



Uptc[®]

Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO



ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
DE ALTA CALIDAD
MULTICAMPUS
RESOLUCIÓN 3910 DE 2015 MEN / 6 AÑOS

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Sogamoso- Boyacá, Colombia
Julio - Diciembre 2019
Vol. 19 - No. 2



Ingeniería, Investigación y Desarrollo

Rector

Óscar Hernán Ramírez

Vicerrector Académico

Manuel Humberto Restrepo Domínguez

Vicerrector de Investigación y Extensión (VIE)

Enrique Vera López

Decano Facultad

Eduardo Avendaño Fernández

Director-Editor

Jorge Enrique Espíndola Díaz

Asistente Editorial

Giseth Alexandra López López

Corrector de Estilo

Giseth Alexandra López López

Diseño y diagramación

Vivian Espíndola Carvajal

Correspondencia Canje y Suscripciones a nombre de: Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo

UPTC Sogamoso-Boyacá, Colombia

Calle 4 Sur N° 15-134

Edificio Administrativo-Tercer Piso

Tel. (57+8) 770 5450 Ext. 2606

E-mail: revistaiid@uptc.edu.co

DOI: <http://dx.doi.org/10.19053/issn.1900-771X>

Los conceptos expresados en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen a la publicación.

ISSN 1900-771X e-ISSN 2422-4324

Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo

Comité Editorial y Científico

Ph.D. Pedro Fabián Cárdenas Herrera
Universidad Nacional de Colombia
Ph.D. Gabriel Peña Rodríguez
Universidad Francisco de Paula Santander- Ufps
MSc. Andrés Fernando Jiménez López
Universidad de los Llanos
Ph.D. Jorge Julián Moreno Rubio
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Ph.D. Juan María Menéndez Aguado
Universidad de Oviedo

Comité de Arbitraje

Ph.D. Alexander Pérez Ruiz
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
MSc. Francisco Javier Ibargüen Ocampo
Universidad del Quindío
MSc. Heiner Castro Gutiérrez
Universidad del Magdalena
MSc. Nelson Javier Escobar Mora
Universidad Pontificia Bolivariana
MSc. Luis Carlos Olmos Villalba
Institución Universitaria Pascual Bravo
Ph.D. Carlos Arturo Ávila
Universidad de los Andes
Ph.D. José Ignacio Marulanda Bernal
Universidad EAFIT
Ph.D. Jeison Marín Alfonso
Universidad Pontificia Bolivariana
MSc. Ramiro Alejandro Plazas Rosas
Universidad del Valle
Esp. Carlos Gabriel Correa Chaparro
Fundación Universidad de América
MSc. Christian Ricardo Zea Forero
Pontificia Universidad Javeriana
MSc. Andrés Fernando Jiménez López
Universidad de los Llanos
MSc. William Fernando Álvarez Castañeda
Universidad Santo Tomás
MSc. Oscar Oswaldo Rodríguez Díaz
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
MSc. Andrea Catalina Alvarado Fajardo
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
MSc. Edgar Absalón Torres Barahona
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
MSc. Luis Ariel Mesa Mesa
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia



TABLA DE CONTENIDO

EDITORIAL.....	4
IMPACT OF FREIGHT TRANSPORTATION ON CD. JUAREZ ENVIRONMENT AND REVIEW OF AERODYNAMIC DRAG REDUCTION DEVICES FOR HEAVY TRUCKS <i>Impacto del transporte de carga en el ambiente de Ciudad Juárez y revisión de dispositivos de reducción de carga aerodinámica para camiones pesados</i> Shehret Tilvaldyev, Uzziel Caldiño Herrera, José Omar Dávalos Ramírez, Manuel Alejandro Lira Martinez.....	5
CARACTERIZACIÓN DE CAPACIDADES LOGÍSTICAS EN ASOCIACIONES AGRÍCOLAS PRODUCTORAS DE FRESA EN LOS MUNICIPIOS DE SOACHA Y SIBATÉ <i>Characterization Of The Logistical Capacities In The Strawberry Producing Agricultural Associations In The Municipalities Of Soacha And Sibaté</i> Laura Nataly Barrera-Bello, Yuli Andrea Sandoval Cifuentes, Erika Giseth Gallego Pinzón, Arturo Yesid Córdoba Berrio, Carlos Eduardo Castro Mateus	13
METODOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS EN EL MEJORAMIENTO DE VÍAS TERCARIAS EN CUNDINAMARCA, COLOMBIA <i>Methodology for the mitigation of risks in the improvement of tertiary roads in Cundinamarca, Colombia</i> Juan Sebastián Sánchez Estrada	23
ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS APLICADAS A LA GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE EN COLOMBIA <i>Analysis of methodologies applied to risk management in software development projects in Colombia</i> Paola Andrea Arias Murcia, Roberto Ferro Escobar, Alexandra Abuchar Porras	29
DISEÑO DE UNA ESTACIÓN TERRENA SDR PARA SATÉLITES DE ÓRBITA BAJA <i>Design of a SDR ground station for Low-orbit satellites</i> Jaime Enrique Orduy Rodríguez, Iván Felipe Rodríguez Barón, Cristian Andrés Cubillos Chaparro	41
FASE EXPLORATORIA DE LA FORMULACIÓN DE UN MODELO DE RESPONSABILIDAD SOCIAL PARA LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA <i>Exploratory phase of formulation of a social responsibility model for the Universidad Militar Nueva Granada</i> Anny Astrid Espitia Cubillos, Sergio Raúl Quintero Rodríguez	50
REVISIÓN DEL DIAGNÓSTICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN EN CAMPOS PETROLEROS COLOMBIANOS <i>Review of the diagnosis of production water treatment in Colombian petroleum fields</i> Angie Tatiana Ortega Ramírez, Yurleni Fernanda Arcila, Laura Marcela Vargas Díaz	61

EDITORIAL

El segundo volumen de 2019, propuesto por la Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, adscrita a la Facultad Seccional Sogamoso de la UPTC, en esta ocasión publica varios artículos, gran parte de ellos, son resultado de investigación, producto del conocimiento adelantado por grupos y docentes-investigadores. Espacio dispuesto y nutrido con los aprendizajes ganados al servicio y difusