba, Colombia. Contacto: afernandodelaossa@correo.unicordoba.edu.co

Abstract

The scientific inquiry has been the focus of multiples researches in the last decades, some support and others discredit its effectiveness in learning in relation to more traditional teaching models such as transmission-reception, that for this study, are integrated into laboratory practices consistent with the respective methodologies. The main objective of the research is to determine which of these teaching methodologies have the greatest influence in the learning of the concept of density as property of matter in the levels of knowledge, understanding, and implementation after the intervention of such strategy; inquiry in the experimental group and, transmission-reception in the control group, and, furthermore, characterize the levels of inquiry reached by the different teams formed to carry out the laboratory practices of the group subjected to said strategy and related it to learning. To achieve this is used the quantitative paradigm of investigation and a quasi-experimental design of transversal type with pre-and post-test. The results show conclusively that the scientific inquiry present best results in learning the concept in question, other than the methodology of contrast with an average of (10,59) and (8,18) respectively, statically corroborated by a test T that shows a significant level of 0,017. In addition, the laboratory team that presented the best level of inquiry also obtained the best average in the post-test, nevertheless, unlike the team with the lowest performance in the inquiry, exceeded the rest of the teams in said average.

Keywords: lab practices, hypothesis formulation, design of experiments, investigation.

Resumo

O inquérito científico tem sido o foco de pesquisas múltiplas nas últimas décadas, alguns apoios e outros descreditam a sua eficácia na aprendizagem em relação a modelos de ensino mais tradicionais como a transmissão-recepção, que, para este estudo, são integrados em práticas laboratoriais consistentes com a respectivas metodologias. O principal objetivo da pesquisa é determinar quais dessas metodologias de ensino têm a maior influência na aprendizagem do conceito de densidade como propriedade da matéria nos níveis de

conhecimento, compreensão e implementação após a intervenção de tal estratégia; inquérito no grupo experimental e transmissão-recepção no grupo de controle e, além disso, caracterizam os níveis de inquérito alcançados pelas diferentes equipas formadas para realizar as práticas laboratoriais do grupo sujeito à referida estratégia e relacionou-a à aprendizagem. Para conseguir isso é usado o paradigma quantitativo de investigação e um projeto quase experimental de tipo transversal com pré e pós-teste. Os resultados mostram de forma conclusiva que o inquérito científico apresenta os melhores resultados na aprendizagem do conceito em questão, além da metodologia de contraste com uma média de (10,59) e (8,18), respectivamente, corroborado estaticamente por um teste T que mostra um nível significativo de 0,017. Além disso, a equipe de laboratório que apresentou o melhor nível de pesquisa também obteve a melhor média no pós-teste, no entanto, ao contrário da equipe com o menor desempenho no inquérito, excedeu o resto das equipes na referida média.

Palavras-chaves: práticas laboratoriais, formulação de hipóteses, projeto de experiências, pesquisa.

Introducción

Existen numerosas investigaciones que han buscado establecer si la indagación científica es realmente la mejor forma de enseñar y aprender ciencia. Haciendo un breve recorrido por los estudios que se han dedicado a analizar la temática, puede notarse que la opinión al respecto está dividida, es decir, algunas la respaldan mientras otras la desacreditan. A favor de la indagación científica encontramos, por ejemplo, la opinión de Lederman, Lederman y Antink (2013), quienes afirman que la mejor forma de aprender ciencia es a través de la indagación. Se cree que los estudiantes aprenden mejor los conceptos científicos al hacer ciencia. En este mismo sentido, Romero-Ariza (2017) ilustra los resultados de una serie de investigaciones que demuestran los beneficios de la indagación científica en la enseñanza de las ciencias. Según este, las investigaciones en las que se emplean metodologías que promueven la capacidad de pensar y

argumentar con base en evidencias representan un factor positivo aunque moderado en la comprensión de ideas científicas, en especial cuando lo que se busca es la profundización del tema.

Por otro lado, existen voces en contra de la implementación de la indagación en la escuela. Así, Sweller y Clark (2006) afirman que las actividades abiertas de indagación, de aprendizaje basado en problemas, por descubrimiento y de naturaleza constructivistas están irremediablemente condenadas al fracaso, pues desconocen la arquitectura cognitiva humana. Estos autores hacen énfasis en el papel fundamental de la guía y la instrucción, ya que de esta manera se refuerza la memoria de largo plazo, un aspecto fundamental dentro de la arquitectura cognitiva humana. Por su parte, Couso Lagarón (2014) señala que muchos trabajos de indagación se plantan sin un objetivo conceptual y, en su lugar, lo único que pretenden es aprender a indagar, “¡y encima de eso mal!”. Según la investigadora, esto sucede porque se muestra el método científico de una forma muy simplificada que termina distorsionando la naturaleza de la ciencia. Asimismo, Martin Hasen (2002) afirma que no son pocas las actividades que se promocionan como indagatorias sin que realmente tengan las características propias de la indagación. Visto de este modo, los resultados negativos en el aprendizaje conceptual son más bien atribuibles a un mal enfoque de la indagación en las actividades académicas propuestas.

Teniendo en cuenta las posturas en favor y en contra de la indagación como modelo de enseñanza y aprendizaje, y que son numerosas las actividades de indagación descalificadas debido a una mala interpretación del término, se hace pertinente poner a prueba una actividad diseñada por los investigadores en este estudio y compararla con una metodología más bien heteroestructurante que haga énfasis en la instrucción.

Metodología

El estudio se alinea con el paradigma cuantitativo de investigación y es de tipo transversal, pues

las medidas se realizaron en los mismos tiempos y en una sola oportunidad. El diseño corresponde a un cuasi-experimento con pretest, postest y grupo de control, ya que al tratarse de grupos intactos fue necesario saber qué tan similares son los grupos con el fin de disminuir el sesgo al comparar la efectividad de las metodologías puestas a prueba. En otras palabras, si el estímulo de la variable independiente es responsable o no de los eventuales efectos (positivos o negativos) sobre la variable dependiente (Hernández y Fernández, 2010). Los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS versión 23 y las gráficas con Excel. Es preciso decir que los modelos de enseñanza fueron integrados a prácticas de laboratorios coherentes con sus metodologías. Se trata de una práctica tipo investigación que partió de un problema conceptual (véase anexo B) y con el cual los propios estudiantes formularon sus hipótesis y diseñaron sus experimentos he implementada en el grupo experimental; mientras que al grupo de control se aplicó una práctica de laboratorio tipo “receta” o de comprobación teórica en la que el diseño experimental estaba pre-establecido en la guía de trabajo.

Instrumentos

Para establecer el tipo de aprendizaje, se aplicó un cuestionario de 20 preguntas cerradas antes y después de implementar las estrategias de enseñanza en cada uno de los grupos. Este ayudó a evaluar el aprendizaje de la densidad como propiedad de la materia en los niveles de conocimiento, comprensión y aplicación. El cuestionario fue validado por dos expertos y aplicado previamente en una prueba piloto con el que se le determinó una confiabilidad de homogeneidad interna de 0,72 con el modelo de Kuder-Richardson, donde 0,0 representa confiabilidad nula y 1,0 representa confiabilidad máxima (Ruiz Bolívar, 2008). Sin embargo, el instrumento cuenta con una confiabilidad alta por lo que se asume la medición de la variable en consideración.

Al mismo tiempo, se aplicó un instrumento para caracterizar el nivel de indagación alcanzado por los seis equipos de laboratorio correspondientes al grupo experimental *New Practical Test Assessment Inventory* o NPTAI (Ferrés Gurt, Marbá Tallada y Neus, 2015), una escala ordinal que cuenta con unas categorías las cuales evalúan el desempeño de indagación, para ello fue modificado y adaptado a las condiciones académicas de la población y a los recursos disponibles en la institución para la realización de los trabajos prácticos, entre ellos: la escasa familiarización con la metodología de la indagación científica, la nula experiencia en trabajos prácticos de laboratorio en grados anteriores (inclusive en prácticas de laboratorio tipo “receta”), así como la disponibilidad de materiales, reactivos y aparatos de laboratorio de la institución. Por tal razón ha sido denominado *nivel de indagación científica para principiantes* (NdICpP) y validado por dos expertos. Las categorías tenidas consideradas para la caracterización fueron: A = formulación de hipótesis, B = diseño de experimentos, C = identificación de variables, D = recolección y procesamiento de datos, E = análisis de datos y obtención de conclusiones. Cada una de estas categorías (cinco en

total) tiene un número determinado de rúbricas ordinales. Teniendo en cuenta que las categorías difieren en el número de rúbricas, se le asignó un valor de 5 puntos a cada una para igualar su aporte al NdICpP, de modo que la puntuación máxima del instrumento es de 25 puntos; el valor de cada rúbrica se determina con el cociente $5/n - 1$, donde n representa el número de rúbricas de la categoría, se hace la corrección $n - 1$ porque el instrumento contempla valoraciones de cero (0) (véase anexo A).

Propuesta metodológica de la indagación científica

Para comprobar que la indagación científica es una estrategia que produce mejores resultados en el aprendizaje conceptual en comparación con el modelo de transmisión-recepción, a continuación, se detalla las etapas y pasos seguidos durante su implementación.

El grupo experimental se organizó en seis equipos: cinco grupos de cinco estudiantes y un grupo de cuatro, a los cuales se les valoró en cada una de las categorías de indagación puestas a prueba en el instrumento NdICpP.

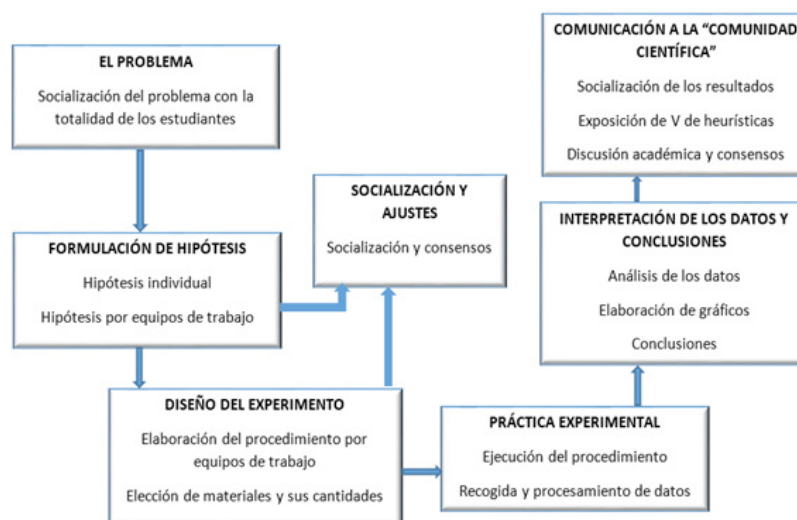


Figura 1. Etapas y procesos para la implementación de la estrategia basada en la indagación científica.

Fuente: adaptada del modelo de investigación propuesto por la Assessment of Performance Unit, citado en Caamaño (2003).

Población y muestra

El estudio se realizó en una población de 1.364 estudiantes de la Institución Educativa la Ye del municipio de Sahagún, en el departamento de Córdoba. En específico, una muestra de 57 estudiantes con un promedio de 14 años correspondientes a los grados noveno A (9ºA) y noveno B (9ºB) para los grupos de control y experimental respectivamente.

Resultados y discusión

En primer lugar, se analiza el pretest con el que se determinó el grado de equivalencia entre el grupo de control y experimental.

Los resultados evidencian medias y desviaciones estándar muy similares entre los grupos de comparación, por lo cual fue necesario corroborar estadísticamente la similitud de los grupos de la siguiente forma:

Se realizó la prueba de normalidad de la variable cuantitativa de calificación (puntos correctos de 20 posibles), atendiendo a los supuestos

mostrados a continuación. Se acude a la prueba de Shapiro-Wilk por tratarse de muestras menores a 30 puntos.

- Si $P\text{-valor} > \alpha$ (0,05) Aceptar H_0 = se acepta que los datos provienen de una distribución normal
- Si $P\text{-valor} < \alpha$ (0,05) Aceptar H_1 = se rechaza que los datos provienen de una distribución normal

De los resultados de la prueba puede notarse que la variable en cuestión en el grupo de experimental se comporta de forma normal, mientras que para el grupo de control no.

$$P\text{-valor (experimental)} = 0,122 > \alpha = 0,05$$

$$P\text{-valor (control)} = 0,009 < \alpha = 0,05$$

Dado que no se satisfacen varias de las condiciones de parametricidad, se aplica la prueba no paramétrica de U de Mann de Whitney que compara las medianas de las muestras, no sin antes establecer el siguiente sistema de hipótesis:

Tabla 1. Resumen estadístico de los resultados del pretest.

Grupo	Media	N	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Varianza
Experimental	7,17	29	2,189	3	13	4,791
Control	7,00	28	2,749	4	14	7,556
Total	7,09	57	2,459	3	14	6,046

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el pretest

Pretest	Grupo	Shapiro-Wilk		
	Experimental	,943	29	,122
	Control	,896	28	,009

Fuente: elaboración propia.

- Si P- valor $> \alpha$ (0,05) Aceptar H0 = los grupos no presentaron diferencias significativas
- Si P- valor $< \alpha$ (0,05) Aceptar H1 = los grupos presentan diferencias significativas

Tabla 3. Prueba de U de Mann-Whitney para probar diferencia o similitud de los grupos experimental y de control.

U de Mann-Whitney	360,500
W de Wilcoxon	766,500
Z	-,735
Sig. asintótica (bilateral)	,463

Fuente: elaboración propia.

La significancia (sig. asintótica bilateral) arrojada por la prueba es mayor que alfa (α), así que se acepta la hipótesis nula. Con ello se concluye que los grupos no presentan diferencias significativas.

Este resultado fue positivo para la investigación, pues no fue necesario realizar ningún emparejamiento de los grupos y se posibilitó continuar con el diseño cuasi-experimental planteado. De esta forma, las diferencias presentadas en los aprendizajes de los grupos son atribuibles

con mayor probabilidad a las características de las metodologías.

$$P - \text{valor} = 0,463 > \alpha = 0,05$$

Ahora bien, con el análisis del posttest se establece finalmente cuál metodología tuvo mayor influencia sobre el aprendizaje de la densidad. A continuación, se muestra el resumen estadístico de la segunda aplicación del test.

Al igual que en el pretest, se realizó una prueba de normalidad para decidir el estadístico apropiado para el análisis inferencial del posttest. Por tanto, se aplicó la misma prueba para este fin.

En la tabla se aprecia que P – valor o la significancia (sig.) es mayor que el nivel alfa (α) para ambos grupos.

$$P - \text{valor (control)} = 0,444 > \alpha = 0,05$$

$$P - \text{valor (experimental)} = 0,527 > \alpha = 0,05$$

Con estos valores se acepta la hipótesis nula, es decir, se establece que la variable en tratamiento se comporta de forma normal en ambos casos. Una vez pasado este filtro, se determinó la igualdad de varianza con la prueba de Levene según el siguiente sistema de hipótesis.

Tabla 4. Resumen estadístico de los resultados del posttest.

Postest	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
	Experimental	29	10,59	3,541	,658
Control	28	8,18	3,850	,727	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el posttest.

Postest	Grupo	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.
Experimental		,965	29	,444
Control		,968	28	,527

Fuente: elaboración propia.

- H0 = las varianzas son iguales si P- valor > α (0,05)
- H1 = si existe diferencias significativas entre las varianzas si P- valor < α (0,05)

Tabla 6. Prueba de Levene para probar igualdad de varianzas de los resultados del postest en grupos de control y experimental.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
Postest	Se asumen varianzas iguales	,099	,755
	No se asumen varianzas iguales		

Fuente: elaboración propia.

Dadas las condiciones y el resultado de la prueba de Levene, se asumen varianzas iguales en la variable dependiente para los dos grupos, ya que el nivel de significancia (sig.) o P – valor es mayor que alfa (α).

$$P - \text{valor} = 0,755 > \alpha = 0,05$$

Con estos resultados se pudo confirmar el comportamiento normal de la variable, y además se asume igualdad de varianza. Ahora, conforme a los resultados obtenidos, se aplicó la prueba T para muestras independientes para la comparación de medias con el propósito de determinar si la diferencia presentada en las medias de los grupos de control y experimental son significativas; para esto se estableció que:

Si P- valor > α (0,05) Aceptar = H0: la indagación científica integrada a los trabajos prácticos de laboratorio no representa una metodología que permite el aprendizaje conceptual en mayor grado que los métodos de enseñanza de transmisión-recepción apoyado en el uso de prácticas de laboratorio tipo “receta”.

Si P- valor < α (0,05) Aceptar H1 = la indagación científica integrada a los trabajos prácticos de laboratorio representa una metodología que permite el aprendizaje conceptual en mayor grado que los métodos de enseñanza de transmisión-recepción apoyado en el uso de prácticas de laboratorio tipo “receta”.

Si se concentra la atención en la significancia expuesta en la tabla 7 y se confronta con el sistema de hipótesis que compara las estrategias de enseñanza, se evidencia que esta es menor que alfa (α) 0,05. En este caso, los valores de significancia son iguales en ambas filas (columna 3 de la tabla 7), así que no hay que hacer una elección entre ellas.

En definitiva, el valor de la significancia es menor que el de alfa (α), por lo que se rechaza la hipótesis nula σ , en su defecto, se acepta la hipótesis de investigación H1.

$$P - \text{valor} = 0,017 < \alpha = 0,05$$

Se concluye entonces, a partir de la prueba estadística t student para muestras independientes, que en la estrategia fundamentada en la indagación científica integrada a una práctica de laboratorio de esta naturaleza se logró mejores aprendizajes conceptuales que la estrategia basada en el modelo de transmisión-recepción integrada a una práctica de laboratorio tipo “receta”.

Tabla 7. Prueba t para muestras independientes del postest.

Prueba t para la igualdad de medias						
T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
2,459	55	,017	2,408	,979	,445	4,370
2,455	54,232	,017	2,408	,981	,442	4,373

Fuente: elaboración propia.

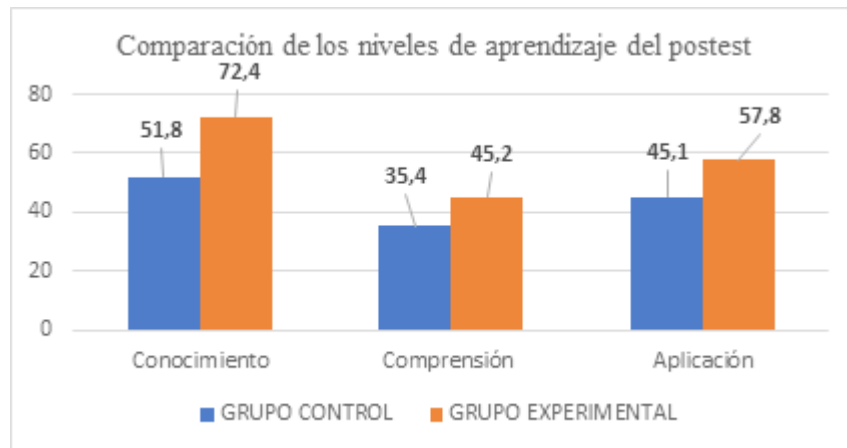


Figura 2. Comparación de los desempeños alcanzados en el aprendizaje en los niveles de conocimiento, comprensión y aplicación de los grupos experimental y de control en el postest.

Fuente: elaboración propia.

En relación con los tres niveles de aprendizaje conceptual (conocimiento, comprensión y aplicación), se observó que estos fueron superiores en el grupo experimental en cada caso. En especial, destacan la diferencia en el nivel de conocimiento (20,6 puntos porcentuales), seguido por el de aplicación (los cuales difieren en 12,7) y, finalmente, el de comprensión (con una diferencia de 9,8). Desde esta perspectiva, queda respaldada aún más la hipótesis de investigación.

De forma análoga, se muestran los niveles de indagación alcanzados por los seis equipos de trabajo en el laboratorio, correspondiente al grupo experimental en cada una de las cinco categorías tenidas en cuenta.

La categoría en donde se logró un mayor desempeño por parte de los equipos de trabajo en el laboratorio es la formulación de hipótesis (categoría A), con un promedio de 3,5. Por el contrario, la categoría de indagación en la que mayor dificultad presentaron dichos equipos es: el análisis de datos y la obtención de conclusiones (categoría E), con un promedio de tan solo 0,3; seguida por el diseño de experimentos (categoría B), con un promedio de 1,4.

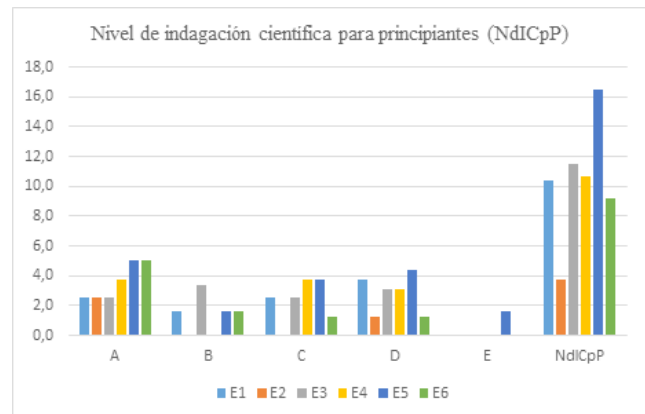


Figura 3. Niveles de indagación alcanzados por los seis equipos de laboratorio del grupo experimental.

Fuente: elaboración propia.

Según los reportes de investigaciones recientes, las competencias que representan mayor dificultad para los estudiantes son la formulación de hipótesis y el diseño del experimento (Ferrés Gurt, Marbá Tallada, y Neus, 2015; González Rodríguez y Crujeiras Pérez, 2016), pues lo regular es que ellos reciban las instrucciones listas en el procedimiento de una guía de laboratorio en lugar de elaborar el procedimiento. Esto se acentúa aún más ya que, como se mencionó antes, ni siquiera en prácticas tipo

“receta” tienen experiencia. Sin embargo, la formulación de hipótesis en este estudio tuvo un comportamiento atípico si se compara con otros relacionados; tan es así que los equipos 5 y 6 lograron la puntuación máxima en esta categoría (5,0). Lo anterior se puede entender desde la forma deductiva como se abordó la construcción de la hipótesis, más explícitamente a la disposición de unos referentes teóricos relacionados con el concepto que llevaron a la explicación del problema, para el caso de la densidad: las fuerzas de cohesión y su relación con la masa y el volumen ocupado de las sustancias consideradas en el problema, además del acompañamiento del docente a través de cuestionamientos que ayudaron en la elaboración de la conjetura. En general, el bagaje del maestro fue imprescindible en la realización de prácticas de indagación. Las pistas, las indicaciones, las preguntas abiertas y la activación del conocimiento teórico son recursos de apoyo sin los cuales sería muy difícil completar la tarea de forma autónoma (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2015).

Finalmente, se comparó el NdlcpP alcanzado por los seis equipos de laboratorio con el promedio de calificación obtenida en el postest, teniendo en cuenta que la indagación se valoró de forma grupal.

Tabla 8. NdlcpP obtenida por los equipos y sus correspondientes promedios obtenidos en el postest.

Equipos	NdlCpP	Promedio calificación
E1	10,4	9,6
E2	3,8	10,2
E3	11,5	10,0
E4	10,6	9,5
E5	16,5	14,2
E6	9,2	9,8

Fuente: elaboración propia.

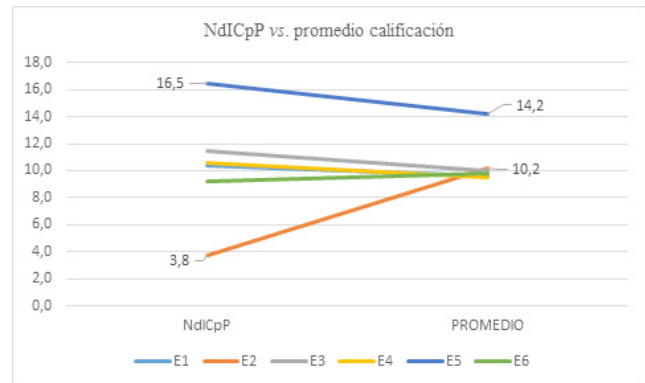


Figura 4. Contraste entre los niveles de indagación alcanzado por los equipos de laboratorio y sus respectivos promedios en la calificación del aprendizaje del postest.

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 8, y más explícitamente de la figura 4, se puede notar que el equipo que mejor desempeño tuvo en el NdlcpP, el E5, también logró un mejor promedio en la calificación de sus integrantes (14,2). Con una tendencia similar, los equipos E1, E3, E4 y E6 obtuvieron desempeños de indagación parecidos, lo cual correspondió con los promedios de calificación que parecen converger en la figura. Sin embargo, E2 presentó un comportamiento atípico frente a lo esperado, a pesar de tener un desempeño muy bajo en la indagación (3,8), superó en promedio (10,4) al resto de grupos.

Conclusiones

La indagación científica abordada desde una práctica de laboratorio tipo investigación que parte de una situación problema representa en muchos casos una alternativa que logra una apropiación conceptual mucho más profunda que los métodos de enseñanza más tradicionales como el de transmisión-recepción. En este estudio se equipararon las cargas de los modelos, pues ambas metodologías contaron con prácticas de laboratorio, el segundo modelo con la práctica tipo “receta”.

Aunque no es viable aplicar un solo modelo de enseñanza de las ciencias en la escuela, para este

caso en particular, en el que se buscó el aprendizaje de la densidad como una propiedad intensiva de la materia, resultó ser más eficiente el modelo de investigación basado en competencias propias de la indagación científica. Si tenemos en cuenta que la densidad es un concepto que, aunque aparece en los libros de texto como un simple cociente entre la masa y el volumen, "los estudiantes relacionan la densidad con una de las variables (masa o volumen) y no con la relación entre ellas" (Raviolo, Moscato y Schnersch, 2005, p.90). La presencia de estas y otras dificultades presentadas en la comprensión de este concepto abstracto es precisamente la razón que hace aprovechable la indagación en búsqueda del aprendizaje, más aún cuando hay experimentación en la que existe contrastación de lo investigado y planteado en la hipótesis, a través de un experimento diseñado en equipo y ajustado en una socialización por *la comunidad científica*.

Al respecto de las categorías de indagación puestas en escena, y que fueron valoradas por un instrumento que se nombró como NdICpP, se corrobora una vez más que el diseño de experimentos no es el fuerte de los estudiantes. De igual modo, el análisis de datos y obtención de conclusiones resultó en este estudio la de menor desempeño por los equipos de trabajo, quizás por la dificultad de hacer un análisis holístico desde el planteamiento del problema y la formulación de la hipótesis hasta la solución del mismo después de obtener los datos del experimento.

Sin embargo, el desempeño de los equipos de trabajo en la formulación de hipótesis resultó ser satisfactorio para este caso, contrario a lo que reportan las últimas investigaciones. El éxito en la formulación de la hipótesis parece obedecer, por una parte, a la adecuación de materiales de consulta que guardaron estrecha relación con el fenómeno y, por otra, al andamiaje conceptual prestado por el profesor durante las sesiones de trabajo. A esto hay que añadir que las experiencias en actividades de indagación han tenido un mayor efecto en el aprendizaje cuando son dirigidas por

los profesores, en contraste con las que son desarrolladas por los estudiantes con toda autonomía (Furtak, Seidel y Heidy, 2012).

Todo lo anterior lleva a pensar que la formulación de hipótesis representa un ejercicio clave en la comprensión del concepto, pues hasta el equipo E2, de más bajo puntaje en el NdICpP (3,5 de 25) pero con un desempeño regular en la formulación de hipótesis (3,0 de 5,0), logró buen promedio de calificación de sus integrantes (10,4), inclusive mejor que el resto de equipos, excepto el (E5) cuyo promedio de calificaciones fue el más alto (14,2) y que fue coherente con el puntaje del NdICpP (16,5).

Referencias

- Caama-o, A. (2003). Los trabajos prácticos en ciencias. En Jiménez Aleixandre, M.P., Caama-o, A., O-orbe, A., Pedrinaci, E. y de Pro, A., Ense-ar en ciencias, (pp. 95-118). Barcelona: Graó.
- Couso Lagarón, D. (2014). De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. Conferencia plenaria inaugural en XXVI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Barcelona.
- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M.P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. Ense-anza de las Ciencias, 33(1), 63-84. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1469>
- Ferrés Gurt, C., Marbá Tallada, A. y Neus, S.P. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. Eureka sobre Ense-anza y Divulgación de las Ciencias, 12(1), 22-37. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.03
- Furtak, E.M., Seidel, T. y Heidy, I. (2012). Experimental and Quasi-Experimental

- Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- González Rodríguez, L. y Crujeiras Pérez, B. (2016). Aprendizaje de las reacciones químicas a través de actividades de indagación en el laboratorio sobre cuestiones de la vida cotidiana. *Ense-anzas de las Ciencias*, 34(3), 143-160. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2018>
- Hernández Sampieri, R. y Fernández Cogollo, C. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Lederman, N. G., Lederman, J. S., and Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3).
- Martin Hasen, L. (2002). Defining Inquiry: Exploring the many types of inquiry in the science classroom. *The Science Teacher*, 69(2), 34-37.
- Raviolo, A., Moscato, M. y Schnersch, A. (2005). Ense-anza del concepto de densidad a través de un modelo analógico. *Revista de la Ense-anza de la Física*, 18(2), 93-103.
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la ense-anza de las ciencias? *Revista Eureka sobre ense-anza y divulgación de las ciencias*, 14(2), 286-299.
- Ruiz Bolívar, C. (2008). Confiabilidad (pp. 1-14). Programa Interinstitucional Doctorado en Educación. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Venezuela. Recuperado de: <http://200.11.208.195/blogRedDocente/alexisduran/wp-content/uploads/2015/11/CONFIABILIDAD.pdf>
- Sweller, J. y Clark, R. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1



Anexos

Instrumento para caracterizar el nivel de indagación de los equipos de laboratorio en el grupo experimental y la situación problema del que parte la indagación científica.

Anexo A. Nivel de indagación científica para principiantes (NdICpP).

Categoría	Rúbrica	Valoración
A. Formulación de hipótesis	No plantean hipótesis o plantean hipótesis sin sentido	0
	Plantean hipótesis sin relación con el problema de investigación	1
	Plantean hipótesis ambiguas o con errores de lógica o mal formuladas o solo emiten predicciones	2
	Formulan hipótesis en forma de deducción y que encajan con el problema de investigación	3
	Formulan hipótesis en forma de deducción y que encajan con el problema de investigación y con el esquema <i>si pensamos que... entonces si... observaremos que...</i>	4
B. Diseño experimental	No proponen diseño experimental	0
	El diseño experimental no permite comprobar la hipótesis	1
	El diseño experimental permite comprobar la hipótesis, pero está mal organizado y requiere ajustar el procedimiento	2
	El diseño experimental permite comprobar la hipótesis y el procedimiento está listo para su ejecución	3
C. Identificación de variables	No identifican las variables implicadas en el diseño experimental	0
	Proponen variables que no guardan relación con el experimento	1
	Identifican las variables implicadas en el experimento, pero no discriminan entre la VD y la VI	2
	Identifican la VD y la VI implicadas en el experimento, pero no explican claramente la relación entre ellas	3
	Identifican la VD y VI implicadas en el experimento y explican la relación entre ellas	4
D. Recogida y procesamiento de datos	No reportan datos del experimento	0
	Datos inexactos que muestran una inadecuada ejecución de los procedimientos, tratamiento inadecuado de los mismos y sin gráficos	1
	Datos inexactos que muestran una inadecuada ejecución de los procedimientos, con un <u>mal</u> tratamiento matemático, pero <u>bien</u> graficados	2
	Datos inexactos que muestran una inadecuada ejecución de los procedimientos, con un <u>buen</u> tratamiento matemático, pero <u>mal</u> graficados	3
	Datos inexactos que muestran una inadecuada ejecución de los procedimientos, pero con un <u>buen</u> tratamiento matemático y <u>bien</u> graficados	4
	Datos exactos que muestran una adecuada ejecución de los procedimientos, pero con un <u>mal</u> tratamiento matemático y <u>mal</u> graficados	5
	Datos exactos que muestran una adecuada ejecución de los procedimientos, <u>con un mal</u> tratamiento matemático, pero <u>bien</u> graficados	6
	Datos exactos que muestran una adecuada ejecución de los procedimientos, <u>buen</u> tratamiento matemático y <u>mal</u> graficados	7
	Datos exactos que muestran una adecuada ejecución de los procedimientos, con un <u>buen</u> tratamiento matemático y <u>bien</u> graficados.	8
E. Análisis de datos y obtención de conclusiones	Sin análisis de datos	0
	Análisis deficiente y conclusiones no fundamentadas en los datos, ni en elementos teóricos	1
	Análisis de datos bien fundamentado, pero solo se basa en los datos empíricos o en elementos teóricos	2
	Análisis de datos bien fundamentado y basado en datos empíricos y en fundamentos teóricos	3

Nota: para determinar el aporte de cada rúbrica a una categoría, por ejemplo, el D = Recogida y procesamiento de los datos, que cuenta con 9 rúbricas (n = 9), la puntuación máxima que ofrece esta es de 8 o (n-1) ya que cero (0) está incluido dentro de los desempeños. Entonces el aporte de cada rúbrica para esta categoría se calcula así: $5/(9-1) = 0,625$.

Anexo B. El problema o situación de investigación: ¿tienen igual o diferente masa los mismos volúmenes de agua, glicerina y etanol?

Adrián se encontraba en el acostumbrado descanso de la jornada escolar. Entonces, escuchó a un grupo de estudiantes que discutía lo siguiente: ¿cuál tiene mayor masa: un kilogramo de hierro o uno de algodón? Algunos respondieron apresuradamente, “un kilo de hierro”, en seguida, y con confianza, otros afirmaron que el algodón; aparentemente, no porque tuvieran clara la razón, sino más bien porque creían que la respuesta no era *tan obvia*. El compañero que lanzó la pregunta sonrió mientras daba la respuesta “ambos tienen la misma masa, es un kilogramo de cada material”. La discusión de mis compañeros de escuela me llevó a manifestarle a mi maestro de química la situación, y preguntarle acerca de cuál es la explicación científica que respondiera a la percepción de pesado y ligero que tenemos de los distintos materiales. El profe me respondió emocionado, ¡La clave está en la densidad!, no es el peso, no es la masa ni el volumen, aunque guarden relación con ello. Llevemos el interrogante a la clase de química y compartámoslo con tus compañeros, e indaguemos sobre esta propiedad tan interesante de la materia. Usemos otra pregunta y otros materiales ¿Habría la misma masa de agua, glicerina y gasolina en los mismos volúmenes de cada sustancia? ¿Cuántos gramos de cada sustancia hay en un volumen de 1 ml? ¿A qué propiedad microscópica de la materia se les puede atribuir el hecho de que exista una masa constante (o de partículas) en un volumen de referencia (1 mL, 1 L ó 1 m³) para cada sustancia y/o material a una determinada temperatura?



Los ejes DOC: una estrategia conceptual y metodológica en la construcción del conocimiento profesional del profesor

The axes DOC: a conceptual and methodological strategy in the construction of professional knowledge of the teacher

Os eixos DOC: uma estratégia conceitual e metodológica na construção do conhecimento profissional do professor

Guillermo Fonseca-Amaya¹

Recibido: agosto de 2017

Aceptado: noviembre de 2017

Para citar este artículo: Fonseca-Amaya, G. (2018). Los ejes DOC: una estrategia conceptual y metodológica en la construcción del conocimiento profesional del profesor. *Revista Científica*, 31(1), 68-84. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12432>

Resumen

La didáctica de las ciencias, entendida como una disciplina en consolidación, se construye a través de diversas líneas de investigación. Una de estas es el conocimiento profesional del profesor, el cual surge por la necesidad de comprender cómo los profesores en formación y en ejercicio construyen un conocimiento singular de su profesión. Los ejes DOC (dinamizador, obstáculo y cuestionamiento) se constituyen como un dispositivo conceptual y metodológico de orden reflexivo sobre los aspectos que se articulan en la construcción del conocimiento profesional del profesor. Acorde con ello, se presentan los resultados de un proceso de investigación-acción (I-A), en donde un profesor de Biología en formación comprende que la evaluación y la estrategia de enseñanza (investigación escolar) son ejes DOC que aportan en su proceso de formación. Derivado del estudio de caso es posible evidenciar dos características de los ejes DOC: la coexistencia temporal de los ejes sobre un conocimiento y la

posibilidad de su transformación. Así, se considera que los ejes DOC son una propuesta conceptual que no solo realiza aportes en la investigación en didáctica, sino también en los procesos formativos, tanto en la comprensión como en la transformación y enriquecimiento del conocimiento profesional.

Palabras clave: conocimiento profesional del profesor, didáctica de las ciencias, ejes DOC, evaluación, formación de profesores, investigación escolar.

Abstract

The science's didactic as a discipline in consolidation, is built through several lines of research, including The Professional Knowledge of the Teacher, which arises because of the need to understand how teachers in training and in the exercise of a unique knowledge of their profession. The DOC Axes (Dynamic, Obstruction and Questioning), constitute a conceptual and methodological device of reflexive order on the aspects that are articulated in the construction of the Professional Knowledge of the Professor.

¹ Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá, Colombia. Contacto: gfonsecaa@udistrital.edu.co

Accordingly, the results of an IA process are presented, where a teacher in training, understands that Evaluation and Teaching Strategy (School Research), are constituted in Axes DOC which contribute in their training process as biology's teacher. Derived from the case study it is possible to show two characteristics of the DOC Axes (Dynamic, Obstruction and Questioning) the temporal coexistence of the axes on a knowledge and the possibility of its transformation. Thus, it is considered that the Axes DOC, is a conceptual proposal that not only in the didactic research, but also in the formative processes, makes contributions both in the understanding and in the transformation and enrichment of professional knowledge.

Keywords: Professional Knowledge of the Teacher, Science's Didactic, DOC Axes, Evaluation, Teacher Training, School Research.

Resumo

A didática das ciências como uma disciplina em consolidação, é construída através de várias linhas de pesquisa, incluindo o Conhecimento Profissional do Professor. Linha importante, por causa da necessidade de compreender como os professores em exercício e em formação constroem um conhecimento único de sua Profissão. Assim, os eixos DOC (dinamizador, obstáculo e questionamento) constituem um dispositivo conceitual e metodológico de ordem reflexivo, sobre os aspectos que se articulam na construção do conhecimento profissional do professor. Neste sentido, apresentamos os resultados de um processo de Pesquisa-Ação, a partir do caso de um professor de biologia em formação participante da pesquisa, que compreendeu a avaliação e a estratégia de ensino (investigação escolar), como eixos DOC que contribuem no seu processo de formação. Como resultados do estudo de caso, podemos levantar duas características dos Eixos DOC, a primeira trata-se da coexistência temporária dos eixos sobre um conhecimento e a segunda, da possibilidade de transformação desses eixos. Assim, consideramos que os eixos DOC são uma proposta conceitual, que não só na investigação didática, mas que também em processos de formação, pode contribuir na compreensão, aperfeiçoamento e transformação do conhecimento profissional.

Palavras-chaves: conhecimento profissional do professor, didática das ciências eixos doc, formação de professores, avaliação, investigação escolar.

Introducción

El *conocimiento profesional del profesor* ha sido objeto de investigación, tanto a nivel nacional como internacional, y ha generado un cúmulo de referentes teóricos y metodológicos. Este aspecto se asocia con una línea de investigación en el campo de la didáctica de las ciencias (Porlán, 1998; Adúriz e Izquierdo, 2002). A nivel internacional, las denominaciones que se le han dado al conocimiento profesional del profesor son diversas: para el programa de Shulman (1986; 2015), este se conoce como *conocimiento pedagógico del contenido conocimiento pedagógico base o genérico del profesor, conocimiento del tópico específico y conocimiento pedagógico del contenido y habilidades*. Para Porlán y Rivero (1998), este se denomina: *conocimiento profesional del profesor (CPP)* y *conocimiento práctico profesional (CPP)*. Por último, para Tardif (2004) este se conoce como los *saberes docentes*.

En Colombia, los investigadores han aportado en la comprensión del conocimiento profesional del profesor (al retomar, entre otros, a los anteriores programas de investigación) y, en consecuencia, al campo de la didáctica de las ciencias. Es importante destacar los trabajos de Jiménez, Angulo y Soto (2013), Bonilla (2014), Valbuena (2008), Mora y Parga (2014), Martínez (2000; 2005; 2016), Martínez y Valbuena (2013), Tamayo y Orrego (2005), Perafán (2015), entre otros, los cuales proponen diversas conceptualizaciones.

Derivado de la I-A, desarrollada con un profesor en formación sobre el conocimiento profesional en relación con la enseñanza de la biodiversidad, Fonseca (2017) plantea que el Conocimiento Profesional del Profesor de Biología, es producto de la integración/transformación entre los conocimientos experiencial (Historia de Vida, Contexto, Experiencia) y el conocimiento académico (*conocimiento biológico y conocimiento didáctico de*

las ciencias). Este conocimiento se deriva de la reflexión en y sobre la práctica que le permiten al estudiante construir explicaciones acerca de los fenómenos naturales de manera contextual y desde allí, promover el cuidado de sí mismo y de las otras especies, y aportar en la comprensión y solución de los problemas socio ambientales desde una perspectiva compleja.

En este proceso de integración/transformación es importante señalar la construcción de un conocimiento singular diferenciado por las especificadas en el origen de cada uno de los conocimientos, en la medida en que se produce a través de la intención del sujeto maestro de aportar en la formación de otros sujetos. Así, por ejemplo, el conocimiento biológico se constituye en un medio y no en un fin en sí mismo en la comprensión del mundo natural y social; el conocimiento didáctico aporta en la comprensión acerca de la naturaleza del proceso de enseñanza y de aprendizaje entendiendo este como complejo y de orden local; el conocimiento del contexto contribuye en el reconocimiento de los diversos saberes que circulan en la escuela; el conocimiento de la experiencia facilita el entendimiento de un saber que el sujeto maestro ha construido a través de la decantación de sus múltiples relaciones; y el conocimiento de la historia de vida se constituye como un conocimiento que se articula con su propia configuración como sujeto y que proyecta en los otros.

En este sentido, cada uno de estos conocimientos se configuran como referente y fuente que sufren una transformación en el sistema de integración/transformación y aportan en la construcción de un conocimiento propio del profesor de Biología. Por ejemplo, en la investigación reportada por Fonseca se deriva un CPP de Biología sobre la enseñanza de la biodiversidad a través de cuatro conocimientos que se movilizan en los procesos de enseñanza y de aprendizaje (2016). Así, de la integración/transformación de los cinco

conocimientos antes mencionados emergen o derivan cuatro conocimientos en el caso Yonier²: la enseñanza de la biodiversidad, el cuidado de sí y del otro y la posibilidad de salir adelante; la enseñanza de la biodiversidad y el mantenimiento de la vida desde una perspectiva crítica; la enseñanza de la biodiversidad y el mantenimiento de la vida desde la comprensión de las interacciones ecosistémicas; y la enseñanza de la biodiversidad y la estructuración de una forma de conocer.

En este marco, respecto a la integración de diversos conocimientos Martínez y Valbuena señalan la importancia de comprender la práctica del profesorado como punto clave para estudiar procesos de enseñanza:

La práctica del profesorado constituye un ejercicio académico que es posible gracias al conocimiento que ellos poseen, dicho conocimiento a la vez se configura y reconfigura de diversos saberes y conocimientos (en tanto empíricos como formalizados) a partir de diferentes fuentes (principalmente la experiencia y la académica). Enseñar implica una práctica que trasciende la mera aplicación técnica de protocolos y el mero asistencialismo a los estudiantes, enseñar conlleva abordar la complejidad que representa la formación de sujetos; es decir, la enseñanza demanda un ejercicio profesional y por ende un conocimiento de carácter profesional. Así, los profesores se constituyen sujetos de conocimiento y no simples ejecutores técnicos de los conocimientos producidos por otros. (2013, pp. 24 y 25)

Por otra parte, estos autores plantean que los significados y desarrollos que lleva a cabo el profesorado no son solamente producto de lo que han estudiado, también son parte de las interpretaciones, reflexiones y elaboraciones que, en y sobre la práctica, han tenido que hacer; lo cual fundamenta su desarrollo profesional.

2. El caso Yonier constituye un proceso de investigación en la perspectiva de Estudio de Caso e Investigación- Acción, en el cual un profesor en formación del Proyecto Curricular Licenciatura en Biología de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, participa en dos ciclos de I-A (planeación- Acción y Reflexión) sobre su práctica pedagógica durante 16 clases en las cuales implementaba una propuesta didáctica para la enseñanza de la biodiversidad a un grupo de jóvenes de educación secundaria en un colegio público de la ciudad de Bogotá.

En la comprensión del CPP como un conocimiento complejo, es posible articular los ejes DOC (dinamizador, obstáculo y cuestionamiento) como un dispositivo conceptual que permite entender el propio proceso de construcción del CPP.

Como señala Martínez, identificar los obstáculos para el proceso de cambio contribuye en la definición de nuevas rutas para la formación de profesores; pero además de este eje, plantea “si reconocemos la presencia de obstáculos, también puede ser posible reconocer movilizados y dinamizadores” (2000, p. 75), así como cuestionamientos desde la perspectiva de comprender la complejidad del CPP en su proceso de formación.

En este orden de ideas, Martínez (2016) menciona que la construcción del CPP no es lineal, sino que, por el contrario, este conocimiento es producto de la transformación de diferentes conocimientos y tensiones de distinto orden que contribuyen en el propio desarrollo profesional. Además, señala que:

Hablamos de eje obstáculo en el sentido de que reconocemos que hay cierto conocimiento que impide visiones alternativas y favorece visiones convencionales; de ejes movilizados o dinamizadores, como aquellos conocimientos que se aproximan a visiones alternativas, que parece impulsan, catalizan un proceso de cambio; y ejes cuestionamiento, que representan contradicciones o cuestionamientos conscientes o no, pero que igualmente consideramos pueden catalizar un proceso de cambio, si se hacen explícitos y se toman en cuenta en propuestas de formación. (Martínez, 2000, p. 92).

Abordar el CPP a través de los ejes DOC contribuye en la comprensión de la complejidad del conocimiento profesional, tanto en una mirada transversal (Martínez, 2000; 2005; Martínez y Valbuena, 2013) como en una longitudinal como Ballenilla (2003), visualizando a lo largo del proceso de práctica de una futura profesora, y, como en Solís (2005), durante un proceso de formación con futuros profesores de física y química.

Respecto a los ejes DOC, Ballenilla (2003) retoma a Martínez (2000) y plantea que las concepciones alternativas todavía no validadas (pero tampoco desacreditadas por el sujeto, y por lo tanto cuestionables) constituirían como el eje cuestionador. Por su parte, el eje dinamizador estaría formado por concepciones originadas tiempo atrás, o con un origen reciente, pero que en ese momento se encuentran bien establecidas y cuentan con la potencialidad suficiente para constituirse en la base que permita superar (o evitar) el eje obstáculo y facilitar con ello el cambio. Siendo así, el eje cuestionador lo es en un doble sentido, ya que las concepciones alternativas que lo forman además de ser ellas mismas cuestionables (al no estar todavía ni suficientemente validadas ni desacreditadas) también cuestionan, por ser alternativas, al eje obstáculo. En alguna medida están sugiriendo que otra opción es posible, lo cual debilita a este último. Respecto al eje cuestionador, señala Ballenilla (2003),

Otro aspecto destacable de las concepciones de dicho eje es que estas, en determinadas condiciones, pueden convertirse en dinamizadoras. En muchos casos los procesos de desarrollo profesional no se deben a la aparición de concepciones totalmente nuevas que orienten la acción, sino al aumento de relevancia que una serie de concepciones cuestionadoras preexistentes, originadas a lo largo de la historia personal del sujeto, y que pasan a desempeñar el papel de principios de acción y a orientar esta, reforzando, por tanto, el eje dinamizador. (p. 153)

Las investigaciones de Ballenilla (2003) ayudan a comprender las transformaciones que se suceden entre los ejes DOC. Plantea que se pueden dar circunstancias en la historia académica de un profesor/a que le lleven a poner en cuestión concepciones muy bien asentadas y que suponían un obstáculo para su evolución profesional (en el sentido que sea, pero en la dirección a aumentar la complejidad de su sistema de ideas). Como producto de esa perturbación externa y la

consiguiente pérdida de homeostasis de su sistema cognitivo, las concepciones que dormitaban pueden revitalizarse y pasar del eje cuestionador al eje dinamizador (este proceso sería asimilable a una acomodación, reestructuración fuerte o a un cambio en el programa de transformación) convertidas en principios de acción con el objetivo de probar nuevas alternativas que permitan asimilar las perturbaciones (en cuyo caso dejarían de serlo).

En cuanto a los procesos formativos de los profesores, señala Ballenilla que:

Si por el contrario se trata de un proceso formativo, el formador procurara determinar cuáles son las concepciones que configuran el eje obstáculo (en función de los objetivos de formación que se haya propuesto) y si existe alguna concepción que esté funcionando como principio de acción en el sentido pretendido por el formador (eje dinamizador), y en caso de no existir, qué concepciones cuestionan las dominantes (eje cuestionamiento), valorando si alguna o algunas de ellas pueden pasar a convertirse en principios orientadores de la acción (y por lo tanto pasar a reforzar el eje dinamizador). Su papel será el de potenciar ese cambio y reforzar tanto las concepciones del eje cuestionador como las del eje dinamizador. (2003, p. 15)

En la articulación de los ejes DOC en la comprensión del CPP o en los procesos de formación de profesores se han reportado entre otros, los siguientes hallazgos: el estudio de Martínez (2016), el CPP de ciencias de primaria sobre el conocimiento escolar: dos estudios de caso, en aulas vivas y aulas hospitalarias del distrito Capital de Bogotá, el estudio reporta sobre los ejes DOC:

En el eje dinamizador de ambos casos, es relevante la consideración de los intereses y necesidades de los estudiantes, como fuentes y criterios de selección de los contenidos escolares; pero notamos una diferencia, para la profesora Sol hay una preocupación en términos de que los estudiantes se sientan mejor; mientras que en el caso de la profesora Luz, para ella, es de esta manera como se genera un conocimiento más significativo, un conocimiento con sentido para sus vidas. En las dos profesoras nos encontramos con otro eje dinamizador en su labor, que identificamos en su conocimiento profesional sobre el conocimiento escolar; este se vislumbra tanto en la perspectiva crítica de la enseñanza de las ciencias, como en la búsqueda por incidir en la vida de los niños y la construcción de alternativas a las problemáticas socio-ambientales. (Martínez, 2016, pp. 123 y124)

En la investigación de Martínez y Valbuena (2013), “se reporta un eje obstáculo relacionado con el carácter superior del conocimiento científico evidenciado tanto desde los referentes epistemológicos del conocimiento escolar, como desde los criterios de validez. En esta también identificamos un eje dinamizador potente, relacionado con la diversidad de fuentes y criterios de selección, y numerosos ejes cuestionamiento relacionados con la coexistencia de características propias de un nivel *instruccional-cientificista*, con las del *integrador-transformador*.” (Martínez y Valbuena, 2013, citados por Martínez, 2016, p. 24)

Ballenilla (2003)³, reporta los hallazgos sobre los ejes DOC, en los que destaca como eje obstáculo el qué enseñar, en razón de que Belma (estudio de caso) considera como muy importante desarrollar los contenidos preestablecidos:

3. Ballenilla (2003) trata en su investigación nueve categorías de análisis, en relación con un estudio de caso de una profesora en formación: A (concepciones sobre el aprendizaje: cómo se aprende. Las ideas de los alumnos/as. La prueba inicial); B (Concepciones curriculares: para qué enseñar, qué enseñar. Tipo de Contenidos. Selección de contenidos); C (Concepciones Curriculares: Cómo enseñar. Presentación de los contenidos. Recursos para la presentación de los contenidos. La exposición); D (Concepciones curriculares: Cómo enseñar, organización del aula. Cómo organizar el aula y gestionar los grupos); E (Concepciones curriculares: Cómo enseñar. Papel del profesor/a y de los alumnos/as. Relación con los alumnos/as); F (Concepciones curriculares: Cómo enseñar. Papel del Profesor/a y de los alumnos/as. La rumorosidad en el aula. El ambiente de aula); G (Concepciones curriculares: Cómo enseñar. Metodología. Principios Metodológicos); H (concepciones curriculares: Cómo enseñar. Metodología. Fases metodológicas); I (la evaluación (para qué, qué y cómo): La sesión de evaluación. Los exámenes. Otras fuentes de calificación. Cómo calificar).

“Los contenidos que yo di son los básicos que hay que enseñar. Hay que darlos todos, aunque se presenten dificultades. Los alumnos no deben decidirlo” tal situación en el momento uno del proceso formativo, sin embargo en el momento dos, continua señalando que es importante que los estudiantes desarrollen los contenidos planteados. Piensa que los contenidos que va a dar (de carácter medioambiental) no son “fijos” de un tercero de BUP y que en COU por la selectividad no hay más remedio que estudiar lo que se pide. (Ballenilla, 2003, p. 85).

Sin embargo, sobre esta categoría Belma la ubica como un eje cuestionamiento cuando señala que los contenidos de más interés social motivan mejor a los alumnos.

Respecto a la categoría evaluación, Belma presenta el eje cuestionamiento para asumir una actitud crítica del examen y el uso de esta práctica evaluativa y otras fuentes complementarias de calificación. En el momento tres, manifiesta el eje dinamizador sobre la evaluación en tanto que tiene disposición a usar otras fuentes de calificación como orientadora de la actividad del aula y la validación de las calificaciones puestas por los alumnos. En el momento uno (1), Belma presenta el eje obstáculo, en tanto que concibe la evaluación como control y al alumno como sujeto de ese control.

En relación con la categoría Metodología, para el caso Belma en el momento uno se evidencia el eje cuestionamiento, en tanto que se señala que *el profesor magistral todo lo sabe y explica pero no llega al fondo*. Lo anterior se desplaza hacia un eje dinamizador en el momento dos, en tanto que se plantea la posibilidad de desarrollar la metodología alternativa que ha vivido en la fase de observación, lo que lleva en su ejercicio a un proceso metodológico que se caracteriza desde la investigación.

Desde estos hallazgos reportados por las investigaciones, es posible señalar que los ejes DOC, en relación con el CPP, se caracterizan por no ser estáticos, sino por identificarse por su condición temporal en tanto que no son absolutos sino que se comprenden desde una historia y un proceso. Su carácter evolutivo⁴, dado los cambios que son posibles identificar, su carácter articulador en un eje que se relaciona y afecta a otros ejes y su relación estrecha con la práctica profesional en razón a que de ella se derivan estos ejes. Y, por ende, su potencial incidencia en el desarrollo profesional de los profesores.

Metodología

El presente artículo se deriva del proyecto de investigación “El conocimiento profesional del profesor de Biología sobre biodiversidad. un estudio de caso en la formación inicial durante la práctica pedagógica en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas”, cuya metodología se desarrolló a través de los principios de la investigación de orden interpretativa (Vasilachis, 2006) y acudiendo a los planteamientos del estudio de caso de Martínez (2000), Ragin (1992), Stake (2011), Yin (1994), Páramo (2011), Neiman y Quaranta (2006), Perelman y Curran (2006).

Esto posibilita la comprensión en profundidad acerca de la construcción del conocimiento profesional de profesor de Biología. Por otra parte, en coherencia con el desarrollo de los objetivos de la investigación (Caracterizar los conocimientos que se integran en la construcción del CPPB de un profesor en formación en relación con la enseñanza de la biodiversidad, en el espacio académico de la práctica pedagógica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; Caracterizar el CPPB que se deriva como producto de la transformación de los conocimientos que se integran a través de la participación de un proceso de

⁴ Consideramos necesario precisar que este carácter evolutivo no está asociado a una perspectiva lineal y progresiva, sino en la relación con la condición de transformación y cambio que reconoce, entre otros, los retrocesos.

Investigación –Acción; Identificar los ejes Dinamizadores, Obstáculos y Cuestionamiento en el proceso de construcción del CPPB sobre la enseñanza de la biodiversidad en el estudio de caso.) y las consideraciones acerca de la necesidad de trascender una mirada interpretativa como lo plantea Abell (2008), se articula a la investigación los principios de la I-A de autores como Carr (1989), Kemmis y McTaggart (1988; 2013), Kemmis, McTaggart y Nixon (2014), a través del desarrollo de los bucles de la espiral auto reflexiva.

La investigación se desarrolló en el espacio de Práctica Pedagógica, del Proyecto Curricular Licenciatura en Biología (PCLB⁵) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. En esta, el estudiante en formación (caso Yonier) participó en la I-A a través de dos bucles de la espiral auto reflexiva (planeación, acción-observación y reflexión). En el proceso se adoptaron, diseñaron e implementaron técnicas e instrumentos para la recolección de información realizados por el investigador y diligenciados por el profesor en formación (entrevistas semi-estructuradas, ReCo, asesorías individuales y grupales, observación, filmación y transcripción de 16 clases); además de otras elaborados por este último (unidad didáctica, diario de campo). Se realizó un análisis del contenido con los datos, organizados en la estructura del software cualitativo NVivo 11, lo que facilitó la interpretación y construcción de conocimiento (validado mediante la triangulación de técnicas e instrumentos, además de la transformación del discurso y del propio sujeto que hace parte del estudio de caso).

El estudio de caso focaliza la comprensión en Yonier, quien participa en un proceso de formación como profesor de Biología en el cual, en su último año de formación, debe asistir a un colegio distrital

de la ciudad de Bogotá⁶. Durante las sesiones de clase, se abordó la enseñanza de la biodiversidad en un curso de noveno grado de educación secundaria, a través de la implementación de una unidad didáctica elaborada con el apoyo del director de práctica (quien cumplió una doble función; la primera, como formador de Yonier y la segunda, como investigador de la configuración del CPP de Biología; funciones interdependiente en el desarrollo de la práctica profesional).

Resultados y Discusión

En el caso de Yonier, los ejes DOC se articulan a la construcción del Conocimiento Profesional del Profesor que se deriva como resultado de la integración/transformación de los conocimientos de orden académico (conocimiento biológico sobre biodiversidad y conocimiento didáctico de las ciencias y de la biología), como de los conocimientos producto de la experiencia (Conocimiento de Historia de Vida, Conocimiento del Contexto y Conocimiento de la experiencia). Se presentan los ejes DOC, que se evidencian dentro del conocimiento didáctico, por ser este conocimiento, de carácter integrador de los otros conocimientos.

En el caso de Yonier se identifican dos grandes ejes dinamizadores: la investigación escolar y la evaluación. Esto resulta de su interés por dar relevancia a la evaluación formativa y trascender la evaluación centrada en la calificación. Como se destaca en la figura 1, en los diferentes bucles (planeación-acción-reflexión), tanto la investigación escolar (IE), como la evaluación (EV) se evidencian como centrales en la constitución del conocimiento profesional. A continuación, señalamos algunos ejemplos de estos ejes DOC (figura 1).

⁵. En el Proyecto Curricular Licenciatura en Biología de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas los profesores en formación deben cursar dos prácticas profesionales. En el estudio de caso Yonier hizo su práctica profesional I, en la cual diseñó e implementó una unidad didáctica. En la práctica, el profesor en formación realizó un proceso de I-A, en relación con la evaluación de los aprendizajes como un problema de su práctica profesional que consideraba importante cualificar.

⁶. Este seleccionó y desarrolló la práctica profesional en el colegio donde había estudiado. Lo anterior se justifica como la posibilidad de retribuir a los jóvenes del sector que estudian en esta institución.

Los ejes DOC y el conocimiento didáctico referido al conocimiento sobre la investigación escolar

La investigación escolar se constituye en eje dinamizador, obstáculo y cuestionamiento. Se puede reconocer en este conocimiento la coexistencia temporal y capacidad de transformación en el tránsito por los momentos de planeación, acción y reflexión en la práctica pedagógica del profesor en formación.

En el proceso de formación del futuro profesor de Biología y, en consecuencia, la configuración del CPP en relación con la enseñanza de la biodiversidad, para el caso Yonier, la investigación escolar se constituyó como parte del conocimiento didáctico, el cual promueve la articulación de los otros conocimientos. En consecuencia, la investigación escolar se identifica como un eje que

transita desde dinamizador, obstáculo y cuestionamiento, ello evidencia el carácter complejo y dinámico del propio conocimiento profesional del profesor en el marco de la participación en un proceso de I-A. El propio proceso de comprender y problematizar su propia práctica para cualificarla le permite entender la naturaleza flexible de la investigación escolar.

En los bucles I y II, durante la *planeación*, la investigación escolar se constituye en eje dinamizador: ya que el profesor en formación comprende los principios teóricos de la investigación escolar como estrategia que permite el desarrollo de los aprendizajes conceptuales, actitudinales y procedimentales.

En relación con las estrategias de enseñanza en las planeaciones de clase, en el CPPB del profesor en formación se hace explícito la importancia de

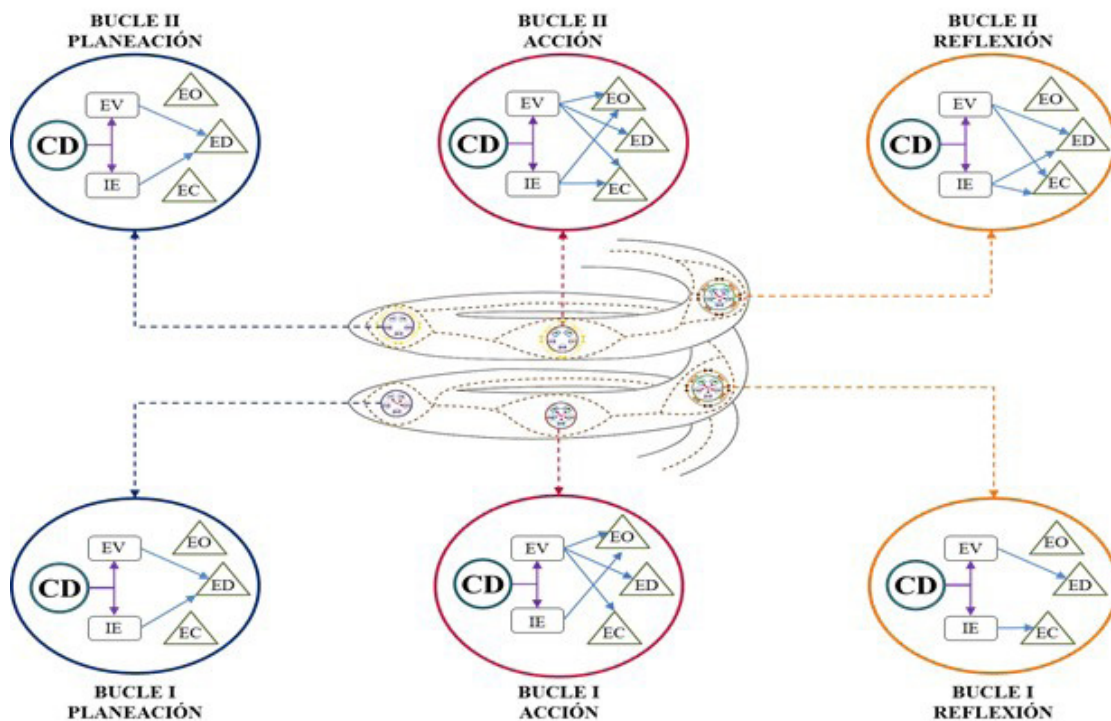


Figura 1. Conocimientos que identificamos como ejes DOC durante el proceso de I-A conocimiento didáctico (CD), evaluación (EV), investigación escolar (IE), eje obstáculo (EO), eje dinamizador (ED) y eje cuestionamiento (EC).

recurrir a las fuentes en el campo de la didáctica de las ciencias para orientar el diseño de su propuesta de intervención.

Para Eduardo García y Francisco García, autores del libro *Aprender investigando: Una propuesta metodológica basada en la investigación* la investigación escolar es una propuesta diferente para abordar en el aula donde la investigación llevada a cabo por el alumno en orientación del profesor, se convierte en una estrategia para la construcción de conceptos, procedimientos y actitudes (Uni.Did.-Y).

Respecto a la estrategia de enseñanza, en términos del papel del estudiante, el papel del profesor y el proceso metodológico que plantea Yonier en la Unidad didáctica.

En consonancia con la aplicación de una metodología investigativa, se pueden distinguir tres momentos en cuanto a la programación de actividades: Actividades que se refieren a la búsqueda, reconocimiento, selección y formulación del problema. Actividades que posibilitan la "resolución" del problema mediante la interacción entre las concepciones del alumno, puestas de manifiesto por el problema, y la información nueva procedente de otras fuentes. (Uni.Did.-Y).

Además, diferencia en la unidad didáctica los roles del profesor y del estudiante en la construcción de conocimientos a través de la investigación escolar:

Es por ello que esta unidad didáctica pretende establecer una propuesta para el abordaje de este concepto en el aula donde el estudiante se vea involucrado en su proceso de construcción de conocimientos acerca de la biodiversidad, mediante un proceso de investigación escolar, donde el profesor como orientador y formador de espacios de aprendizaje diferentes. (Ciclo I. Planeación. Uni.Did.Y).

En el bucle II se plantea desde la investigación escolar un acompañamiento a cada grupo de

estudiantes para que avancen en la resolución de su pregunta de investigación, para lo cual diseñó siete guías de trabajo que aportaban un ejercicio práctico para cada grupo. En ellos se pretendía desarrollar un trabajo de campo y de colecta de algunos seres vivos y luego el trabajo en el laboratorio con las muestras.

Así, para el grupo con la pregunta ¿Cómo los insectos ayudan al crecimiento de las plantas?, les indico cómo realizar una cámara entomológica y el procedimiento para la manipulación de los artrópodos e insectos para su identificación en la categoría taxonómica orden. (Guía de trabajo práctico).

Yonier aprovecha, además, el proceso de investigación escolar para alejar a los estudiantes del tipo de clases a las cuales están acostumbrados con el objeto de mostrarles otras maneras de conocer que también pueden ser útiles para su enseñanza. De hecho, Yonier considera que con este proceso el aprendizaje de los estudiantes será significativo. Concuerda con Porlán, A R., Ortega R., Cañal P, Garcia J. E., Gracias F, Matín J (1989)

La investigación, entendida como proceso de detección, análisis y búsqueda de soluciones a los problemas que los alumnos y el profesor se plantean, exige el desarrollo de la autonomía. Al mismo tiempo, en la medida en que se ocupa de problemas relacionados con los intereses y expectativas de los alumnos, favorecerá y hará necesario un enfoque de construcción social del conocimiento, implica necesariamente el manejo de información procedente de diferentes fuentes y la utilización de circuitos adecuados para favorecer la comunicación de opiniones, resultados, divergencias, etc. La investigación, en este sentido, potenciará el flujo de la información, en el aula y la eliminación de los obstáculos comunicativos. (p. 35)

Porlán, A R., Ortega R., Cañal P, Garcia J. E., Gracias F, Matín J. (1989) Investigación escolar y formación de profesores. En *Revista Interuniversitaria de formación del profesorado* No 6 Noviembre 1989, pp 29-43

Además de la guía de trabajo práctico, Yonier elaboró las pautas para presentación del informe final del proceso de investigación escolar:

Los aspectos que debe tener cada capítulo son los siguientes. **1. Título:** [...]; **2. Párrafo de presentación** [...]; **3. Pregunta de investigación:** fácil, es escribir la pregunta de investigación que el grupo planeó. Ej: ¿cómo afectan los diferentes insectos a las plantas?; **4. ¿Cómo se relaciona nuestra pregunta con biodiversidad** [...]; **5. Marco teórico** [...]; **6. Procedimiento** [...]; **7. Resultados** [...]; **8 Conclusiones:** aquí se debe analizar la información encontrada en los resultados y tratar de escribir en un párrafo de la manera más resumida posible la respuesta a la pregunta; **9. Las dificultades:** aquí no importa la extensión del texto, la idea en esta parte es que escriban todas las dificultades que como grupo se les presentaron para poder responder a la pregunta; **10. ¿qué aprendí en este proceso?:** cada integrante del grupo debe escribir (no importa cuánto espacio quiera usar), lo que aprendió en todo el proceso y al final del escrito de cada integrante debe ir el nombre de este integrante [...].

Es de resaltar la comprensión que tiene Yonier acerca de la importancia de vincular al propio estudiante en el proceso de construcción del concepto de biodiversidad a través de la investigación escolar, estableciendo una relación entre sus propios saberes cotidianos y el referente biológico, esto con la finalidad de aplicar lo aprendido en contextos reales. En este sentido, el profesor en formación acude a los referentes académicos de orden didáctico en el campo de la enseñanza de las ciencias.

En el bucle I y II en el momento de la *acción*, la investigación escolar se transforma en *obstáculo*: existiendo un desequilibrio entre la comprensión de los referentes teóricos acerca de la investigación escolar y la orientación de los procesos de enseñanza y de aprendizaje en el aula.

Es importante señalar que la dinámica de las clases que se desarrollaban en relación con el

trabajo de la pregunta problema por parte de los estudiantes fue suspendido. Por ello, Yonier trata de cerrar el proceso con la entrega del libro en el que cada grupo debe presentar un texto describiendo todo el proceso.

A lo que me refiero es que igual tienen dos semanas y ya queda a libre albedrío de cada uno para que como sea traten de hacerle respuesta a su pregunta y yo el martes les voy a traer la guía de cómo deben traer terminado el capítulo del libro y ya [...]. Entonces, la idea es que ese libro se termina y después de la evaluación por competencias se dejaría una clase para que expongan eso aquí mismo en el salón, para otras personas la respuesta que construyeron. (Tra.Cla.11-Y)

En el desarrollo de las clases Yonier plantea a los estudiantes la importancia del trabajo a través de la investigación escolar y, con ello, la necesidad de formular preguntas de investigación, el diseño de rutas de solución a las mismas y el uso de distintas fuentes de información. Pero no les indica una estructura que apoye estas intencionalidades, asunto que se traduce en la dispersión por parte de los estudiantes y las dificultades en el desarrollo de aprendizajes conceptuales y procedimentales. En la idea “de dejar hacer” a los estudiantes, en el desarrollo de su autonomía, el maestro pierde protagonismo. Al final de las sesiones de clase, dada las propias condiciones institucionales de dar cumplimiento a un programa establecido, la investigación escolar no se logra desarrollar en su totalidad y por ello el profesor en formación culmina la unidad de biodiversidad a través de la entrega de la guía para la elaboración del documento final, que recoge el proceso desarrollado. Esta tensión probablemente esté mediada por la preocupación de Yonier por realizar una evaluación “por competencias” en relación con aspectos normativos institucionales.

En el bucle I y II, en el momento de la *reflexión*, la investigación escolar se transforma en un *eje cuestionamiento*: entre el equilibrio y desequilibrio de la participación del estudiante y del profesor en

el proceso de enseñanza y de aprendizaje. Sobre esto, señala Yonier en el momento de la reflexión respecto al carácter espontáneo o no de la participación de los estudiantes y la autocrítica frente a su papel como profesor que:

Esta experiencia también me permitió identificar que: si bien es importante que los estudiantes participen en procesos de investigación en el aula, esto no es algo que aparece de manera espontánea; en el ciclo I de la práctica siento que fui demasiado laxo y escaso en especificidad y orientación de las indicaciones de las actividades a los estudiantes (Ciclo II. Reflexión. Refl.Fin.-Y)

Yonier plantea:

De pronto el enfoque en la manera que se presenta se muestra muy flexible y espontáneo pero en la realidad escolar no es que sea tan buena es esa flexibilidad por lo menos en estos estudiantes [...]. Entonces, el enfoque es interesante pero falta más reflexión sobre su aplicación real en la escuela, sobre cómo equilibrar es papel profesor-estudiante sin que pierda las características del enfoque y sobre cómo el enfoque así aporta a la parte conceptual en los estudiantes, porque tiene como más clara la procedimental y la actitudinal, pero, por lo menos a mí se me dificultó mucho vincular ahí el concepto. (Refl.Fin.-Y)

Vemos cómo en el caso Yonier los ejes DOC, en relación con la estrategia de enseñanza, se pueden evidenciar dos características propias de estos. La primera, la coexistencia temporal sobre el mismo conocimiento y la segunda, su capacidad de transformación. El eje obstáculo se puede transformar en cuestionamiento y desde allí transformarse en dinamizador, señala Yonier:

Y que es muy importante mi papel en asignar mejor las tareas, explicar detalladamente cada parte del proceso de investigación, que es lo que deben hacer, o traducir las ideas que ellos tienen para

sus investigaciones en procesos más detallados que ellos puedan implementar. (Refl.Fin.-Y)

Ante ello, Yonier indica que en lo concerniente a la importancia del equilibrio del papel del estudiante en el desarrollo de la investigación escolar: “En un proceso de reflexión me permitió promover en el ambiente de mi clase un mejor equilibrio entre el papel del estudiante y mi papel como docente en el proceso de enseñanza y de aprendizaje” (Refl.Fin.-Y).

Los ejes DOC y el conocimiento didáctico referido al conocimiento sobre evaluación

Eje cuestionamiento: la evaluación formativa vs la evaluación en términos instrumentales en el orden de calificar

Yonier pone en tensión el papel de la evaluación y desde allí construye una forma para evaluar en la que invita a los estudiantes a superar la nota como fin último de la evaluación, para convertirla como parte del propio proceso de aprendizaje. En este sentido, a través de la reflexión acerca de un episodio de su clase en donde los estudiantes se preocupan más por la nota que por lo que han aprendido, Yonier se propone implementar otras formas de evaluación.

Y: Pues en el momento detonante en el que elegí (pensar en otras formas evaluación), ese recuerdo mucho que fue cuando estábamos viendo genética con ellos y que les entrego la evaluación final y que más allá de que ellos estuvieran revisando o hablando sobre si aprendí, lo importante es saqué el 3 ya, y ahí acabó todo. La evaluación continua en mi práctica como un elemento que la caracteriza y que la hace atrayente para mis estudiantes [...]. La evaluación se constituye un elemento formativo, donde la preocupación como siempre insisto a mis estudiantes “no debe ser la nota” y sí que podamos determinar nosotros mismos que estamos aprendiendo o que estamos mejorando como personas. (Ciclo II. Reflexión. Refl.Fin.-Y)

El caso trata de incorporar un proceso de evaluación donde se articulen tres dimensiones: valorizar, conocer y responsabilizar.

Bueno, ¿cuál fue el objetivo de la clase? Y: Hoy, es cortico, fue hacer un ejercicio de evaluación más formativo, tanto para ellos como para mí, ah bueno y hoy fue una evaluación teniendo más claro lo de las tres dimensiones, la de valorizar, la de conocer y responsabilizar. (Tra.Entr.15-Y)

En este tipo de evaluación Yonier quiere trascender el papel de calificación para comprenderlo como parte de hacer responsable a los estudiantes de su propio proceso formativo.

Y además que, en ese ejercicio, se conocen más ellos mismos, porque venía después una retroalimentación y se venían después unos compromisos que era lo que uno trataba de hacer cuando uno les preguntaba: ¿qué hay que mejorar para la próxima? O sea, les sirve a ellos en esos tres sentidos, conocen si están aprendiendo y como están aprendiendo, conocen pues un poco más de ellos, y saben qué responsabilidades tienen que tomar para próximas evaluaciones [...]. (Tra.Entr.15-Y)

En la acción del bucle I, la evaluación es un *eje dinamizador* siendo parte del proceso de aprendizaje de los estudiantes. En el caso Yonier, se trasciende una mirada sumativa en relación con la idea de calificar o de asignar una nota a los estudiantes, para comprenderla como una oportunidad para que los estudiantes se reconozcan en su propio aprendizaje; brindando la oportunidad de re-conocimiento a sí mismo y responsabilizándolo del proceso:

Digamos que la forma de evaluación que estoy haciendo es que la evaluación sea un ejercicio autónomo y que le permita a ellos mismos aprender, claramente tengo que conectarlo aquí con los tres aprendizajes del colegio, pero uno a veces se queda mucho en la primera dimensión de la evaluación

que es valorizar, o sea, en un artículo que yo leí dice que la evaluación tiene tres dimensiones y debe permitirle a usted valorizar algo que es en lo que a veces se queda solo la escuela, y eso que ni valorizarlo bien, sólo en una nota. (Tra.Cla.2-Y)

Conocerse a usted mismo, la evaluación debe permitir conocer algo de usted pues que no conocía y responsabilizar, o sea, tomar decisiones a partir de lo que se logró. (Tra.Cla.2-Y)

Por ejemplo, ya no pensar que yo soy el único que hace la evaluación, sino que los estudiantes mismos también pueden evaluar, entonces eso a la vez. (Sem.Paip.3Julio-Y)

La evaluación entonces trasciende el lugar de la comprobación, de la comprensión de los contenidos y se ubica en la posibilidad de instalarla como parte de las actividades cotidianas que realizamos como seres humanos.

Yo siento que estoy aprendiendo y que estoy haciendo el esfuerzo para que se vea en la práctica y en los artículos decía que la evaluación es un proceso innato a cada actividad humana y estoy de acuerdo, que tiene que favorecer la mejora de los procesos. (Sem.Paip.3Julio-Y)

Eje dinamizador: la evaluación como parte del proceso de aprendizaje y como objeto de investigación y de transformación de la propia práctica pedagógica

Yonier reconoce en la evaluación una oportunidad de responsabilizar a los estudiantes de su propio aprendizaje.

Considero que la evaluación fue la que más me movilizó todo, [...] yo casi siempre quería era como hacerlos a ellos sentir que reconocieran su propio aprendizaje casi como si hubiera sido por fotosíntesis el tema que sea, no me importaba, o sea, lo hubiera hecho así, hubiera hecho lo mismo de evaluación y eso con cualquier tema, ¿sí me entiende? (Tra.Entr.15-Y)

Ante esto, se muestra cómo Yonier se aleja de la preocupación sobre el contenido para insistir en el propio aprendizaje del estudiante. En este sentido, Martínez Boom (2003) ubica en una perspectiva divergente la enseñanza, en la cual invita a trascender el asunto de los contenidos para instalarse en la vía del pensamiento; elemento que nutre desde otra lógica la naturaleza de la didáctica, no referida a la preocupación de los contenidos sino a la posibilidad del pensar mismo. Respecto al cambio de estrategia, el cambio en la evaluación es inminente, o por lo menos se aleja de las consideraciones de centralidad de los contenidos conceptuales en la enseñanza, para considerar los contenidos de la ciencia como un medio y no como un fin en sí mismo, tal como lo proponen diferentes autores como Porlán (1998). Sin embargo, Yonier tiene claro lo que menciona (Castillo y Cabrerizo, 2009), respecto a las diferencias entre evaluar y medir: el primero se caracteriza por ser procesual, amplio, hay una interpretación de los datos y se refiere a un “todo”; y el segundo, en cambio, es puntual, restringido, hay una obtención de datos y se refiere a una “parte”.

En la planeación en los bucles I y II la evaluación se constituye en eje dinamizador en tanto que se hace explícito la comprensión de la evaluación. En el diseño de la unidad didáctica se evidencia la comprensión acerca de la evaluación como un proceso que vincula a los estudiantes en el proceso de valoración de sus aprendizajes a través de ejercicios de autoevaluación y coevaluación; además, la evaluación de los aprendizajes se relaciona con el propio proceso de investigación escolar. Por otra parte, la evaluación se articula en evidenciar cómo lo aprendido aporta en la solución de problemas de su propio contexto:

Se evaluará el seguimiento al proceso investigativo que los estudiantes siguen, reconociendo los conocimientos que involucran en sus explicaciones sobre fenómenos relacionados con la biodiversidad, así como los conocimientos que tienen en cuenta al momento de comunicar conocimientos a los demás

y plantear y ejecutar propuestas para la conservación de la biodiversidad cercana a su territorio y de su propia institución escolar. (ReCo-Y)

En el proceso de evaluación Yonier vincula a los estudiantes en la propia valoración de sus aprendizajes y los invita para participen de la evaluación de sus compañeros:

El profesor debe promover que otros estudiantes valoren la pregunta de sus compañeros con argumentos bien contruidos y también desde la opinión personal, con el fin de formar un ambiente de aprendizaje a través de los aportes del otro a la vez que se da un ejercicio de evaluación diferente en el aula. (Pla.Cla.I5-Y)

Respecto a la aplicación de una evaluación formativa, Yonier asume una perspectiva crítica orientada por el conocimiento que ha construido sobre la evaluación, que para él no está centrado en los contenidos conceptuales. Así, declara en una entrevista:

La evaluación hace parte de mi proceso investigativo, yo necesito ver qué ellos consideran sobre qué es la evaluación. Porque entonces si mi pregunta es cómo voy a poder enlazar esos tres tipos de aprendizajes que vincula el colegio en el ejercicio evaluativo, pero además con tres dimensiones que una autora dice que debe tener el ejercicio evaluativo (que es valorizar, conocer y responsabilizar), seguramente para ellos la evaluación responde más desde lo conceptual, por ejemplo, pero no están considerando lo procedimental y actitudinal. (Tra.Cla.5-Y)

Respecto a la reflexión sobre la evaluación, Yonier destaca el carácter integrador del conocimiento y en su reflexión en torno a la evaluación, declara:

Yonier: lo primero que yo destaco es que es la que tengo más presente; y en esta unidad en particular

la que más he tenido presente es la de evaluación. Pero ahorita que caí en cuenta, y es la conclusión a la que llego al final, esa evaluación ha hecho que en muchas otros componentes se modifica algo al reflexionar sobre la evaluación (Sem.Paip.3Julio-Y)

Eje obstáculo: la evaluación como mecanismo de control en la gestión de aula

Si bien Yonier comprende la evaluación como parte del proceso de aprendizaje y la importancia de articular este proceso en la propia formación de los estudiantes como personas, reconoce que en algunos momentos de la intervención en el aula esa perspectiva se entrecruza con una mirada de la evaluación como un dispositivo de control y poder.

Las condiciones institucionales y de los estudiantes hacen que se vuelva un problema y obstaculice llevarla tal cual, y que aquella intención de promover ejercicios autónomos de evaluación (valorar, conocer, responsabilizar) y una mirada formativa de la evaluación se vea tergiversada en momentos por episodios en los que la evaluación se toma como un elemento de poder, calificación y control. (Ciclo II. Reflexión. Refl.Fin.-Y)

Respecto a los hallazgos de los ejes DOC articulados a la investigación escolar y la evaluación, se hace explícito lo planteado por Martínez y Valbuena (2013), quienes señalan que el CPP se construye a través reflexiones y elaboraciones que en y sobre la práctica han tenido que hacer, lo cual fundamenta su desarrollo profesional. Para el caso del conocimiento didáctico, en cuanto a la estrategia de investigación escolar, este se construye a través de un proceso de reflexión conectado con la propia actuación en el aula y los equilibrios y desequilibrios que se suceden en relación con los marcos teóricos de referencia. En el caso Yonier puede evidenciarse el carácter complejo del CPP, tal como lo señala Martínez (2016), ya que la construcción del CPP no es lineal debido a que es producto de

la transformación de diferentes conocimientos y tensiones de distinto orden, los cuales que contribuyen en el propio desarrollo profesional.

En los procesos de formación de profesores, la articulación de los ejes DOC se constituye como un dispositivo conceptual en tanto que permite comprender la naturaleza compleja del CPP que se construye a través de la reflexión en y sobre la acción derivando la producción de un conocimiento práctico fundamentado. Es decir, se reconoce su naturaleza praxica y como dispositivo metodológico ya que permiten focalizar el proceso de acompañamiento de formación, en razón de centrar la mirada sobre la transformación de un eje en otro, aspecto que en un proceso de formación permite evidenciar el desarrollo profesional.

El caso Yonier aporta al campo del conocimiento profesional al hacer explícito que la investigación escolar se constituye en una estrategia que privilegian los profesores en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, pero que esta, al igual que en el caso de Belma en la investigación de Ballenilla (2003), se construye a través de tránsito por los ejes DOC en el caso Yonier, y en el caso Belma, desde el eje cuestionamiento al dinamizador. En relación con la evaluación, el caso Yonier reporta un desarrollo mayor en el eje dinamizador y cuestionamiento a diferencia del caso Belma (Ballenilla, 2003), en donde se acentúa más el eje obstáculo y cuestionamiento.

Es posible asociar los ejes DOC a los momentos de la práctica pedagógica, de forma particular a los ejes dinamizadores que se hacen explícitos en el momento de la planeación debido al proceso de fundamentación necesario en el diseño de la unidad didáctica. El eje obstáculo se hace visible en el momento de la acción, cuando establece equilibrios entre los referentes teóricos y las propias dinámicas de aula e institución; y el eje cuestionador usualmente se instala en el momento de la reflexión, a causa de la necesidad de comprender lo que sucede en el desarrollo de las clases. Tal tránsito posibilita en el profesor en formación su propia construcción del conocimiento profesional.

Conclusiones

Los ejes DOC se constituyen en dispositivos conceptuales y metodológicos para comprender los procesos de construcción del conocimiento profesional al entender su naturaleza compleja, temporal y de transformación. Estos ejes aportan en la propia reflexión sobre la práctica y en consecuencia sobre el CPP.

Para el caso Yonier, se identificó el conocimiento sobre la evaluación como un eje que transita en las tres condiciones: cuestionamiento, dinamizador y obstáculo. Yonier problematiza el papel de la evaluación y desde allí construye una forma de realizarla en la que invita a los estudiantes a superar la nota como fin último de este proceso para convertirla como parte del aprendizaje en sí mismo. La evaluación como un eje dinamizador se constituye en objeto de investigación sobre su propia práctica; se convierte en un eje de reflexión constante, asunto que le permite a Yonier comprenderla como parte del propio proceso de aprendizaje desde las perspectivas: conocer, valorizar y responsabilizar.

La investigación escolar en la construcción del CPP se establece como eje dinamizador debido a la notable fundamentación conceptual que sobre este conocimiento declara Yonier en la Planeación. En el momento de la acción, este eje dinamizador transita para convertirse en obstáculo debido a que no promueve los aprendizajes en los estudiantes según su propia comprensión sobre este conocimiento. Ello transforma este eje en cuestionamiento, ya que se problematiza la situación, para convertirse nuevamente en eje dinamizador e intentando alcanzar procesos de enseñanza y de aprendizaje desde esta perspectiva. Esta situación nos lleva a preguntarnos sobre el papel de los “referentes epistemológicos” (Martínez, 2000; Martínez y Valbuena, 2013) en la construcción del conocimiento profesional que pueden ser reducidos a una “fundamentación” probablemente a modo de resumen de la información sobre el asunto de interés y que

requiere ser reflexionado su carácter particular y transformador.

Derivado del caso Yonier, es posible evidenciar dos características de los ejes DOC: la coexistencia temporal de los ejes sobre un conocimiento y la posibilidad de su transformación. Debido a ello, se considera que son una propuesta conceptual que, realiza aportes tanto en la comprensión como en la transformación y enriquecimiento del conocimiento profesional no sólo en la investigación en didáctica, sino también en los procesos formativos.

Información Adicional del Autor

Docente Proyecto Curricular Licenciatura en Biología Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Candidato a Doctor en Educación – Doctorado Interinstitucional en Educación – Énfasis en Educación en Ciencias- Línea de investigación Conocimiento Profesional de los profesores de Ciencias y Conocimiento Escolar. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá

Referencias

- Abell, S. (2008). Twenty Years Later. Does Pedagogical Content Knowledge remain a useful. *International Journal of Science Education*, 30 (10), 1405-1416. <https://doi.org/10.1080/09500690802187041>
- Adúriz, A. e Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 130-140.
- Ballenilla G.F. (2003). *El practicum en la formación inicial del profesorado de ciencias de enseñanza secundaria. Estudio de Caso, vol. I: Planteamiento teórico, diseño y conclusiones de la investigación* (tesis inédita de doctorado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Bonilla, L.O.A. (2014). *Ampliando la conceptualización del conocimiento pedagógico del contenido, la perspectiva intercultural* (tesis inédita de doctorado). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

- Carr, W. (1989). *Calidad de la enseñanza e investigación acción*. Sevilla, España: Editorial Diada.
- Castillo A., S. & Cabrerizo D., J. (2009). *Evaluación educativa y promoción escolar*. Prentice Hall.
- Fonseca, G. (2017). Aportes en la comprensión acerca de la construcción del conocimiento profesional del profesor de biología. *Revista Bio-grafías*, Edición extraordinaria (pp. 302-310)
- Jiménez, N.M.M., Angulo D.F. y Soto, L.C.A. (2013). La configuración del conocimiento profesional del profesor principiante: enseñar la célula, un estudio de caso. *Revista Bio-grafías*, 6(10), 29-41.
- Kemmis, S. y MacTaggart, R. (1988). *Cómo planificar la investigación-acción*. Barcelona: Editorial Laertes.
- Kemmis, S. y MacTaggart, R. (2013). La investigación-acción participativa: La acción comunicativa y la esfera pública. En: *Manual de investigación cualitativa*, vol. III (pp. 361-439). Barcelona: Gedisa.
- Kemmis, S., McTaggart, R. y Nixon, R. (2014). *The action research planner: Doing critical participatory action research*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-981-4560-67-2>
- Martínez Boom, A. (2003). La enseñanza como posibilidad del pensamiento. En: Zuluaga, O.L., Echeverri, A., Martínez Boom, A., Quinceno, H., Sáenz, J. y Álvarez, A. (comps.), *Pedagogía y Epistemología* (pp. 185-214). Bogotá: Editorial Magisterio
- Martínez, C.A. (2000). *Las propuestas curriculares de los profesores sobre el conocimiento escolar: dos estudios de caso en el área de conocimiento del medio* (tesis inédita de doctorado). Universidad De Sevilla, Sevilla, España.
- Martínez, C.A. (2005). De los contenidos al conocimiento escolar en las clases de ciencia. *Revista Educación y Pedagogía*, 17(43), 151-161.
- Martínez, C.A. (2008). El conocimiento profesional de los profesores de ciencias CPPV. Desarrollo de la línea de investigación. Seminario doctoral El conocimiento profesional de los profesores de ciencias. Doctorado Interinstitucional en Educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Martínez, C.A. (2009). El conocimiento profesional de los(as) profesores(as) de ciencias: algunos aspectos centrales en el desarrollo de la línea de investigación. *Revista Científica*, 11, 62-75.
- Martínez, C.A. (2014). El conocimiento del profesor de ciencias, una disyuntiva entre el conocimiento científico y el conocimiento escolar. En: *Conocimiento profesional del profesor de ciencias de primaria y conocimiento escolar* (pp. 17-46). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Martínez, C.A. (2016). Una mirada a la complejidad del conocimiento de las profesoras y profesores en ciencias, desde la propuesta de ejes DOC: dinamizadores, obstáculo y cuestionamiento. En: Perafán, G., Badillo, E. y Adúriz-Bravo, A. (coords.), *Conocimiento y emociones del profesorado. Contribuciones para su desarrollo e implicaciones didáctica*. Bogotá: Editorial Aula de Humanidades.
- Martínez, C.A. y Valbuena, E.O. (2013). *El conocimiento profesional de los profesores de ciencias sobre el conocimiento escolar*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Mora, W. y Parga, D. (2008). El conocimiento didáctico del contenido en Química: integración de las tramas de contenido/histórico-epistemológicas con las tramas de contexto/aprendizaje. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 24, 56-81.
- Neiman, G. y Quaranta, G. (2006). Los estudios de caso en la investigación sociológica. En Vasilachis, I. *Estrategias de investigación cualitativa* (pp. 213-234). Barcelona: Editorial Gedisa.
- Páramo, P. (2011). *La investigación en ciencias sociales: Estrategias de investigación*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Perafán, G. (2015). *Conocimiento profesional docente y prácticas pedagógicas*. Bogotá: Editorial Aula Humanidades.

- Perecman, E. y Curran, S.R. (2006). *A handbook for social science field research: essays & bibliographic sources on research design and methods*. Londres: Sage Publications. <https://doi.org/10.4135/9781412973427>
- Porlán, A R., Ortega R., Cañal P, Garcia J. E., Gracias F, Matñin J. (1989) Investigación escolar y formación de profesores. En *Revista Interuniversitaria de formación del profesorado* No 6 Noviembre 1989, pp 29-43
- Porlán, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 16(1), 175-185.
- Porlán, R. y Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Sevilla, España: Díada Editorial.
- Ragin, Ch. y Becker, H. (1992). *What is a Case? Exploring the Foundations of Social Inquiry*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shulman, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22. <https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>
- Shulman, L.S. (2015). PCK: Its genesis and exodus. En: Berry, A., Friedrichsen, P. y Loughran, J. (eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 3-13). Nueva York: Routledge.
- Stake, R. (2011). *Estudio de casos*. En Denzin, N. y Lincoln Y. (eds.), *Handbook of Qualitative Research*. (pp. 236-247). Londres: SAGE Publications.
- Tamayo A. y Orrego, C.M. (2005). Aportes a la naturaleza de la ciencia y del contenido pedagógico del conocimiento para el campo conceptual de la educación en ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 17(43), 13-25.
- Tardif, M. (2004). *Los saberes del docente y su desarrollo profesional*. Madrid; Narcea.
- Valbuena, E. (2008). *El conocimiento didáctico del contenido biológico. Estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica Nacional (Colombia)*. Madrid: Universidad Complutense
- Vasillachis de Gialdino, I. (2006). *Estrategias de investigación cualitativa*. Barcelona: Editorial Gedisa.
- Yin, R.L. (1994), *Case Study Research*. Thousand Oaks, CA.: Sage Publications.





Sistema de alerta para estudiantes con discapacidad visual en la UTM

Alert system for students with visual disabilities at the UTM

Sistema de alerta para estudiantes deficientes visuais en UTM

Marely del Rosario Cruz-Felipe^{1*}
Jenmer Maricela Pinargote-Ortega¹
Gabriel Primitivo Demera-Ureta¹
Edisson Manuel Vera-Zambrano¹
Rosa Antonia Mosquera-Alcívar¹

Recibido: agosto de 2017

Aceptado: noviembre de 2017

Para citar este artículo: Cruz-Felipe, M.R., Pinargote-Ortega, Demera-Ureta, G.P., Vera-Zambrano, E.M., Mosquera-Alcívar, R.A (2018). Sistema de alerta para estudiantes con discapacidad visual en la UTM. *Revista Científica*, 31(1), 85-95. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12464>

Resumen

El traslado de estudiantes con discapacidad visual en la Universidad Técnica de Manabí (UTM) ha reportado accidentes al pasar por algunas rampas y otros obstáculos, sobre todo en los días de lluvia. El presente artículo es parte de una investigación para la realización de un sistema de alerta para estudiantes con discapacidad visual. El objetivo de la implementación de este sistema es orientar a estudiantes con discapacidad visual sobre diferentes obstáculos que existen en su traslado por la universidad. Para llevar a cabo la implementación fueron analizados los sistemas de alertas y las tecnologías que se emplean actualmente como resultado de un profundo estudio del arte a nivel nacional e internacional; se describieron las herramientas y tecnologías utilizadas en la solución desarrollada (metodología, tecnologías para censar el desplazamiento de las personas, software, lenguajes de programación,

etc.). Esto facilitó una implementación eficiente en corto tiempo del sistema propuesto mediante tecnología RFID (identificación por radio frecuencia). Lo anterior se refleja de manera positiva en la orientación para el traslado de 32 estudiantes con discapacidad visual por la universidad y, por consiguiente, mejora su calidad de vida.

Palabras clave: discapacidad visual, RFID, sistema de alerta.

Abstract

In the transfer of students with visual disabilities at the Technical University of Manabí (UTM) accidents have been reported when going through some ramps and other obstacles, especially on rainy days. This article is part of to an investigation into the realization of an alert system for students with visual disabilities. The objective of the implementation of this system is to guide students with visual disabilities on

¹. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. Contacto principal: marely.cruz@fci.edu.ec

different obstacles that exist in their transfer through the university. To carry out the implementation of this system, the alert systems and the technologies that are currently used as a result of a recording studio in the national and international scope were analyzed, the tools and technologies used in the developed solution are described. (Definition, technologies for the change of people, software, programming languages, etc.) that allowed an efficient implementation in a short time of the proposed system by means of RFID (Radio Frequency Identification) technology. The above is reflected in the positive orientation for the transfer of 32 students with visual disabilities through the university and by those who have contributed to improving their quality of life.

Keywords: visual disability, RFID, warning system.

Resumo

Na transferência de alunos com deficiência visual na Universidade Técnica de Manabí (UTM), foram notificados acidentes ao passar por algumas rampas e outros obstáculos, especialmente nos dias chuvosos. Este artigo é parte de uma investigação para a realização de um sistema de alerta para estudantes com deficiência visual. O objetivo da implementação deste sistema é orientar estudantes com deficiências visuais em diferentes obstáculos que existem em sua transferência pela universidade. Para realizar a implementação deste sistema, foram analisados os sistemas de alerta e as tecnologias que atualmente são utilizadas como resultado de um estudo de gravação no âmbito nacional e internacional, descrevendo as ferramentas e tecnologias utilizadas na solução desenvolvida. (Definição, tecnologias para mudança de pessoas, software, linguagens de programação, etc.) que permitiram uma implementação eficiente em um curto espaço de tempo do sistema proposto por meio da tecnologia RFID (Radio Frequency Identification). O acima se reflete na orientação positiva para a transferência de 32 alunos com deficiência visual através da universidade e por aqueles que contribuíram para melhorar sua qualidade de vida.

Palavras-chaves: deficiência visual, RFID, sistema de alerta.

Introducción

Los sistemas de alerta temprana (SAT) son un conjunto de dispositivos que determinan la posibilidad de una amenaza hacia una o más poblaciones. Esta anticipación se da mediante el monitoreo de una o varias señales físicas que intervienen en la amenaza. Los SAT resultan importantes en la prevención de pérdidas humanas y de bienes materiales de difícil recuperación (cultivos e infraestructura). Por medio de ellos se puede recolectar la información necesaria para el pronóstico de la ocurrencia y así facilitar la amortización de eventos futuros (Vargas, Tovar y Villanueva, 2016).

Estos SAT avisan con antelación un acontecimiento natural o humano que pueda causar un desastre con el objetivo de evitarlo. Desde la terminología de la gestión de riesgos, la dimensión del desastre está en la función de la fuerza del evento o en la prevención de accidentes y del nivel de vulnerabilidad de la población ante el mismo. El evento en sí no es necesariamente un desastre, algunos sistemas fueron diseñados y puestos en funcionamiento para avisar a la población de la proximidad de un evento y hacerlos mucho menos vulnerable de forma inmediata. Los SAT pueden tratar de anticipar los eventos naturales o de origen humano (generalmente conflictos violentos o prevenciones), que en interacción con la vulnerabilidad pueden desembocar en desastres.

La discapacidad visual consiste en la afectación o en la carencia de la visión, en mayor o menor grado. En sí misma no constituye una enfermedad, al contrario, es la consecuencia de un variado tipo de enfermedades. Al referirse a este tipo de discapacidad, Díez (2004) menciona que se trata de todas aquellas condiciones caracterizadas por una limitación total o parcial de la función visual que presenta un individuo.

Una persona con baja visión es aquella que presenta un rango menor a 20/400 o 0,05, considerando esta medición en el menor ojo y con la mejor corrección. En la ceguera total, por otro lado, su rango es menor a 20/200 o 0,1, con el mejor ojo

y la mejor corrección. Es importante realizar esta diferenciación, pues la mayoría de personas consideradas ciegas presentan siempre un resto visual que le permite de una u otra forma desenvolverse y realizar actividades diarias (Suárez, 2011).

Dentro de la Universidad Técnica de Manabí (UTM) encontramos, en diferentes carreras, 36 estudiantes con discapacidad visual; dentro de las facultades con cifras más representativas de estos estudiantes está la Facultad de Ciencias Humanísticas y Sociales. En ella, estos estudiantes se deben desplazar por varios edificios como: una biblioteca que está orientada a sus necesidades, un edificio en el que se encuentran aulas y laboratorios y un bloque de edificios en el cual se encuentran algunos laboratorios, oficinas y teatro.

Para el traslado de un edificio a otro los estudiantes deben de acceder por varias escaleras y algunas rampas (las cuales han ocasionado lesiones a algunos de ellos, sobre todo en época de lluvia), además de los inconvenientes que representa no poderse orientar correctamente producto de su dificultad visual.

La universidad trabaja para que todos los estudiantes sean incluidos y puedan desarrollar todas sus actividades con el mismo éxito. Es por esto que se hace un estudio de las principales dificultades para el traslado de estudiantes con discapacidad visual en la Facultad de Ciencias Humanísticas y Sociales.

Ante el inconveniente de poder trasladarse sin dificultades de un edificio a otro, incluso orientarse correctamente (pues existen áreas en los edificios como las zonas de parqueo, los cuales pueden ser muy peligrosos para estos estudiantes), se hace necesario crear algún sistema que alerte a los estudiantes en sus desplazamientos y le sirva de ayuda incluso estando solos.

En el abanico de soluciones existentes para para ayudar a una persona a en su traslado se encuentran las que forman parte de la *internet de las cosas*, donde la conexión inalámbrica es la alternativa. Con base en la infraestructura existente, hay varias formas de conectar los objetos o cosas como:

RFID, ZigBee, WPAN, WSN, DSL, UMTS, GPRS, WiFi, WiMax, LAN, WAN, 3G, etc. (Nitti, Atzori y Cvijikj, 2014). Partiendo del uso de tecnologías como las mencionadas, y otras como GPS, NFC, el empleo de la realidad aumentada y RFID, se han desarrollado una variedad de aplicaciones para la orientación de personas con discapacidad visual.

En la Universidad Tecnológica de Panamá se desarrolló una aplicación móvil denominada Teubica, la cual proporciona a las personas con discapacidad visual la posibilidad de conocer el lugar donde se encuentra al instalar una aplicación en el teléfono de otra persona al cual se envían algunas alertas de emergencia para ser ubicado en caso de que lo necesite. Este sistema emplea tecnología GPS (De Tristán *et al.*, 2016).

Otros trabajos que involucran una tecnología incorporada para la movilidad de personas con discapacidad visual en los medios de transporte público son el OnTheBus y el App&Town, los cuales funcionan en Barcelona y Alemania. Estos sistemas trabajan con tecnología GPS (Esteve, 2011; Once, 2012). También se ha desarrollado un sistema de posición y orientación móvil para personas ciegas en ambientes cerrados en la Universidad de Chile. Este sistema emplea tecnología WIFI (Sáenz, 2009).

El empleo de aplicaciones instaladas en teléfonos, como los mencionados anteriormente, requiere del uso de internet, lo cual representa una limitante. Sin embargo, la tecnología RFID brinda la posibilidad de no estar conectada a la red, además tiene una precisión mayor que las tecnologías GPS. Por tal motivo, en este trabajo se persigue como objetivo desarrollar un sistema de alerta a personas con discapacidad visual empleando tecnología RFID (identificación por radio frecuencia).

Metodología

Los métodos usados en esta investigación fueron cuatro y son descritos a continuación:

Inductivo-deductivo: a partir de la identificación de los problemas, el estudio y el análisis

correspondiente del lugar a investigar, se obtuvo la información y con ello se procedió a las pruebas de los equipos informáticos para la futura implementación del sistema de alarma con tecnología RFID en la Facultad de Ciencias Humanísticas y Sociales de la UTM.

Analítico-sintético: este método facilitó la obtención de los elementos necesarios para realizar la implementación del sistema de alarma con tecnología RFID. Con este se logró identificar las necesidades del sistema y seleccionar una antena con tecnología RFID, etiquetas chip RFID y desarrollar el software (el cual, de acuerdo a la metodología, se organizó correctamente la implementación sin causar inconvenientes a los mismos).

Histórico-lógico: con este se hizo el estudio de los principales acontecimientos que han marcado la evolución de las tecnologías de internet de las cosas. Con ello se realizó el análisis correspondiente a las tecnologías asociadas como NFC, tecnologías de identificación, sistemas de localización geográfica y se determinó que la tecnología necesaria en este contexto es la RFID. Lo anterior permitió una mayor comprensión del marco teórico relacionado con los temas de estudio de la presente investigación científica como: el desarrollo de la tecnología RFID, los componentes, el alcance y la aplicación.

Modelación: en esta etapa el sistema fue modelado empleando las tecnologías que lo componen y se probó su funcionamiento como un todo; tales componentes y tecnologías son: lector RFID, antenas, etiquetas, se modela el comportamiento del middleware en la lectura de las etiquetas, la actualización de la base de datos, el módulo de gestión de los usuarios y el comportamiento de la aplicación para el móvil en el que se alerta a través de un mensaje de voz a los usuarios.

Métodos empíricos

Las herramientas metodológicas de carácter empírico que fueron usadas en la investigación son:

- Entrevistas a estudiantes con discapacidad visual de la UTM, los cuales han aportado elementos significativos a la investigación. Los resultados han permitido detectar a partir de la realidad cuáles son las necesidades de estos estudiantes y las características de los mismos, los tipos de discapacidad visual que tienen, las posibilidades de empleo de un teléfono móvil, las principales dificultades que afrontan en el traslado. Esta última información sirvió para seleccionar los obstáculos más significativos y tenerlos en cuenta en la ubicación de las antenas, de modo tal que el sistema funciones de la forma más óptima posible.
- Análisis de documentos y bibliografías referentes al tema con los cuales se extrajo el estado actual de las tecnologías a emplear como los sistemas RFID y la definición del uso de las mismas.

Resultados

Los resultados del sistema de alerta a estudiantes con discapacidad se centran en incorporar un conjunto de tecnologías y herramientas elaboradas para abarcar todas las necesidades para la movilidad de este tipo de estudiantes. Para esto, se describen a continuación las tecnologías y herramientas y luego se muestra el sistema de alerta haciendo hincapié en lo que aporta cada una de las herramientas desarrolladas.

Selección de tecnologías, lenguajes de programación y herramientas

Metodología de desarrollo Extreme Programming (XP)

A partir del análisis de las diferentes metodologías de desarrollo existentes, se seleccionó la XP ya que es una metodología ágil que permitió planificar en corto tiempo el desarrollo del sistema de alerta con un diseño simple, en el que se trabajó en equipo y en iteraciones con sus respectivas

pruebas. Misma que permitirá a futuro hacer otros incrementos al sistema.

Lenguaje de programación

Java. Además se hizo uso de herramientas de Eclipse Mars, JavaJDK1.7, Genymotion, PHP, TOMCAT, Netbeans y JDK 1.7

Android Studio

Se empleó para el desarrollo de la aplicación móvil.

Servidor XAMPP

Administrador del servidor Apache.

Sistema de gestión de bases de datos (MySQL)

Con el editor de base datos SQL Manager 2007 for MySQL se creó una base de datos llamada "rfid_database", compuesta por cinco tablas, en la que cada una cumple la función de registro de datos.

Web Service

Permitió mantener una comunicación entre todas las aplicaciones creadas en distintas plataformas de programación como php, java, android y mysql; además, con ayuda de este sistema y también de la programación, se pudo realizar el cambio del mensaje de texto a mensaje de voz.

Selección de la tecnología de identificación para en el sistema de alarmas

Se realizó el análisis de las diferentes tecnologías de identificación. En ellas se parte del empleo de algún dispositivo móvil que la persona con discapacidad pudiera portar, para esto se analiza el empleo de la tecnología NFC (Near Field Communication, o Comunicación de Campo Cercano en español). La comunicación que se establece entre

los dos dispositivos debe realizarse desde una distancia reducida, ya que el alcance de la tecnología es limitado a un máximo de 20 cm (NFC Forum, 2017). Usualmente, NFC trabaja con una frecuencia de 13.56 MHz y una tasa de transferencia de 424Kb/seg (Langer, Saminger y Grunberger, 2009; Acosta, Lozano y Rico, 2015). Lo cual no es factible en esta solución por la necesidad de acercarse a los sensores y la poca posibilidad que tendría una persona con discapacidad visual para emplearla por la distancia a la cual.

Otra de las posibles soluciones es la de utilizar un sistema GPS, pero este tiene como inconveniente el empleo de un sistema cartográfico (el cual es muy costoso) y la poca precisión si se trata de distancias de pocos metros.

En seguida, se analiza la tecnología RFID, la cual es ampliamente empleada para censar objetos (desde inanimados hasta personas). A través de ella se detecta la etiqueta mediante un lector y se identifica esta. Esta tecnología permite la lectura de la etiqueta a una distancia del orden de los metros.

Por último, se analizó dentro de la tecnología RFID los lectores y antenas que soportan un rango de 3m de distancia; los mismos trabajan en el rango de frecuencias UHF. Se seleccionaron e instalaron los siguientes equipos que cumplen con estas características: FX7400-2 Port Fixed RFID Reader GEN2 POE, AN480 RFID Antenna High PERF LH CIRC POL NO, cable 240- LMR-240TNC/N, por cada antena RFID se utilizó 25 mts de cable y etiquetas CHIP RFID. Lo que permitió realizar la demostración del sistema de alarma para personas no videntes con la utilización de la tecnología RFID.

Sistema de alerta

De acuerdo a la investigación realizada, se obtuvo un sistema que consta de cuatro herramientas: una para la gestión de usuarios, llamada Aplicación RFID, una aplicación móvil, un middleware y una base de datos.

La aplicación RFID es una herramienta desarrollada para:

- Gestionar el personal. En esta aplicación es posible introducir los datos personales de los usuarios (en este caso, estudiantes con discapacidad visual), además del número de teléfono, que será empleado para vincular la herramienta RFID con una que se instala en el teléfono cuyo número se registra en esta aplicación.

Figura 1. Gestionar personal.
Fuente: elaboración propia.

- La realización de reportes.

Figura 2. Opción Reportes.
Fuente: elaboración propia.

- La selección de la ubicación de cada usuario.

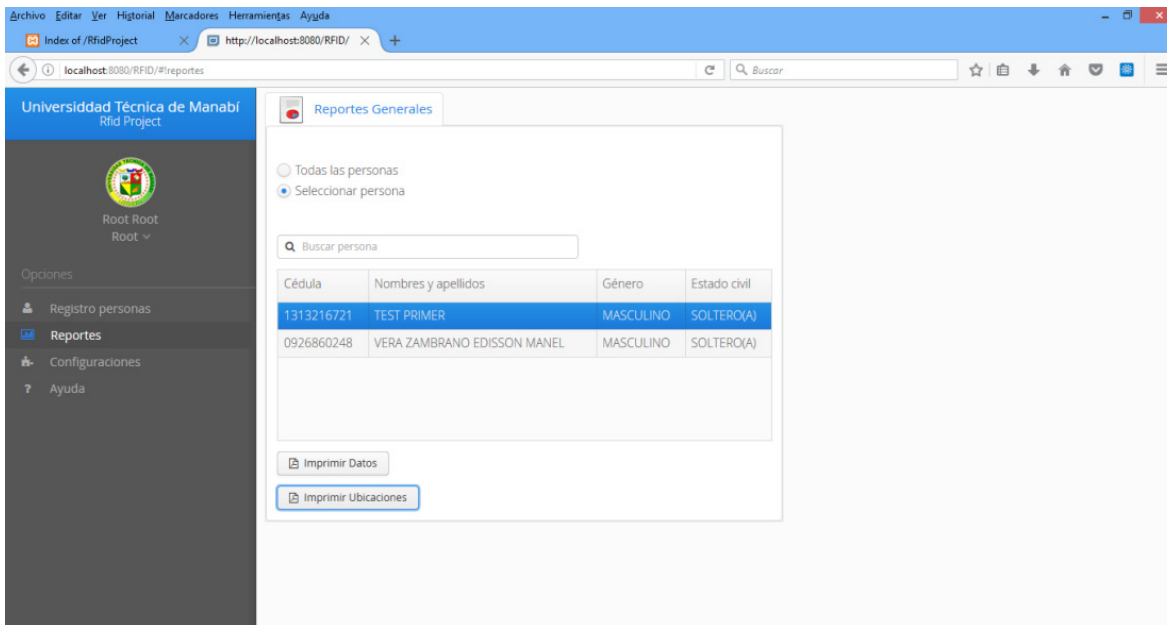


Figura 3. Gestión de usuario.
Fuente: elaboración propia.

- Configuración de antena a teléfono celular. En esta sección se configura la antena de acuerdo a la ubicación que tenga al editar un texto con los datos de los obstáculos que se encuentran cerca de la misma, el cual será enviado en forma de texto a la aplicación del teléfono.

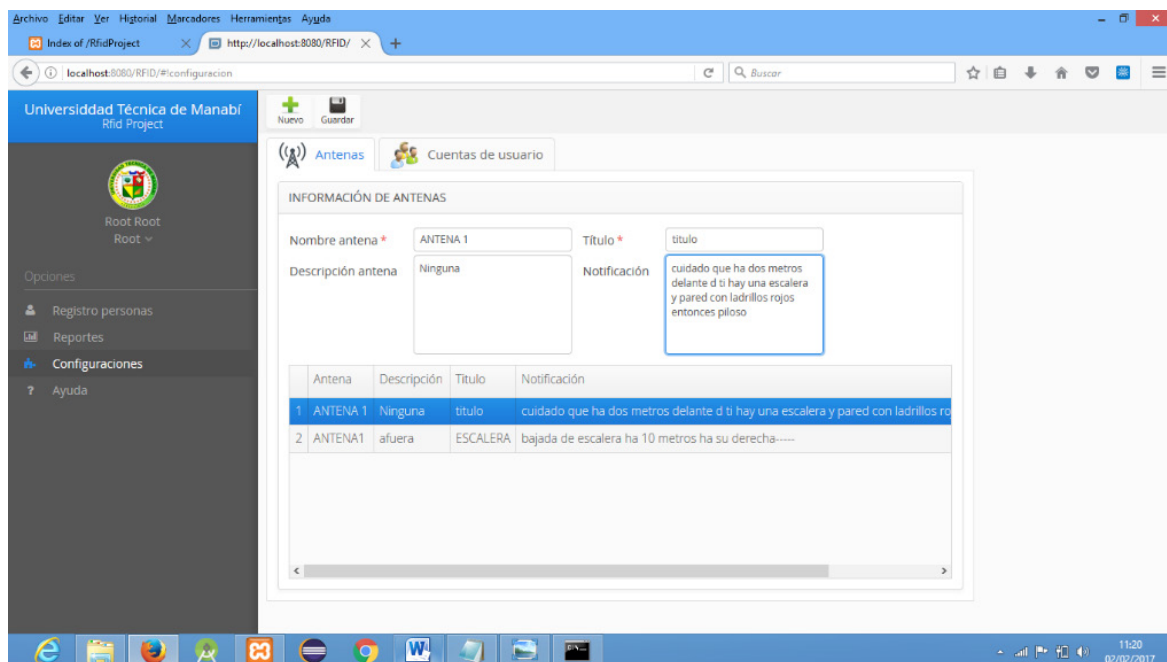


Figura 4. Configuración de antena a teléfono celular.
Fuente: elaboración propia.

- La aplicación Middleware permite el monitoreo en tiempo real de las personas mediante la lectura de las etiquetas RFID. Esta aplicación además permite filtrar el tráfico y enviar a la aplicación RFID los datos de las etiquetas que han sido leídas a través de la antena y el lector.

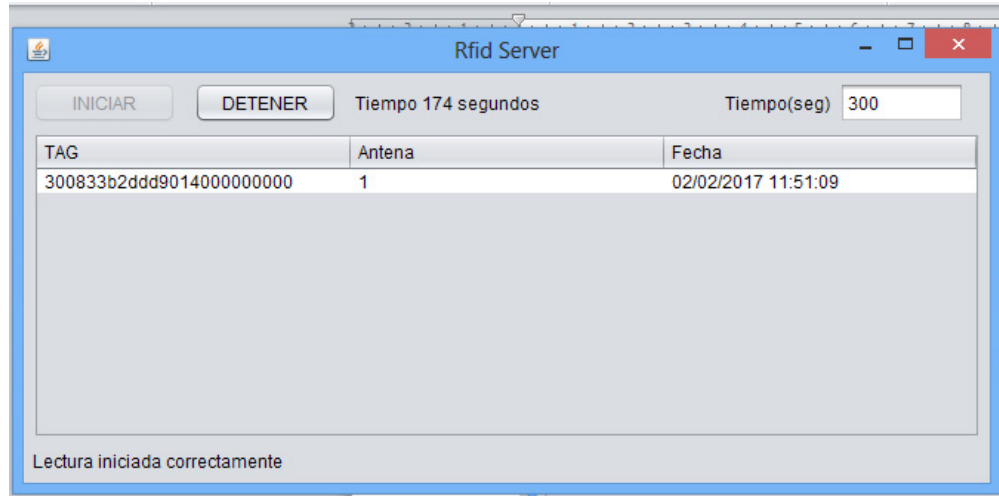


Figura 5. Prueba de lectura de las etiquetas.

Fuente: elaboración propia.

- La aplicación móvil es instalada en el teléfono, en esta se inicia sesión y se recibe el audio. Esta aplicación brinda la posibilidad a la persona no vidente de escuchar un audio que le alerta del obstáculo que se encuentre cercano a su posición.



Figura 6. Aplicación instalada en el teléfono móvil.

Fuente: elaboración propia.

Modelo de base de datos

En la base de datos creada en MYSQL se almacenan los mensajes de voz, los datos de los usuarios que tienen el acceso al sistema, datos de las antenas, los código de cada etiqueta y lo más importante: los datos de las personas con discapacidad visual. En esta base de datos se lleva un registro de la hora, fecha y lugar por el que pasó cada persona con discapacidad visual que posee una etiqueta ya registrada.

Arquitectura del sistema

El despliegue del sistema está compuesto por un servidor, un teléfono móvil, un lector y la antena, los cuales deberán estar conectados a una misma red. Puesto que cada antena y lector tienen una dirección IP dada por el fabricante que es estática.

Al momento de conectarnos a la red de la universidad, por defecto esa red va a generar

una dirección IP privada y esto causaría dificultad; otra conflicto que se tendría en una red de la universidad es el número del puerto por el cual se va a conectar con los equipos, que estaría posibilitando trabajar en diferentes números de puerto y en este sistema es necesario trabajar con el puerto "8080". Por lo que la solución a esto es trabajar en una red definida solo para este sistema lo que permitiría definir un nuevo puerto.

Para este punto se implementó un router de 5 puertos con conexión LAN y distribución de internet inalámbrico, las conexiones por medio del cable de red son para conectar el lector y el servidor, y la conexión inalámbrica sirve para conectar el teléfono, y para la conexión por medio de internet al web service, lo que permite mantener una comunicación de todos los equipos en una sola red y funcionando al 100%.

Una arquitectura completa del sistema se muestra en la figura 8.

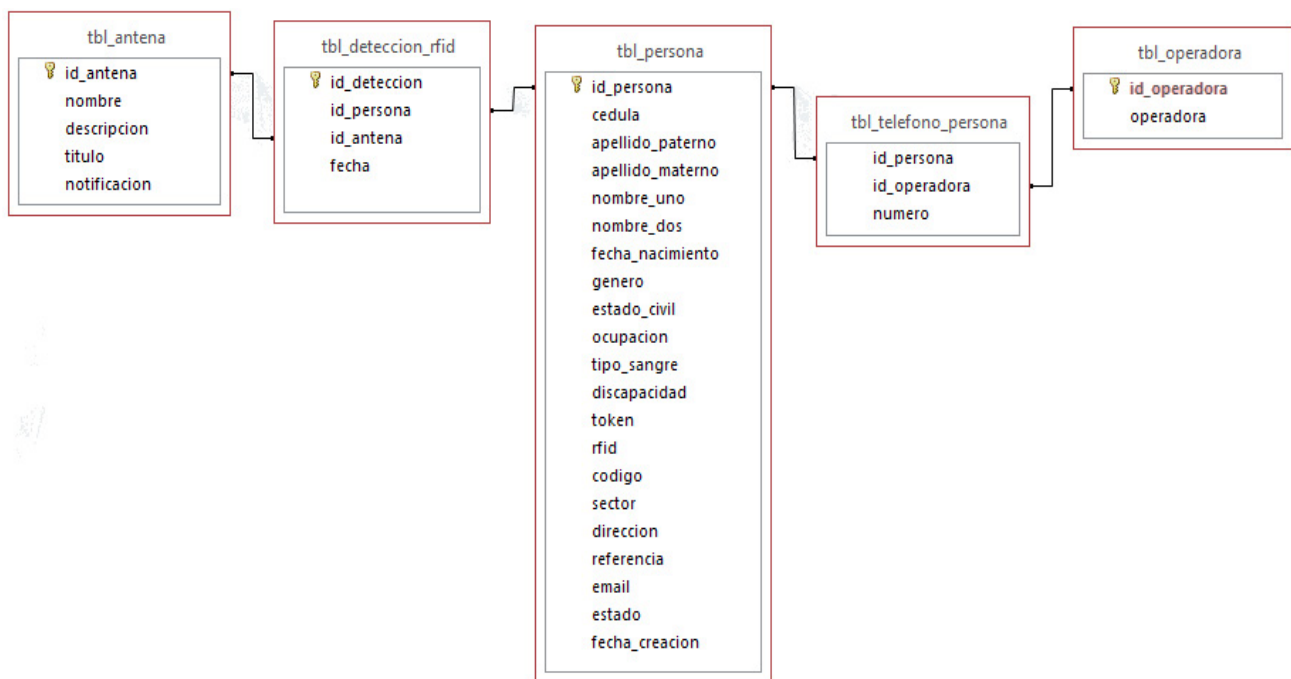


Figura 7. Modelo de base de datos.

Fuente: elaboración propia.

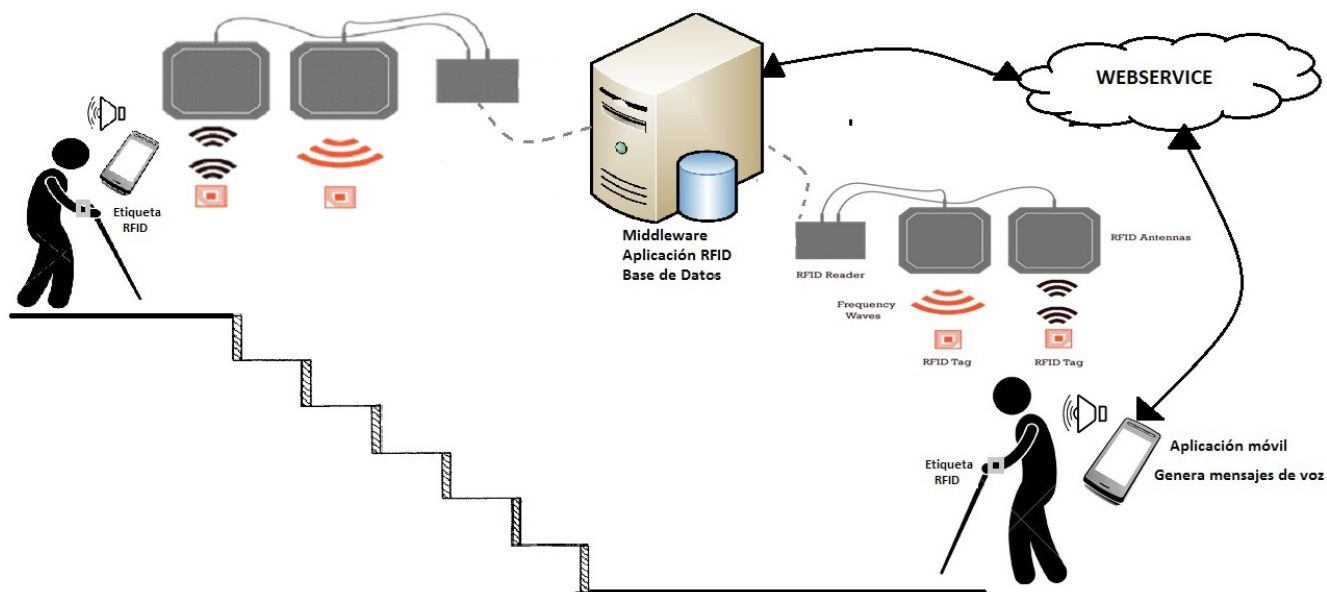


Figura 8. Arquitectura del sistema.

Fuente: elaboración propia.

Desde la descripción de la arquitectura del sistema se demuestra cómo se integran diferentes tecnologías y se crean tres aplicaciones que permiten darle solución al problema planteado. A partir de las pruebas de usuarios y configuración del sistema, se demostró el correcto funcionamiento del sistema obtenido.

Conclusiones

Se obtiene un sistema de alarma en el cual se elabora e integran una aplicación web, un middleware, una base de datos y una aplicación móvil. Estas herramientas han sido desarrolladas con código abierto, lo que permitirá realizar futuras ampliaciones del sistema. En el sistema propuesto, la aplicación web permite la gestión de usuarios del sistema, almacenando todos los datos de las personas con discapacidad, la realización de reportes, la ubicación de las personas no videntes, la configuración de la antena RFID al teléfono celular, la lectura de las etiquetas y la inicialización del sistema y recepción de una señal de audio. El empleo del sistema de alarma obtenido permite la

orientación de las personas no videntes de la Facultad de Ciencias Humanísticas y Sociales de la UTM, lo cual reduce la posibilidad de accidentes por obstáculos como escaleras, rampas y parqueaderos que se encuentran en el área a trasladarse dentro de la universidad. Todo esto mejora la calidad de vida de un grupo considerable de estudiantes que presentan discapacidad visual en la UTM.

Referencias

- Acosta López, A., Lozano, H.D. y Rico, C. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de sistema de identificación por radiofrecuencia para la verificación de información de vehículos. *Redes de Ingeniería*, 6(2), 33-43. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.redes.2015.2.a04>
- De Tristán, G., Arcia, A., Pérez, R. y Montes, H., (2016). *Aplicación móvil para el monitoreo de personas con discapacidad visual*. Conferencia presentada en *7th International Congress on Application of Advanced Information and Communications Technologies (Atica)*, Cuenca, Ecuador, vol. 1.

- Diez, A.C. (2004). Las necesidades educativas especiales: políticas educativas en torno a la aliteridad. *Cuadernos de antropología social*, 19, 157-171.
- Esteve, M. (2011). OnTheBus (proyecto de fin de carrera). Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Langer J., Saminger C. y Grunberger S. (2009). A comprehensive concept and system for measurement and testing Near Field Communication devices. *IEEE Regions & Conference EUROCON*, 2052-2057. <https://doi.org/10.1109/EURCON.2009.5167930>
- NFC Forum. (2017). *About the Technology. NFC and Contactless Technologies*. Recuperado de: <http://nfc-forum.org/what-is-nfc/about-the-technology/>.
- Nitti M., Atzori L. y Cvijikj I.P. (2014). Network Navigability in the Social Internet of Things. *IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 405-410. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2014.6803200>
- Once. (2012). Aplicación Once-Cidat Metro para iPhone. Centro de Investigación, Desarrollo y Aplicación Tiflotécnica de la Once (Cidat).
- Sáenz, M.A. (2009). Sistema de posición y orientación móvil para personas ciegas en ambientes cerrados (tesis de maestría). Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Chile, Santiago.
- Suárez, J.C. (2011). Discapacidad visual y ceguera en el adulto: revisión de tema. *Medicina U.P.B.*, 30(2), 170-180.
- Vargas, H.F., Tovar, M.F. y Villanueva J.C. (2016). Los SAT (sistemas de alertas tempranas). *Revista Científica*, 26, 21-28. <https://doi.org/10.14483/23448350.11087>





Fuzzy Systems: An Approach to 5G Networks under the Software Defined Network Paradigm

Sistemas Difusos: Una Aproximación a las redes 5G bajo el Paradigma de Redes Definidas por Software

Sistemas Fuzzy: uma abordagem para redes 5G sob o paradigma de rede definida pelo software

Luis Felipe Albarracin-Sanchez¹
Gustavo Adolfo Puerto-Leguizamón²

Recibido: septiembre de 2017

Aceptado: noviembre de 2017

Para citar este artículo: Albarracin-Sanchez, L.F., and Puerto-Leguizamón, G.,A. (2018). Fuzzy Systems: An Approach to 5G Networks under the Software Defined Network Paradigm. *Revista Científica*, 31(1), 96-110. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.12540>

Abstract

The exploitation that has had the fuzzy systems related to advances of 5G networks (Fifth Generation Mobile Networks) and how this development has been framed by the paradigm of SDN (Software Defined Networks) architectures are reviewed in this article. The first part reviewed terms required for understanding the technologies and their evolution; on which different scenarios are evaluated because they have contributed to the development of the definition of 5G networks. Following this, the research and development of the fuzzy systems applied to telecommunications, specifically 5G technology and SDN architectures were described. Finally, the respective conclusions of the fuzzy systems in the 5G networks and SDN architectures have been exposed.

Keywords: 5G Networks, Radio Access Network, Core Network, Software Defined Networks, Fuzzy Systems Type 1, Quasi two and Type two.

Resumen

En este artículo se revisó la utilización que ha tenido los sistemas difusos en torno a los avances de las redes 5G (Redes Móviles de Quinta Generación) y cómo este desarrollo ha sido enmarcado por el paradigma de SDN (Software Defined Networks). La primera parte revisó los términos requeridos para entender las tecnologías planteadas y su evolución; en esta definición se evalúan diferentes escenarios que han contribuido al desarrollo de la definición de las redes 5G. Posteriormente se describió la investigación y desarrollo de los sistemas difusos aplicados a las telecomunicaciones, específicamente la tecnología 5G y las arquitecturas SDN. Finalmente, se expusieron las conclusiones respectivas de los sistemas difusos en las redes 5G y las arquitecturas SDN.

Palabras clave: Redes 5G, Red de Acceso de Radio, Red de Núcleo, Redes Definidas por Software, Sistemas Difusos Tipo I, Cuasi-II y Tipo 2.

¹. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Email: lfalbarracins@correo.udistrital.edu.co
². Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Email: gapuerto@udistrital.edu.co

Resumo

A exploração que teve os sistemas difusos relacionados aos avanços das redes 5G (Redes móveis de quinta geração) e como esse desenvolvimento foi enquadrado pelo paradigma das arquiteturas SDN (Software Defined Networks) são revisadas neste artigo. A primeira parte analisou os termos necessários para a compreensão das tecnologias e sua evolução; em que diferentes cenários são avaliados porque contribuíram para o desenvolvimento da definição de redes 5G. Em seguida, foram descritas a pesquisa e desenvolvimento dos sistemas difusos aplicados às telecomunicações, especificamente tecnologia 5G e arquiteturas SDN. Finalmente, as respectivas conclusões dos sistemas difusos nas redes 5G e arquiteturas SDN foram expostas.

Palavras-chaves: Redes 5G, Red de Acesso de Rádio, Red de Núcleo, Redes Definidas por Software, Sistemas Difusos Tipo I, Cuasi-II e Tipo 2.

Introduction

Having in mind that developments in today's telecommunications are focused on obtaining the highest possible transfer rate for users with embedded mobility support (Gupta & Jha, 2015), obtaining an optimal and high-performance cost-benefit ratio for both: the customer, as well as the services provider, is imperative for the telecommunications markets.

This paper will explain specific definitions of fuzzy systems and their applications in telecommunications, which will allow to address the application of these techniques in new technologies,

as shown in (Bhandari & Singh, 2016; Demydov, Seliuchenko, Beshley, & Brych, 2015; Dotcenko, Vladyko, & Letenko, 2014; Dubois & Prade, 1997; Xu et al., 2008). In the initial stage of the article, the basic theory of fuzzy systems will be exposed, followed by the advances in the 5G networks including the definition of the SDN paradigm. Afterwards, the integration of the SDN paradigm into the 5G networks will be explained as well by describing the proposals and developments up to date that has been made regarding the diffuse systems in 5G and SDN networks. Finally, we will show as conclusions the possible fields of action for decision making with fuzzy systems in 5G and SDN technologies.

Fuzzy Systems

A. Fuzzy Logic

Fuzzy Logic Systems are compared with probability theories as presented in (Dubois & Prade, 1997) since they comprise architectures for the resolution of problems with uncertainty under a perspective of membership degrees. This means that in essence, a fuzzy system defines that the possible input variables for a system to obtain a specific output do not have deterministic levels of an associated variable.

Different stages define a global description of fuzzy systems: The fuzzifying block, the inference engine, and the defuzzifier block, as shown in Figure 1.

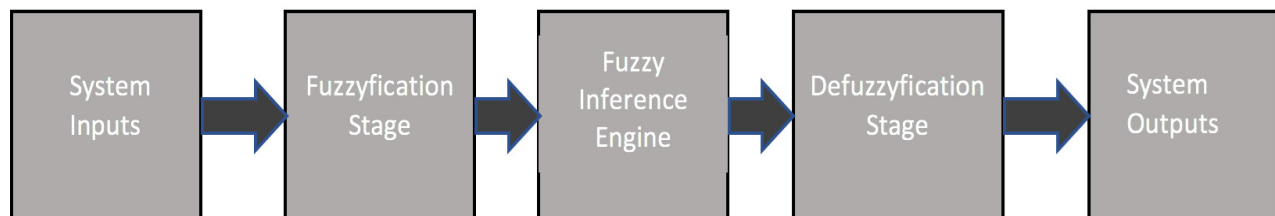


Figure 1. Fuzzy Systems Scheme.

The different blocks of fuzzy systems are explained below:

- A. System Inputs: these are defined as the set of variables to be analyzed by the fuzzy system in order to establish the decision to take with an uncertainty problem.
- B. Fuzzification Stage: In this stage, the degree of membership of the defined entries are determined in the different sets that establish the universes of the problem to be evaluated.
- C. Fuzzy Inference Engine: In this stage are defined the rules that allow to establish and process fuzzy inputs to obtain an output in membership degrees of the system.
- D. Defuzzification Stage: In this stage, the outputs of the fuzzy inference engine are converted to a deterministic form.
- E. Outputs from the System: This block comprises the results of the system, with the decisions found to solve the initial problem under the lens of a fuzzy system.

The fuzzy systems have presented evolutions regarding the form in their architecture, approaches of the inputs and their methods for the fuzzy inference engines. The next section will show the more representative fuzzy systems for a better understanding of what has been exposed.

B. Type I Fuzzy Systems:

In type I fuzzy systems, two types of fuzzy systems can be emphasized: the Mamdani type fuzzy system and the Sugeno type fuzzy system. The main difference of these types of systems is perceived in the way the outputs of the system are determined (Jantzen, 1998; Mendel, 1995).

The Mamdani type fuzzy system is more recurrent to see in conventional fuzzy architectures. The Mamdani method is based on fuzzifying the input variables, applying a fuzzy operator to these inputs, followed by applying methods of implication and aggregation, in order to defuzzify the outputs (Wang, 2015).

The most common defuzzification method used in Mamdani Fuzzy Systems is the Centroid Method, the expression gives this one:

$$Z_{COA} = \frac{\int_z \mu_A(z).zdz}{\int_z \mu_A(z)}. \quad (1)$$

Where z is the output variable, and $\mu_A(z)$ is the membership function of the aggregated fuzzy set A with respect to z .

The method of a Sugeno fuzzy system was initially proposed by Takagi, Sugeno, and Kang, this type of system aims to develop a systematic method to generate fuzzy rules from an input/output data set. To make an example of this concept, define a Sugeno fuzzy system that will commonly contain a fuzzy rule of the form:

$$\text{If } X \text{ is } A \text{ \& } Y \text{ is } B, \text{ then } z = f(x,y) \quad (2)$$

Where $f(x,y)$ is generally a polynomial dependent function of the input variables X and Y , however, it can be defined as any function that can properly define the output of the model within the fuzzy region specified by the antecedent of the rule (Adlassnig & Vienna, n.d.; Dimitar, 2006).

In order to better illustrate the above concept, figure 2 shows a membership function of type I fuzzy system. As observed, it is a Gaussian type function that establishes the membership of the input variable in the fuzzy system to a set from the proposed fuzzy system. In this context, x represents possible values of the input data, and $f(x)$ shows the value assigned to the membership function depending on the model used, in figure 2 a Gaussian model is used.

C. Interval Type II Fuzzy System:

The interval type II fuzzy systems argue that there is uncertainty even on the degree of membership of an input to a specific set in a fuzzy system. Defining this way that a variable can have a belonging

degree to the membership degree associated with a set. This, means that a diffuse set expresses the degree of imprecise non-deterministic truth to which an element belongs to the whole. The characteristic function of a fuzzy set can then take values between 0 and 1, which denotes the membership degree of an element to a given set.

The construction of a fuzzy set depends on the identification of a suitable universe and the specification of a membership function with the appropriate linguistic meaning as discussed in (Yosra JARRAYA, Souhir BOUAZIZ, Adel M. ALIM, 2016) and (Mendel, 2007). Figure 3 illustrates the conceptualization of the difference between a diffuse set type I and an interval type II. In particular, figure 3(a) shows a type 1 fuzzy sets, where it can be seen that for each value of the input data (x-axis) there is a unique equivalence in the membership function (y-axis). Figure 3(b) shows an interval type 2 fuzzy system, where it can be seen that for each value of the input data (x-axis) there is a possible range of values in the membership function (y-axis); this is a Type 2 Membership Function.

A Type 2 Fuzzy System, denoted T2FS, is characterized by a Type 2 membership function μ_{T2FS} , where $x \in X$ and $u \in J_x \subseteq [0,1]$, i.e.,

$$T2FS = \{((x, u), \mu_{T2FS}(x, u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad (3)$$

in which $0 \leq \mu_{T2FS}(x, u) \leq 1$. T2FS can also be expressed as:

$$\mu_{T2FS} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{T2FS}(x, u) / (x, u) \quad J_x \subseteq [0,1] \quad (4)$$

Where \int denotes union over all admissible x and u .

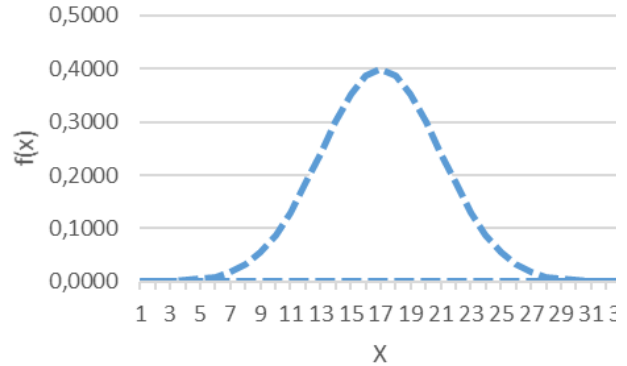


Figure 2. Gaussian Membership Function.

D. Quasi II Fuzzy Systems:

Taking into account the evolution of type II fuzzy systems, some possible approaches are proposed for the next step in their advancement as presented in (Coupland, 2007; Coupland & John, 2007; Starczewski, 2006).

In this context, the Quasi-II systems proposed by Mendel (Mendel & Liu, 2008), are an alternative used in telecommunications as manifested in (Albarracin & Melgarejo, 2010). These quasi-II type fuzzy systems can be defined as:

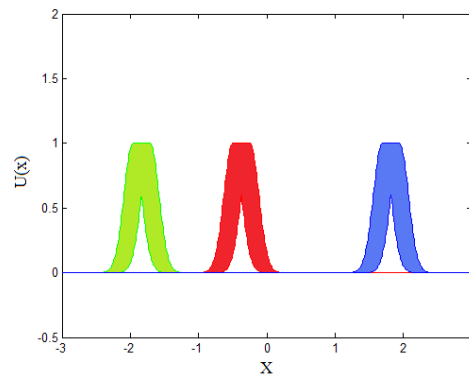
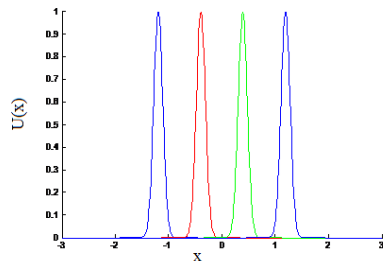


Figure 3. (a) Type I Fuzzy Set (b) Interval Type 2 Fuzzy Set.

- A. An interval type II fuzzy system in parallel with a type I fuzzy system. On which we have a common defuzzification process, using the triangle's centroid method (a common method for defuzzification) formed by the three values delivered by the inference engine.
- B. Two type II fuzzy systems executed in parallel, on which their respective type reduction is carried out, and to which the respective defuzzification is applied with the centroid method, using the four values obtained from the inference engine (Mendel & Liu, 2008).

These models, proposed by Mendel, are based on the approaches presented in (Mendel & Liu, 2008), which explain how after a complete understanding of the type II fuzzy reduction through representations of an alpha level (Mendel & Wu, 2007) of the type II fuzzy systems and the understanding of the geometry of type reduction sets, the logical stages to be followed in fuzzy systems are the formulation of fuzzy systems quasi II, through the interconnections of type I systems with interval type II fuzzy systems, or by means of the interconnections of only interval type II fuzzy systems.

5G Networks

Taking into account the approaches of 4G mobile networks (4th Generation Mobile Networks) regarding their speed capabilities (with LTE Advanced speeds up to 1 Gbps), the basic definitions of the required reach in the networks 5G (Fifth Generation of Mobile Networks) is being approached. Among these definitions and as the main objective the support of capacities of up to 10 Gbps for mobile users (Dubois & Prade, 1997) is established. The following is a brief explanation of some key points that have been found relevant in the context of 5G systems development.

A. Beam Multiple Access Division (BDMA) and Spatial Division Multiple Access (SDMA):

As explained in (Amaya et al., 2014; Gupta & Jha, 2015; Irnich, Kronander, Selen, & Li, 2013; Roy, n.d.; C. Sun et al., 2015) among the medium access methods that are proposed to improve speeds within the 5G network are BDMA and SDMA, which provide access to the medium of mobile users through electromagnetic signal bundles dedicated to users. The concept, in essence, is the ability of electromagnetic systems to deliver information to the user in a dedicated manner using a specific signal (electromagnetic beam). This means that a dedicated signal is required in the physical space for each user and in this way, they can share the electromagnetic medium.

In (Roy, n.d.) different technologies are defined to achieve the spatial separation in the medium access, to have a better understanding of these subjects it will be exposed the one that is considered as a better acceptance in the understanding of the concept:

Switched Beam Technology: This technology seeks to develop intelligent hardware and software that allows defining which electromagnetic beam is used for communication with each specific user, during a specific time instant. The complications associated with this technique lay within the definitions of temporality and assignment of communication beams to the user, especially for moving users (Roy, n.d.).

B. Massive MIMO: The use of multiple antennas to transfer more information to users is the beginning of the current MIMO scheme. The Massive MIMO scheme, proposes the use of a high number of antennas (around hundreds (Gupta & Jha, 2015)), this creates a great difference to the current architectures, which allow maximum 4X4 schemes (4 antennas to transmit and 4 to receive simultaneously (Mohandas & Bhaskar, 2013; Werner, Furuskog, Riback, & Hagerman, 2010)). Figure 4 illustrates Massive MMO deployment proposal.

As shown in figure 4, MIMO requires the existence of more than one antenna for transmission and more than one antenna for reception. Massive MIMO (also shown in figure 4) uses hundreds of antennas for transmission and reception. In figure 4 it is shown how multiple antennas use spatial diversity to achieve the delivery of the information on the RF (Radio Frequency) channels. The idea is that each antenna has communication with directivity and when the signals overlap they create constructive additions to the signals. Likewise, challenges arise to achieve the efficient transmission in systems of high antenna density, obtaining the minimum interference and destructive signals between them. In (Agiwal et al., 2016; Gupta & Jha, 2015; Olwal, Djouani, & Kurien, 2016; C. Sun et al., 2015; S. Sun, Rong, Hu, & Qian, 2015), are mentioned the different challenges that are addressed to achieve efficient systems with Massive MIMO.

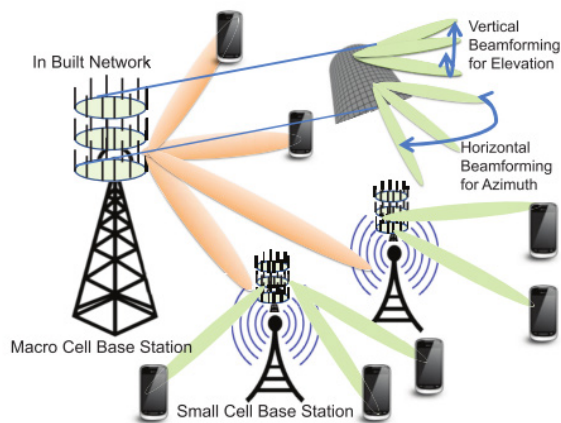


Figure 4. Massive MIMO (Agiwal, Roy, & Saxena, 2016).

C. Spectrum Sharing: Taking into account that the bit rates that are targeted in 5G are quite high compared to the current ones, the efficient use of large blocks of spectrum for 5G can be seen in the development horizon. Within the postulates for the new generation of mobile networks, it is defined that 5G networks will use the existing mobile networks allowing through the simultaneous

communication of all the technologies to achieve a greater transfer of data. This means that unlike today's mobile network technologies, in which there is a single connection to a specific technology (LTE, HSPA, UMTS, EDGE or GPRS) in 5G, it is proposed to have a simultaneous connection with all available technologies to achieve parallel communications and connections with all the available technologies.

Under this precept, it can then be thought about the administration of the spectrum that must perform 5G in order to deliver the spectrum resource efficiently and without obstructing existing communication technologies. It is then when the techniques of Spectrum Sharing are defined on which the allocation of spectrum resources to the communication nodes are defined (Chatzikokolakis, Spapis, Kaloxylas, & Alonistioti, 2015; Gupta & Jha, 2015; Irnich et al., 2013). The best approach to define Spectrum Sharing techniques is through the definition of the spectrum sharing technologies scope. According to what is exposed in (Irnich et al., 2013), there are three basic scenarios to share the spectrum:

1. Sharing in just one Technology: It refers to sharing spectrum resources only under a defined technology, i.e., between 3G technology sectors.
2. Sharing between Well-Defined Technologies: In this scenario, the spectrum between standardized regulated technologies is shared, i.e., the spectrum is shared between UMTS and LTE technologies).
3. Spectrum Free Sharing: In this scenario, only the band of the spectrum to be used is reviewed, regardless of whether any (even unregulated) technologies are being used, i.e., spectrum that can be shared in amateur radio bands.

Now given the scenarios, the definition of the general techniques for Spectrum Sharing are defined in two:

1. **Distributed Spectrum Sharing Technique:** In this solution, each communications node makes use of the spectrum autonomously and reviews the availability of the spectrum and coordinates with the adjacent nodes the possible use using signaling. An example of this application is the current use of WIFI networks, which choose the best channel to transmit by detecting the use of the spectrum around them in the possible bands to use.
2. **Centralized Spectrum Sharing Technique:** In this technique, a centralized entity manages the information regarding the available resources in a specific location in a specific time, and according to this information, the decisions of spectrum utilization are made. An example of this is observed in geolocation databases for the use of unused TV bands.

D. Slicing: The concept of Slicing as defined in (Da Silva et al., 2016; Yoo, 2016), it is shown in this paper the ability of the 5G technology to divide the network into independent network piece that can serve different services in a dedicated way. Under this concept, each network piece is composed of network functions that are selected for a specific service, and this piece is called "Network Slice."

With this idea in mind, the challenges for an adequate implementation of Slicing in 5G networks can be addressed according to what is stated in (Da Silva et al., 2016; Sama, An, Wei, & Beker, 2016; Yoo, 2016):

- A. To achieve an architecture that supports divided functionalities for the network traffic and for the roaming services in the 5G systems that arise.
- B. To achieve the proper separation between the different network instances (NSI-Network Slice Instance).
- C. Sharing resources appropriately among different NSIs.

- D. Define which network functions should be shared and which should be managed centrally in the network.
- E. Define the procedures to define the appropriate NSI for a user.
- F. Define how the appropriate support will be provided to third parties through Network Slicing.
- G. To make a clear definition of the scope, mechanisms, and functionalities when implementing Network Access Slicing (Radio Access Network Slicing).

In (Sama et al., 2016) a proposal is presented to address the problem of Slicing focused mainly on the Evolved Packet Core (EPC) network that can be considered as a starting point on the research carried out regarding slicing.

E. SDN: The definitions that compose the Software Defined Network paradigm (SDN) will be explained in detail in section IV, but it is exposed in this section the applications that have been defined for 5G networks.

According to what can be seen in (Abdurrehman, Sadique, & Shah, 2016; Cho, Lai, Shih, & Chao, 2014; Costa-requena et al., 2014; Ksentini, Bagaa, & Taleb, 2016; Sama et al., 2016; Yazici, Kozat, & Sunay, 2014; Zhang, Xie, & Yang, 2015), among the main characteristics defined as 5G technology stands the deployment of SDN (Software Defined Networks) and NFV (Network Functions Virtualization) for the management of 5G technology resources. In (Yazici et al., 2014) it is shown how the SDN paradigm allows to separate the control functions of the elements of the core of the mobile network (PGW - Packet Gateway and SGW-Serving Gateway) and that this development can be extended even to the RAN Network and the communications between devices (D2D - Device to Device). Figure 5 illustrates the proposed architecture for a 5G network under the SDN paradigm with the definition set forth.

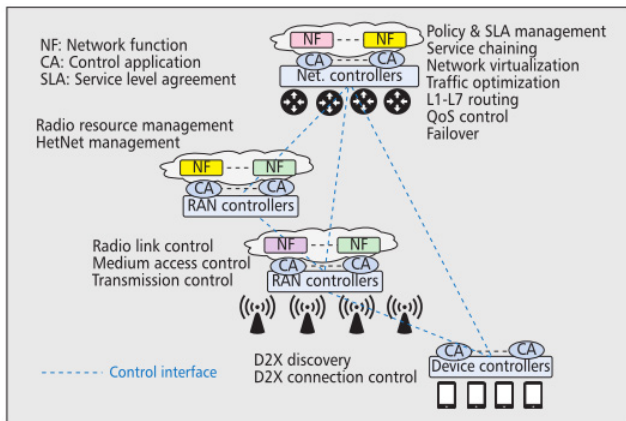


Figure 5. 5G Network Architecture under SDN Paradigm (Yazici et al., 2014).

In figure 5, the different layers of a mobile network are shown:

- A. The Core Layer:** This layer is shown in the upper part of figure 5. The Net. Controllers are defined in this layer where policies, concatenation of services, traffic optimization, routing and other functionalities are stated.
- B. The Heterogeneous Network and Radio Resource Management Layer (HetNet):** The central part depicted in figure 5 represents the layer where the Radio Resource management (Hetnet management) is defined. The elements that allow the traffic of information in the air interface are managed in this layer.
- C. The Media Access Layer:** This layer is also depicted in the central part of figure 5 where the Radio Link Control, Medium Access Control, and Transmission Control are performed. This layer defines how the different users are connected to the network through the air interface.
- D. The Device Controller Layer:** The lower part of figure 5 represents the Device Controllers. In the framework of the SDN architecture, the user's devices and the possible connections between them are located in this layer.

As shown in Figure 5, each network layer is separated regarding its network functions and control applications, as defined in the SDN paradigm.

In (Sama et al., 2016) the concept of implementing the SDN paradigm is further extended in the core of the mobile network, starting from the current architecture of the LTE network with the same core elements for a 5G network proposal, it is noteworthy that the proposed approach interconnects the Network Slicing with the SDN architecture, indicating that different network services are assigned different control and switching resources. The definition given in (Sama et al., 2016) states that the different current functions of the Evolved Packet Core (EPC) in general can be decomposed into metafunctions and that these are distributed under SDN in the control plane and user plane.

Similarly, to have a more global conception regarding the application of SDN in the 5G networks in (Abdurrehman et al., 2016; Cho et al., 2014; Ksentini et al., 2016; Zhang et al., 2015) different SDN architectures are defined as proposals for 5G networks. These architectures highlight the following aspects:

- A. The definition of programmable networks under SDN allows 5G architectures to take advantage of the resources and programmable optimizations for their services.
- B. Additional services are offered because of SDN for 5G, such as Interconnection between Data Centers (DCI), load minimization and relocation of SGWs and caching in the Radio Access Network (RAN).
- C. Different functionalities and common benefits are established for network services through SDN, such as Management of higher traffic volumes, lower latency compared to current networks, decreases in operating costs (mainly associated with consumption Energetic), flexible routing and network virtualization.
- D. Likewise, a technology similar to SDN is proposed for the management of radio - SDR; this technology focuses on managing the RF interface resources in the access layer so that the users can review the different frequency bands so they can connect to different technologies through a single interface.

SDN Architecture

The SDN paradigm is proposed by the ONF organization (Open Networking Foundation) as an alternative to traditional network structures, in which each node of the telecommunications system individually processes traffic decisions and does the forwarding actions according to the inner algorithms. In the SDN paradigm, a network architecture is proposed, where the control of the network is separated from the traffic forwarding, and it is directly programmable. As discussed in (Xia, Wen, Foh, Niyato, & Xie, 2015), the inherent protocol for the SDN architecture is OpenFlow; which communicates the data plane with the control plane. This is accomplished through the abstraction of the data plane with flow tables, where each flow is a combination of "n" possible headers from layer 2 to layer 4 (in the OSI model).

Figure 6 shows the clear difference between traditional traffic forwarding architectures in telecommunication systems and the approach established by the SDN paradigm. In this way, the SDN architecture has evolved regarding its definition and contemplates even to support circuits switching networks (Xia et al., 2015) through circuits switching flow tables, thus allowing a macro definition of the scope of the paradigm to all telecommunications systems. There are also projects that establish the approximation for the transition of the current networks to an SDN scheme, as shown in (Gerola et al., 2013) a definition of the SDN environment known as OFELIA (OpenFlow in Europe Linking Infrastructure and Applications) and VeRTIGO (Virtual Topologies Generalization in OpenFlow Networks) which allow the experimentation required for different environments (islands) of SDN networks. From this test environment, the generation of "OpenFlow Agents" can be denoted, since they allow the linking of Open Flow Hardware to an SDN architecture (intermediaries for traditional Hardware and SDN architecture). Figure 6 shows how conventional networks operate, in which each node make the routing decisions independently

and how SDN networks operate, in which an SDN controller takes all the routing decisions including learning at the link layer level, security issues and quality of service policies. Under the SDN paradigm the nodes just forward the traffic according to what the SDN controller establishes.

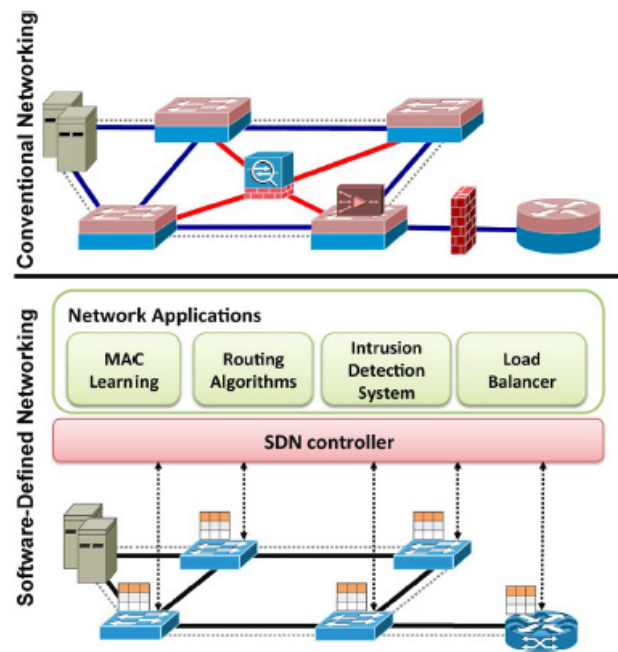


Figure 6. Legacy Network Vs. SDN (Kreutz et al., 2015).

As discussed earlier in this article, the SDN architecture is a fundamental pillar in the different definitions of the scope of 5G networks, this is due to the fact that for the different functionalities presented by 5G systems, independent nodes may not be defined to take decisions by their own, for example, the core network will need the flexibility of assigning resources of the whole network to the users or applications (Network Slicing) or otherwise the end users will be able to share resources of different nodes with autonomous decisions (D2D environments) by decisions made in the core network. In addition to this, the SDN architecture has allowed the integration of the different layers of the mobile networks for a unified management, as discussed in (Sama et al., 2016) (for the definition of the core services of the network),

and also illustrated in (Nguyen, Bonnet, & Harri, 2016; S. Sun et al., 2015) where SDN architecture applications are defined for mobile network access (specific to SDM, Massive MIMO and mobility management). However, the significance of the SDN architecture goes further into service definitions and even integrates transport layers.

As shown in (Costa-requena et al., 2014; Iovanna & Ubaldi, 2015; Sarmiento et al., 2016; Yamashita et al., 2016), the application of the SDN architecture covers the allocation of resources in the backhaul of mobile networks, especially over optical transmission systems, where the resources of the radio access network and the resources of the optical networks are interrelated to guarantee the services of the users. In addition to this scheme, there are contemplated SDN-based hardware schemes (optical nodes and transducers) to achieve the requirements of the high traffic demands and separation of services required in 5G (Sarmiento et al., 2016; Yamashita et al., 2016).

Finally, it is possible to show that there are already proposals for the harmonization of the SDN schemes for the access and transport interfaces in the mobile networks for the 5G technologies, in (Vilalta et al., 2016) a proposal is shown on how to orchestrate the different control layers of the SDN architecture (radio resource control layer and transport resources control layer) through a principal/secondary topology, which allows a demonstrative evaluation of the hierarchy to achieve the provisioning and recovery of resources and services in End-To-End systems under the SDN architecture.

Fuzzy systems in 5G networks and SDN architectures

At present of this paper, there are few applications of fuzzy systems in telecommunication systems. It is possible to denote works such as those shown in (Albarracin & Melgarejo, 2010) where the fuzzy systems are applied to communication channels; but specifically for the development of 5G technologies, the presented proposals focused mainly on

the handling of the air interface, such as that found in (Aryal, Dhungana, & Paudyal, 2012), which defines the use of fuzzy systems for the management of interference in RF systems, seeking to identify an " α " term and its variations according to different parameters from the radio frequency interface (e.g. amount of connected users, mobility, synchronization, available spectrum, etc.), which can determine the variation of the interference in the system.

In (Peng, Wang, Li, Xiang, & Lau, 2015), advances and new mechanisms are shown for heterogeneous networks (HetNets) and also the coexistence of high-power and low-power nodes is proposed, as well as spectral efficiency, energy efficiency and reuse of space resources. However, it is considered that the management of the interference generated between different types of nodes becomes a challenge, and in this scenario, a controller based on the fuzzy logic that modifies the handover margins dynamically supports the whole concept of robust mobility optimization.

Also in (Demydov et al., 2015), the use of fuzzy systems for handover algorithms is used, specifically to support Vertical Handover in HetNet networks. In this scenario, fuzzy systems are used to determine the decision criterion regarding the performance of the handover (change of the server node for one user to another, given its mobility). In this model, the different current mobile network systems (LTE, UMTS, and GSM) and their associated load are presented as inputs, and through the fuzzy system, it is established if the handover should be performed.

Similarly, in (Wu, Liu, Huang, & Zheng, 2015) fuzzy systems are used for the parameter optimization in a handover process. In this research, an algorithm based on a Q-Learning is proposed on the fuzzy systems for mobility management in small cell networks. In the proposed algorithm, the Call Dropping Ratio (CDR) and HandOvers Rate (HOR) are used as the initial inputs to dynamically adapt the Handover Margin (HOM) and thus regulate the number of handovers and signaling transmitted over the network.

As a final example of the application of fuzzy systems in the approaches for 5G networks, the use of fuzzy systems for the best choice of radio access technology for users is also defined (Vertical Handover) is presented in (Kaloxylas, Barmpanakis, Spapis, & Alonistioti, n.d.). In this proposal, unlike (Demydov et al., 2015), more variables are taken at the input of the fuzzy system to define what is the Radio Access Technology (RAT) to be used by the user. In this model, the use of the variables of mobility, RAT load, backhaul network load, Reference Signal Received Quality (RSRQ) and the sensitivity to the latency by the service used by the user is proposed. As seen, more variables are included than those proposed in (Demydov et al., 2015) (RAT and load) to determine the best technology to be used by the user and thus to establish if it is consistent to perform the user's handover to another technology.

However, regarding the development of fuzzy systems applied to SDN architectures, there are developments such as those described in (Bhandari & Singh, 2016), where it is proposed to use fuzzy systems for the provisioning of traffic in an SDN architecture. In this model, the fuzzy system is applied in the control plane to decide the route that should be assigned to the traffic that reaches the network. In this scenario the use of two fuzzy systems are taken into account to make the decision, the first fuzzy system is focused on measuring and assessing the traffic behavior regarding the network KPIs (load and delay) for this specific traffic; the second fuzzy system evaluates the capacity of the links through which the traffic will be sent. In this application, the combination of several fuzzy systems is observed to achieve decision-making and to determine the best paths for traffic flows. It is important to denote that this architecture, still manages a scheme based on type I fuzzy systems.

In (Dotcenko et al., 2014) it is shown how fuzzy systems can be used to implement security algorithms in the traffic flows of SDN networks. In this model, the fuzzy system inputs are the anomalies of the flows that can be considered as

malicious traffic, and then the fuzzy system processes the information, and with recurrent training, it defines which flows are malicious, and it also allows to decide isolation or to block the malicious traffic.

Conclusions

According to what is presented in the different sections of this paper, it is evident that the 5G technology has not yet been defined regarding how it will offer telecommunications services; however, there are great definitions focusing on the architectures and functionalities that are considered crucial in the development of this technology. It is also observed that SDN architectures are more advanced regarding deployments, compared to 5G technologies; and that this same development has allowed the SDN architecture to become a mainstay of 5G technology.

In this matter, it is also noted that the implementation of fuzzy systems for decision making in the various telecommunication systems has not been very exploited; and that only type I fuzzy systems have been applied in the developments (except (Albarracin & Melgarejo, 2010)) on systems architectures that include fuzzy systems. This current picture of technology development provides a broad spectrum of opportunities for the development and integration of fuzzy systems in emerging mobile telecommunication systems.

Regarding this, some possible fields of investigation are presented:

- A. Integration of the decision-making techniques through fuzzy systems in different network layers over an SDN architecture, where all decisions in the control layer are validated through type I, type II and quasi-II fuzzy systems.
- B. Application of type II and quasi-II fuzzy systems for decision making in the access layer of mobile systems, such as handover processes (both Intra-System and IRAT) and allocation of air interface resources to the users.

- C. Decision making through fuzzy systems for Network Slicing scenarios, where different network resources are evaluated in all layers (Access, Transport, and Core) and depending on the need of the user, the quantity and capacity of resources will be allocated for a specific service dynamically.
- D. Evaluation of the integration of type II and quasi-II fuzzy systems in the current control plane processing in the SDN architecture and its coupling with the current transport protocol for SDN (Open Flow).
- E. Application of fuzzy systems in the decision making of the resource allocation in scenarios of Massive MIMO to different users, taking into account the environment variables and the type of service that the users require.
- F. Application of type I, type II and quasi-II fuzzy systems for the decision making in the allocation of the air interface resources for the BDMA and SDMA medium access schemes.

References

- Abdurrehman, S., Sadique, M., & Shah, P. N. (2016). To Use Software Defined Networking Technology In Telecommunication For 5-G Network. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 1046–1049.
- Adlassnig, K., & Vienna, A. (n.d.). Fuzzy Set Theory and Fuzzy Logic (pp. 103–125).
- Agiwal, M., Roy, A., & Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2532458>
- Albarracin, L. F., & Melgarejo, M. A. (2010). An approach for channel equalization using quasi type-2 fuzzy systems. *2010 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*, (1), 1–5. <https://doi.org/10.1109/NAFIPS.2010.5548203>
- Amaya, N., Yan, S., Channegowda, M., Rofoee, B. R., Shu, Y., Rashidi, M., ... Wada, N. (2014). First Demonstration of Software Defined Networking (SDN) over Space Division Multiplexing (SDM) Optical Networks. *Optics Express*, 22(3), 3638. <https://doi.org/10.1364/OE.22.003638>
- Aryal, S. R., Dhungana, H., & Paudyal, K. (2012). Novel approach for Interference Management in cognitive radio. *2012 Third Asian Himalayas International Conference on Internet*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/AHICI.2012.6408448>
- Bhandari, A., & Singh, V. P. (2016). Design of Fuzzy-Based Traffic Provisioning in Software Defined Network. *I.J. Information Technology and Computer Science*, (9), 49–61. <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2016.09.07>
- Chatzikokolakis, K., Spapis, P., Kaloxylos, A., & Alonistioti, N. (2015). Toward spectrum sharing: opportunities and technical enablers. *IEEE Communications Magazine*, 53(7), 26–33. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7158262>
- Cho, H. H., Lai, C. F., Shih, T. K., & Chao, H. C. (2014). Integration of SDR and SDN for 5G. *IEEE Access*, 2, 1209–1217. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2014.2357435>
- Costa-Requena, J., Kantola, R., Llorente, J., Ferrer, V., Manner, J., Ding, A. Y., ... Tarkoma, S. (2014). Software Defined 5G Mobile Backhaul. *1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity (5GU)*, 258–263. <https://doi.org/10.4108/icst.5gu.2014.258054>
- Coupland, S. (2007). Type-2 fuzzy sets: Geometric defuzzification and type-reduction. *Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence, FOCI 2007*, (Foci), 622–629. <https://doi.org/10.1109/FOCI.2007.371537>
- Coupland, S., & John, R. (2007). Geometric Type-1 and Type-2 Fuzzy Logic Systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(1), 3–15. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.889764>
- Da Silva, I., Mildh, G., Kaloxylos, A., Spapis, P., Buracchini, E., Trogolo, A., ... Bayer, N.

- (2016). Impact of network slicing on 5G Radio Access Networks. *EUCNC 2016 - European Conference on Networks and Communications*, 153–157. <https://doi.org/10.1109/EuCNC.2016.7561023>
- Demydov, I., Seliuchenko, M., Beshley, M., & Brych, M. (2015). Mobility management and vertical handover decision in an always best connected heterogeneous network. *Proceedings of 13th International Conference: The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2015*, 103–105. <https://doi.org/10.1109/CADSM.2015.7230808>
- Dimitar, R. (2006). *Introduction to Fuzzy Control and Modeling. Control Engineering*.
- Dotcenko, S., Vladyko, A., & Letenko, I. (2014). A Fuzzy Logic-Based Information Security Management for Software-Defined Networks. *Advanced Communication Technology (ICACT), 2014 16th International Conference on*, (February), 167–171. <https://doi.org/10.1109/ICACT.2014.6778942>
- Dubois, D., & Prade, H. (1997). The three semantics of fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 90(2), 141–150. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00080-8](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00080-8)
- Gerola, M., Doriguzzi Corin, R., Riggio, R., De Pellegrini, F., Salvadori, E., Woesner, H., ... Bergesio, L. (2013). Demonstrating inter-testbed network virtualization in OFELIA SDN experimental facility. *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 39–40.
- Gupta, A., & Jha, R. K. (2015). A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. *IEEE Access*, 3, 1206–1232. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2461602>
- Iovanna, P., & Ubaldi, F. (2015). SDN solutions for 5G transport networks. *2015 International Conference on Photonics in Switching, PS 2015*, 297–299. <https://doi.org/10.1109/PS.2015.7329032>
- Irnich, T., Kronander, J., Selen, Y., & Li, G. (2013). Spectrum sharing scenarios and resulting technical requirements for 5G systems. *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*, 127–132. <https://doi.org/10.1109/PIMRCW.2013.6707850>
- Jantzen, J. (1998). *Tutorial on fuzzy logic*.
- Kaloxylou, A., Barmounakis, S., Spapis, P., & Alonistioti, N. (n.d.). An efficient RAT selection mechanism for 5G cellular networks.
- Kreutz, D., Ramos, F. M. ., Verissimo, P. E., Rothenberg, C. E., Azodolmolky, S., & Uhlig, S. (2015). Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey. *Proceedings of the IEEE*, 103(1), 14–76. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2014.2371999>
- Ksentini, A., Baga, M., & Taleb, T. (2016). On using SDN in 5G: the controller placement problem. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2016.7842066>
- Mendel, J. M. (1995). Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3), 345–377. <https://doi.org/10.1109/5.364485>
- Mendel, J. M. (2007). Type-2 Fuzzy Sets and Systems: An Overview. *IEEE COMPUTATIONAL INTELLIGENCE MAGAZINE*, (February), 4–8. <https://doi.org/10.1007/s10979-011-9268-2>
- Mendel, J. M., & Liu, F. (2008). On New Quasi-Type-2 Fuzzy Logic Systems. *International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ 2008)*, 354–360. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1681901
- Mendel, J. M., & Wu, H. (2007). Type-2 fuzzistics for nonsymmetric interval type-2 fuzzy sets: Forward problems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(5), 916–930. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.889959>
- Mohandas, L., & Bhaskar, V. (2013). Performance analysis of mimo transmission modes in an lte system. *Chennai Fourth International Conference on Sustainable Energy and Intelligent Systems*, 1–6.
- Nguyen, T.-T., Bonnet, C., & Harri, J. (2016). SDN-based distributed mobility management

- for 5G Networks. *International Conference on Information Networking*, (Wcnc), 337–342. <https://doi.org/10.1109/ICOIN.2016.7427127>
- Olwal, T. O., Djouani, K., & Kurien, A. M. (2016). A Survey of Resource Management Toward 5G Radio Access Networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2550765>
- Peng, M., Wang, C., Li, J., Xiang, H., & Lau, V. (2015). Recent Advances in Underlay Heterogeneous Networks : Interference Control , Resource Allocation , and Self-Organization. *IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS*, 17(2), 700–729.
- Roy, R. H. (n.d.). Spatial Division Multiple Access Technology and Its Application t o Wireless Communication Systems.
- Sama, M. R., An, X., Wei, Q., & Beker, S. (2016). Reshaping the Mobile core network via function decomposition and network slicing for the 5G era. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops, WCNCW 2016*, 90–96. <https://doi.org/10.1109/WCNCW.2016.7552681>
- Sarmiento, S., Montero, R., Altabas, J. A., Izquierdo, D., Agraz, F., Pages, A., ... Lazaro, J. A. (2016). SDN-enabled flexible optical node designs and transceivers for sustainable metro-access networks convergence. *International Conference on Transparent Optical Networks, 2016*, 2–5. <https://doi.org/10.1109/ICTON.2016.7550659>
- Starczewski, J. T. (2006). A triangular type-2 fuzzy logic system. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1460–1467. <https://doi.org/10.1109/FUZZY.2006.1681901>
- Sun, C., Gao, X., Jin, S., Matthaiou, M., Ding, Z., & Xiao, C. (2015). Beam Division Multiple Access Transmission for Massive MIMO Communications. *IEEE Transactions on Communications*, 63(6), 2170–2184. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2015.2425882>
- Sun, S., Rong, B., Hu, R. Q., & Qian, Y. (2015). Spatial Domain Management and Massive MIMO Coordination in 5G SDN. *IEEE Access*, 3, 2238–2251. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2498609>
- Vilalta, R., Mayoral, A., Baranda, J., Nuñez, J., Casellas, R., Martínez, R., ... Muñoz, R. (2016). Hierarchical SDN Orchestration of Wireless and Optical Networks with E2E Provisioning and Recovery for Future 5G Networks. *Optical Fiber Communication Conference 2016*, 2–4.
- Wang, C. (2015). *A Study of Membership Functions on Mamdani-Type Fuzzy Inference System for Industrial Decision-Making*. Lehigh University.
- Werner, K., Furuskog, J., Riback, M., & Hagerman, B. (2010). Antenna configurations for 4x4 MIMO in LTE - Field measurements. *IEEE Vehicular Technology Conference*. <https://doi.org/10.1109/VETECS.2010.5493762>
- Wu, J., Liu, J., Huang, Z., & Zheng, S. (2015). Dynamic fuzzy Q-learning for handover parameters optimization in 5G multi-tier networks. *International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP 2015*. <https://doi.org/10.1109/WCSP.2015.7341220>
- Xia, W., Wen, Y., Foh, C. H., Niyato, D., & Xie, H. (2015). A survey on software-defined networking. *IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS*, 17(1), 115–124. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28430-9_9
- Xu, W., Pang, Y., Ma, J., Wang, S.-Y., Hao, G., Zeng, S., & Quian, Y.-H. (2008). FRAUD DETECTION IN TELECOMMUNICATION : A ROUGH FUZZY SET BASED APPROACH. *Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, (July), 1249–1253.
- Yamashita, S., Yamada, A., Nakatsugawa, K., Soumiya, T., Miyabe, M., & Katagiri, T. (2016). Extension of OpenFlow protocol to support optical transport network, and its implementation. *IEEE Conference on Standards for Communications and Networking, CSCN 2015*, 263–268. <https://doi.org/10.1109/CSCN.2015.7390455>

- Yazici, V., Kozat, U. C., & Sunay, M. O. (2014). A new control plane for 5G network architecture with a case study on unified handoff, mobility, and routing management. *IEEE Communications Magazine*, 52(11), 76–85. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6957146>
- Yoo, T. (2016). Network slicing architecture for 5G network. *International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, 1010–1014. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2016.7763354>
- Yosra JARRAYA, Souhir BOUAZIZ, Adel M. ALIMI, A. A. (2016). Evolutionary Hierarchical Fuzzy modeling of Interval Type-2 Beta Fuzzy Systems. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 3481–3486.
- Zhang, J., Xie, W., & Yang, F. (2015). An Architecture for 5G Mobile Network Based on SDN and NFV. *ICWMMN2015 Proceedings*, 87–92.



REVISTA CIENTÍFICA

Enfoque y alcance

La **Revista Científica** publica artículos científicos, revisados por pares, cubriendo todos los aspectos de la ingeniería y la educación científica. Nuestro objetivo es difundir investigaciones originales, útiles y relevantes que presenten nuevos conocimientos sobre aspectos teóricos o prácticos de las metodologías y métodos usados en ingeniería o conducentes a la mejora de la práctica profesional, así como también artículos originales sobre investigaciones en educación en física, química, biología, tecnología o ingeniería. Todas las conclusiones presentadas en los artículos deben estar basadas en el estado actual del conocimiento y soportadas por un análisis riguroso y una evaluación equilibrada.

Dadas las políticas de Colciencias y los índices internacionales, solo se publicará un 30% de artículos de miembros de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Alcance geográfico: Nacional e Internacional.

Índice de rechazo: 52 % 2016-2017

Proceso de evaluación por pares

Los artículos convocados para la Revista Científica del Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico CIDC de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, se someten a evaluación por parte de pares académicos, internos y externos, nacionales e internacionales, expertos en las temáticas, bajo la modalidad de doble ciego.

Fases del proceso de revisión por pares

Fase 1: El artículo es revisado por el editor, para verificar que cumple con las políticas de la revista y las normas para autores, los artículos que cumplen,

son revisados por el comité editorial para evaluar la calidad de los mismos y se seleccionan aquellos que son de investigación y revisión, para ser enviados a pares evaluadores.

Fase 2: Se envía el artículo a los pares evaluadores, quienes contarán con un tiempo máximo de un mes para enviar su dictamen de la obra.

Fase 3: Una vez enviado el dictamen por parte de los pares, se procede a reenviar las sugerencias a los autores, contarán con un tiempo aproximado de dos semanas para enviar las correcciones a partir de la fecha de envío.

Fase 4: Si las evaluaciones son positivas, el Comité Editorial decide la publicación del artículo. Por el contrario, si son negativas, se rechaza. En caso de un dictamen positivo y uno negativo, se envía a un tercer par y según su evaluación se tomará una decisión editorial.

Frecuencia de publicación

La **Revista Científica** tiene una periodicidad cuatrimestral. Se recibirán artículos por medio de 3 convocatorias al año y los números serán visibles el **primero de enero, primero de mayo y primero de septiembre.**

Política de acceso abierto

La revista edita sus contenidos bajo la modalidad de *Open Acces*, esta es una manera de difundir la producción académica, en la cual el acceso libre debe ser garantizado por la revista sin restricciones al momento de su publicación en línea.

Este movimiento Aboga por la supresión de barreras que limiten el acceso al fruto de la investigación como un bien universal al que todos tienen derecho, permitiendo a cualquier usuario leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o

usar con cualquier propósito legal, de manera gratuita sin ninguna barrera financiera, legal o técnica fuera de lo que es acceder a Internet con el fin de Proporcionar a los autores y a su obra un nuevo escenario, donde difundirla y darle mayor visibilidad e impacto. La única limitación en cuanto a reproducción, distribución y copyright será dar a los autores el control sobre la integridad de sus trabajos y el derecho de ser adecuadamente reconocidos y citados.

Misión

La misión de la **Revista Científica** es difundir artículos originales, de calidad técnica y científica elaborados por los miembros de la comunidad académica y profesional nacional e internacional, producto de proyectos de investigación en las áreas de las ciencias, las ingenierías y la educación científica, así como artículos de revisión y actualización, u otros trabajos que contribuyan al conocimiento y desarrollo del país.

Proceso Editorial

Todos los artículos serán sometidos a detección de plagio por medio del software Turnitin, cuando éste se detecte total o parcialmente, el texto no accederá al proceso editorial y se le notificará al autor.

Son criterios excluyentes para la aceptación de los documentos:

- El tema no corresponde al campo temático de la revista.
- No emplea el tipo de referencia y citación *American Psychological Association* (APA)
- No se envía el escrito en el soporte requerido (formato Microsoft Word).
- El autor(es) han publicado en el último año en la Revista Científica.
- El trabajo es enviado fuera de la convocatoria.
- No cumple con las normas para los autores.

Los artículos susceptibles de publicación pasarán a revisión por pares académicos, una vez estos emitan su apreciación, remitiremos las sugerencias al autor, quien deberá en un tiempo establecido por el Comité editorial, ajustar el manuscrito, o si es el caso, argumentar la no realización de los ajustes.

Proceso de arbitraje

- Una vez cerrada la convocatoria el Comité Editorial hace una primera revisión, después de la cual, **el trabajo puede ser rechazado sin evaluación** adicional sino cumple con las políticas de la revista o se acepta para la evaluación de los pares evaluadores. Por lo anterior, no se asegura a los autores la publicación inmediata de dicho artículo. **La decisión de rechazar un trabajo es definitiva e inapelable.**
- Los trabajos pueden ser rechazados en esta primera evaluación porque no cumplen con los requisitos de redacción, presentación, estructura o no son suficientemente originales y/o pertinentes con la publicación a editar.
- Los trabajos que son aceptados en esta primera etapa, inician la evaluación mediante el proceso de **“doble ciego”**, los artículos son enviados a los pares expertos en el área respectiva, cuyas identidades no serán conocidas por el autor y, a su vez, los pares evaluadores tampoco conocerán la(s) identidad(es) del(los) autor(es).
- En cuanto se reciben todos los resultados de las evaluaciones, el Comité Editorial se reúne y define la respuesta sobre el proceso de evaluación del artículo y comunica cualquiera de las siguientes respuestas:

Aceptado para publicación sin modificaciones: el artículo se publicará tal cual se ha recibido y solo se harán correcciones de ortografía y estilo.

Aceptado para publicación con correcciones menores: el trabajo será publicado una vez los autores realicen las correcciones menores sugeridas por los evaluadores. Estas serán revisadas por el

comité editorial, quienes decidirán si estas son aceptadas o no.

Rechazado: El artículo no se recomienda para publicación.

- Si el trabajo es aceptado, pero con la recomendación de hacer modificaciones, se le devolverá al (los) autor(es) junto con las recomendaciones de los árbitros para que preparen una nueva versión corregida para lo cual disponen del tiempo que le indique el Comité Editorial, en un plazo máximo de 15 días calendario.
- Los trabajos se reciben por convocatoria, los trabajos que lleguen una vez cerrada la convocatoria serán trasladados a la siguiente convocatoria y la revisión inicial se realizará una vez cerrada la siguiente convocatoria. Por lo tanto, se recomienda que ajuste sus envíos a las convocatorias.
- Los trabajos no publicados serán archivados como artículos rechazados.
- La Revista Científica trabaja en línea con las políticas definidas por Colciencias.

Guía para Evaluadores

Los artículos sometidos a ser publicados en la Revista Científica serán evaluados por dos pares expertos y anónimos. Cada evaluador deberá leer atentamente el manuscrito y emitir un informe justificado y argumentado entorno a la conveniencia o no de su publicación, incluyendo sugerencias y orientaciones para su mejora cuando sea.

Las dimensiones a tener en cuenta son las siguientes:

1. Claridad, relevancia y novedad del tema y del problema analizado.
2. Fundamentos (Marco teórico y antecedentes)
3. Metodología y análisis de datos.
4. Estructuración del discurso (argumentación, coherencia, hilo conductor)

5. Cumplimiento de las normas de la Revista (título, del resumen y de las palabras claves en español, inglés y portugués) <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/about/submissions#authorGuidelines>
6. Formato, presentación y extensión.
7. Otros que considere el par.

La evaluación concluirá con una de las siguientes decisiones:

- a) Publicar sin modificaciones; b) Publicar con modificaciones; c) No publicar.

A continuación, encontrará el formato de evaluación:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/11468>

Gracias por su colaboración
Comité Editorial

Ética y buenas prácticas de publicación

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, el Centro de Investigaciones Científicas CIDC y el Comité Editorial de la revista con el propósito de mantener la calidad científica y académica de las publicaciones, establece los siguientes principios éticos, promulgados por el *Committee on Publications Ethics-COPE*, así como por los estándares éticos y legales del Manual de Publicaciones de la *American Psychological Association (APA)* 6ta edición, estas buenas prácticas deben ser llevadas a cabo tanto por los autores, el Comité Editorial y la Institución.

Responsabilidades de los autores

En caso de ser necesario, el autor debe presentar en el artículo la información pertinente (organismos de financiación, afiliación institucional, participantes, etc.) que autoriza su publicación en repositorios u otras formas de almacenamiento.

Declarar la originalidad del manuscrito, hacer uso de la información como lo demanda los derechos de autor.

En caso de ser necesario, garantizar que los estudios realizados en humanos u otras especies cumplen con la normatividad nacional e internacional. Para tal fin, debe presentar la prueba de consentimiento informado.

Declarar cualquier posible conflicto de interés.

El autor debe advertir al Comité Editorial sobre cualquier error significativo en el artículo publicado para que sea subsanado mediante una *fe de erratas*, adenda, carta al editor o retiro de la publicación.

En caso de detectarse plagio, suplantación de información u omisión de la misma, el autor está obligado a retractarse públicamente y dependiendo de la gravedad de la falta, se estimará el retiro o corrección de la publicación.

Responsabilidad del Comité Editorial

El Comité Editorial de la Revista Científica actúa objetivamente en el desempeño de sus labores, evitando cualquier tipo de discriminación motivada por razones de género, sexo, religión, condición étnica o ubicación geográfica de los autores.

Establece procesos claros y transparentes para los casos de denuncia de tipo ético o de conflicto de interés. Todos los reclamos serán estudiados y se permitirá a los autores responder a ellos en un plazo razonable.

Asegura la confidencialidad de la información y de los procesos editoriales. Asimismo, evita publicar artículos que presenten las siguientes irregularidades:

- Conflicto de interés.

- No sean originales.
- Falsifiquen o adulteren la información.
- Publicación fragmentada.
- Con plagio o autoplagio.
- Exceso de autocitas y referencias no citadas.
- Las publicaciones de los miembros del Comité Editorial y el Comité Científico están restringidas.

Responsabilidad de la institución editora

El Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas velará por la ejecución de buenas prácticas éticas y editoriales en todas sus publicaciones.

Identificación de comportamiento no ético

Si se detecta una mala conducta ética, la denuncia debe estar apoyada en pruebas suficientes que permitan iniciar el proceso de investigación. Se debe seguir el debido proceso, así como mantener los criterios de confidencialidad de la información. El Comité Editorial de la Revista Científica finalizará el proceso con una decisión que será informada al autor o autores implicados y se tomarán las medidas pertinentes para la resolución del caso.

Las infracciones

Leves:

Las faltas menores serán tratadas directamente con el autor para que en un plazo establecido responda a las acusaciones.

Graves:

Las faltas graves pueden requerir algunas de las siguientes acciones:

- Informar sobre la mala conducta y tomar medidas para evitar errores futuros.

- Publicación de notificación formal detallando la mala conducta.
- Publicación editorial que detalla el comportamiento no ético.
- Carta formal al autor y a la institución financiadora.
- Retracción formal o retiro del artículo, previa información al autor, servicios de indexación y lectores de los motivos de la decisión.
- Informar sobre el caso y el resultado a una organización profesional o autoridad superior para una mayor investigación y acción.

Propiedad Intelectual

El (los) autor(es) al enviar su artículo a la Revista Científica certifica que su manuscrito no ha sido, ni será presentado ni publicado en ninguna otra revista científica. Al enviar el artículo acepta igualmente, que para su publicación transferirá los derechos a la revista, quien puede divulgarlo en versión impresa o electrónica.

Para tal fin se encuentra dispuesto el *Formato cesión de derechos de autor*, que debe ser enviado firmado por la totalidad de los autores y en formato PDF.

Publicación sin ánimo de lucro

Dentro de las políticas editoriales establecidas para la Revista Científica en ninguna etapa del proceso editorial se establecen costos, el envío de artículos, la edición, publicación y posterior descarga de los contenidos es de manera gratuita dado que la revista es una publicación académica sin ánimo de lucro.

Historia

La Revista fue creada en 1999 por Vicerrectoría de Investigación, Innovación, Creación, Extensión y Proyección Social, con la intencionalidad

de publicar artículos relacionados con los desarrollos científicos y tecnológicos.

Indexación

- Academic Journal Database
- DOAJ Directory of Open Access Journals
- EMERGING SOURCES CITATION INDEX- Thomson Reuters
- REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico)
- Actualidad Iberoamericana
- EBSCO Fuente Academica Premier Plus
- EBSCO Academic Search Premier
- LATINDEX
- PUBLINDEX
- ERIH PLUS
- (OAJI)
- WorldCat
- Journal TOCS
- Google metrics

Other indexes: find ejournal (Universidad de Chicago), ent (Universidad de Strasbourg), [Dialnet](#), [MIAR](#), [BASE](#), [NEBIS](#) (recherche Zürich), [Periodica](#), [Clase](#), [Google Scholar](#), [Sherpa/Romeo](#), [Dulcinea](#), [BIU Santé](#), [WILBERT](#) (Wildauer Bücher+E-Medien Recherche-Tool), [SUN-CAT](#), [JiFactor](#), [Scientific Indexing Services](#), [IIIF](#)

REVISTA CIENTÍFICA

Focus and Scope

The **Revista Científica** of the University Francisco José de Caldas, is sponsored by the Center for Research and Scientific Development, the journal publishes scientific papers, peer-reviewed, covering all aspects of engineering and natural science education. Our goal is to disseminate original, useful and relevant research to present new knowledge about theoretical and practical aspects of the methodologies used in natural sciences and engineering methods.

The **Revista Científica** is indexed and abstracted in PUBLINDEX category B (National System of Indexing Colombian Scientific Journals) in Latindex (Directory of Scientific Publications in Latin America). It is found in databases such as: e-revist @ s, Latin American News, DOAJ and Academic Journal Database (EBSCO), Periodica, Google Scholar, Fuente Academica Premier Plus.

Peer Review Process

All the articles will be subject to plagiarism detection through the software Turniting Detector. If there is any detection in all or part of the document, the text does not pass to editorial process and the author will be notified.

They following are the particular criteria for acceptance of the documents:

- The issue is not related to the subject area of the journal.
- It does not use the reference and citation by the American Psychological Association (APA)
- The article is not written in the required format (Microsoft Word).
- The author (s) has published in the last year in the journal.
- The article is sent out of the call due date.
- It does not meet standards for authors.

Articles that could be published will be submitted to evaluation by academic peers. Once they send their possible conclusions, we will forward those to the authors, who must deliver the article to the Editorial Board, including the suggested adjustments or the reasoning for avoiding them.

Finally, once contrasted the changes by the Editorial Board, the article is approved for publication and the author is notified about the number and the respective volume.

Publication Frequency

The Journal has three times a year periodicity the numbers circulate the months of January, May and December.

Open Access Policy

Non-profit publication

Within the editorial policies established for the journal, at any stage of the editorial process will be charges; sending articles, editing, publishing and subsequent submission of the contents are free, because the journal is a non-profit, academic publication.

Scope

The **Revista Científica** of the University Francisco José de Caldas, is sponsored by the Center for Research and Scientific Development, the journal publishes scientific papers, peer-reviewed, covering all aspects of engineering and natural science education. Our goal is to disseminate original, useful and relevant research to present new knowledge about theoretical and practical aspects of the methodologies used in natural sciences and engineering methods.

Readership

Engineering, science, technology and, science education researchers and science educators worldwide.

Referee Guidelines

The articles submitted to be published in the Scientific Journal will be evaluated by two expert and anonymous reviewers. Each evaluator should carefully read the manuscript and issue a justified and reasoned report on the appropriateness of publication, including suggestions and guidelines for improvement.

The dimensions to take into account are the following:

1. Clarity, relevance and novelty of the subject and the problem analyzed.
2. Foundations (Theoretical framework and antecedents)
3. Methodology and data analysis.
4. Structure of discourse (argumentation, coherence, guiding thread)
5. Compliance with the rules of the Journal (title, abstract and key words in Spanish, English and Portuguese) <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/about/submissions#AuthorGuidelines>.
6. Format, presentation and extension.
7. Others that consider the pair.

The evaluation will conclude with one of the following decisions:

- A. Publish without modification;
- B. Publish with modifications;
- C. Not to publish.
- D.

Below you will find the evaluation format <Http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/11468>

Thank you for your cooperation.

Editorial committee

Good practice and Ethical standards

With the purpose of maintaining the scientific and academic quality of publications, District University Francisco José de Caldas, the Scientific Research Center – CIDC, and the Editorial Board of the magazine, establishes the following ethical principles developed by the Committee on Publication Ethics-COPE, as well as the ethical and legal standards included in the APA's sixth edition publication guidelines. These good practices should be

carried out by the authors, the Editorial Board and the institution.

Authors Responsibilities

In case of necessary, the author should submit in the Article the relevant information (funding agencies, institutional affiliation, participants, etc.) authorizing its publication in repositories or other forms of storage.

Certification of the originality of the paper; make use of information as demanded by copyright.

In case of necessary, ensure that studies in humans or other species comply with national and international standards. To this end, provide proof of informed consent.

Declare any potential conflict of interest.

The author should report the Editorial Board on any significant error in the article to be corrected with the publication of an erratum, appendix, notice or correction.

In case of plagiarism, theft or omission of information, it is mandatory that the author retract publicly and depending on the seriousness of the offense, will be considered a removal or correction of the publication.

Editorial Board responsibilities

The Editorial Board of the journal acting objectively, without any sexual, religious discrimination, political, origin or ethics of the authors.

Follow proper procedures to resolve any ethical complaints or conflicts of interest. All the complaints will be subject of study and will allow the author response in a reasonable time.

Maintain the confidentiality of the data supplied and the editorial process. Also, to avoid

the publication of any article with the following irregularities:

- Conflict of interest.
- Not original articles.
- Falsification or erroneous data.
- Fragmented publication.
- Containing plagiarism or self-plagiarism.
- Excessive citation or references not cited.
- Publications of the Editorial Board and The Scientific Committee are restricted.

Editor responsibilities

The Scientific Research and Development Center and District University Francisco José de Caldas will ensure that ethical standards and good practices are fully implemented.

Identification of unethical behavior

If unethical behavior is detected, the complaint must be supported by sufficient evidence to initiate the investigation process. It must follow the due process and maintain the criteria for confidentiality of information. The Editorial Board of the journal may conclude the process with a decision that will be reported to the author involved in the situation, and the appropriate actions will be taken.

Severities of Unethical behavior

Misdemeanor: will be treated initially directly by the author in a limited period of time to answer.

Serious offense:

Serious offenses may require some of the following actions:

- Report the offense and take the steps to prevent future errors.
- Publication of formal notice detailing the unethical behavior.

- Editorial publication detailing the unethical behavior.
- Formal letter to the author and the entity supporting the research.
- Formal retraction or remove the article, having informed the author, indexing services and readers about the reasons for the decision.
- Report the case and the result to a professional organization or higher authority for further investigation and action.

Intellectual Property

The author (s) by submitting their article to the journal, certify that the paper has not been, and will be submitted or published in any other scientific journal. By submitting the article also accepts that he will transfer the rights to the journal for the publication, who can use it in printed or electronic version.

To this end, it is available the format: Transfer of copyright, which must be sent signed by all the authors and in PDF format.

Non-profit publication

Within the editorial policies established for the journal, at any stage of the editorial process will be charges; sending articles, editing, publishing and subsequent submission of the contents are free, because the journal is a non-profit, academic publication.

History

The magazine was created in 1999 by the Vice-Rector for Research, Innovation, Creation, Extension and Social Projection, with the intention of publishing articles related to scientific and technological development.

Indexing

- Academic Journal Database
- DOAJ Directory of Open Access Journals

- EMERGING SOURCES CITATION INDEX- Thomson Reuters
- REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico)
- Actualidad Iberoamericana
- EBSCO Fuente Academica Premier Plus
- EBSCO Academic Search Premier
- LATINDEX
- PUBLINDEX
- ERIH PLUS
- (OAJI)

- [WorldCat](#)
- [Journal TOCS](#)
- [Google metrics](#)

Other indexes: find ejournal (Universidad de Chicago), ent (Universidad de Strasbourg), [Dialnet](#), [MIAR](#), [BASE](#), [NEBIS](#) (recherche Zürich), [Periodica](#), [Clase](#), [Google Scholar](#), [Sherpa/Romeo](#), [Dulcinea](#), [BIU Santé](#), [WILBERT](#) (Wildauer Bücher+E-Medien Recherche-Tool), [SUN-CAT](#), [JiFactor](#), [Scientific Indexing Services](#), [IJIF](#)

Directrices para autores/as

Recepción de artículos

Los artículos presentados pueden ser de carácter teórico, técnico o de aplicación, deben ser producto de una investigación, una experiencia práctica de la profesión o revisión de un tema específico, relacionado con las ciencias naturales, la ingeniería, las matemáticas, las tecnologías y la educación científica, los cuales serán sometidos a un proceso de doble arbitraje ciego que evaluará la originalidad del texto, su desarrollo, la calidad de su argumentación y su relevancia. Los autores cuyos artículos sean publicados ceden los derechos a la Revista y al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y se hacen responsables de las opiniones y afirmaciones que en ellos contengan.

Envío de artículos: Los artículos deben ser enviados a través de plataforma OJS <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/about/submissions#onlineSubmissions>

Consideraciones para la preparación del artículo

El artículo enviado debe ser inédito (no sometido al mismo tiempo a ninguna otra revista). Los autores son responsables del contenido del documento. La autenticidad de la información incluyendo figuras, tablas y citas bibliográficas es responsabilidad completa del autor o de los autores.

Extensión: Los artículos tendrán una extensión máxima de 20 páginas incluyendo la bibliografía a **espacio 1,5** y letra Times Román 12 en formato Word.

Títulos: Sugerimos que los títulos no excedan de 15 palabras. Este debe incluir su traducción al inglés y al portugués.

Resumen: Debe mencionar el objetivo central del trabajo, metodología usada en la toma de datos, resultados más importantes y conclusiones. No debe exceder las 250 palabras y su correspondiente traducción al inglés y portugués.

Palabras claves: 5 a 7 palabras claves diferentes a las usadas en el título organizadas alfabéticamente, y su correspondiente traducción al inglés y portugués. Se recomienda el uso de tesauros específicos de acuerdo al tema del artículo. Ejemplos: The CAB thesaurus, base de Scielo.

Información de los autores: Todos los autores deben incluir sus nombres completos, la institución a la que pertenecen y el correo institucional. Ejemplo: Adriana Patricia Gallego Torres¹ Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá – Colombia. Contacto: adpgallegot@udistrital.edu.co

Gráficos y Tablas: Todas las ilustraciones incluyendo fotos, diagramas, mapas y gráficas, se clasifican como figuras, incluirlas dentro del texto con su respectiva fuente, deben ir debidamente numeradas y enviarlas en un archivo adjunto en formato. jpp ó .tiff con una resolución mínima de 300 dpi. Cite cada figura y tabla en el texto de acuerdo al orden de aparición.

Bibliografía: Es necesaria y se ubica al final de cada artículo. Va ordenada alfabéticamente por el apellido del autor, debe ir en normas APA recientes.

Agradecimientos al final del texto: indicar las fuentes de financiación y/o apoyos recibidos. Enviar la hoja de vida de sintetizada (máximo 2 páginas) de los autores.

Por políticas editoriales la Revista Científica NO acepta artículos de autores que previamente han publicado durante el periodo de medición de Publindex. Ni artículos enviados en la misma convocatoria.

Lista de comprobación para la preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

1. El artículo no ha sido publicado previamente, ni se ha presentado a otra revista simultáneamente.
2. El fichero enviado está en formato Open Office, Microsoft Word, RTF, o WordPerfect.
3. Se ha incluido la información completa de los autores, filiación institucional, país, correo electrónico institucional en el formulario web, NO en el archivo.
4. Las imágenes deben estar incluidas en el texto y enviadas por separado en alta resolución.
5. **Extensión:** Los artículos tendrán una extensión máxima de 20 páginas incluyendo la bibliografía a **espacio 1.5** y letra Times Román en formato Word.
6. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para [autoras/es](#), que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
7. El artículo está escrito a una sola columna e incluye el título, las palabras clave y el resumen traducido al inglés y portugués, utiliza normas APA.
8. Adjuntar cartas de [derecho autor](#) y de originalidad
9. Usted no ha publicado con nosotros en los últimos tres números.
10. **Si no cumple con alguno de los ítems su artículo será rechazado por el comité.**

Aviso de derechos de autor/a

El (los) autor(es) al enviar su artículo a la Revista Científica certifica que su manuscrito no ha sido, ni será presentado ni publicado en ninguna

otra revista científica. Al enviar el artículo acepta igualmente, que para su publicación transferirá los derechos a la revista, quien puede divulgarlo en versión impresa o electrónica.

Dentro de las políticas editoriales establecidas para la Revista Científica en ninguna etapa del proceso editorial se establecen costos, el envío de artículos, la edición, publicación y posterior descarga de los contenidos es de manera gratuita dado que la revista es una publicación académica sin ánimo de lucro.

Declaración de privacidad

La revista Científica se acoge a las disposiciones Hábeas Data en la Ley Estatutaria 1266 de 2008. Los nombres y direcciones de correo electrónico se usarán exclusivamente para los fines declarados por la revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

Author Guidelines

SUBMIT

Articles submitted for publication may be theoretical, technical and implementation nature, must be the result of research, practical experience of the profession or review of a specific topic related to the natural sciences, engineering, mathematics, technologies and science education, which will undergo a double-blind arbitration process that will assess the originality of the text, its development, the quality of its reasoning and its relevance. Authors whose articles are published grant the rights to the Journal and the Center for Research and Scientific Development at the University Francisco José de Caldas and responsible for the opinions and statements they contain are made.

Shipping Item: Items must be sent through OJS platform <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/about/submissions#onlineSubmissions>

CONSIDERATIONS FOR ARTICLE

The paper submitted must be original (not submitted simultaneously to any other journal). The authors are responsible for the content of the document. The authenticity of the information, including figures, tables and citations is complete responsibility of the author or authors. Extension: Items have a maximum length of 20 pages including references to space and 1.5 point Times Roman 12 in Word format.

Titles: We suggest that do not exceed 15 words. This should include a translation into English and Portuguese.

Abstract: You must mention the focus of the work methodology used in data collection, most important results and conclusions. Should not exceed 250 words and its translation into English and Portuguese.

Keywords: five to seven different from those used in the title keywords organized alphabetically, and its translation into English and Portuguese. The use of specific thesauri according to the subject of the article is recommended. Examples: The CAB thesaurus, base Scielo

Authors information: All authors should include their full names, the institution to which they belong and institutional mail

Graphs and Charts: All including photos, diagrams, maps and charts, illustrations are classified as figures in the text to include with their respective Fuente, must be properly numbered and sent in an attachment .jpp or .tiff format with a resolution minimum of 300 dpi. I cite each figure and table in the text according to order of appearance.

Bibliography: Required and is located at the end of each article. It is arranged alphabetically by author's last name, you must go in recent APA standards <http://www.apastyle.org/index.aspx>.

Acknowledgements must go to the end of the text and indicate the sources of funding and / or support received.

Send the resume synthesized (maximum 2 pages) of the authors.

For editorial policies Scientific journal does not accept articles from authors who have previously posted during the measurement period Publindex. Or items shipped in the same call.

Submit on line: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/index>

Submission Preparation Checklist

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

1. The article has not been previously published or submitted to another journal simultaneously.
2. The file is sent in Open Office, Microsoft Word, RTF, or WordPerfect format.
3. It is included all the necessary information on the authors, institutional affiliation, country, institutional email.
4. Articles should be no longer than 20 pages including references to space 1.5 and Times Roman font in Word format. Additionally, there should be included all images in the document and in individual files.
5. The text meets the style and bibliographic requirements outlined in the Author Guidelines which can be found in "About the Journal".

6. The article is written to a single column and includes the title, keywords and abstract translated into English and Portuguese and using APA standards.
7. The article is about a research or review and refers to the research project.
8. Attach letters of copyright (derecho autor) and originality.
9. Not having published with us in the last three numbers.
10. Failure to comply with any of the items your article will be rejected by the committee.

Copyright Notice

Authors Responsibilities

In case of necessary, the author should submit in the Article the relevant information (funding agencies, institutional affiliation, participants, etc.) authorizing its publication in repositories or other forms of storage.

Certification of the originality of the paper; make use of information as demanded by copyright.

In case of necessary, ensure that studies in humans or other species comply with national and international standards. To this end, provide proof of informed consent.

Declare any potential conflict of interest.

The author should report the Editorial Board on any significant error in the article to be corrected with the publication of an erratum, appendix, notice or correction.

In case of plagiarism, theft or omission of information, it is mandatory that the author retract publicly and depending on the seriousness of the offense, will be considered a removal or correction of the publication.

Privacy Statement

The Revista Científica runs under the general standards of the Habeas Data, contained in Statuary Law 1266 from 2008, for the management of information contained in the personal Databases.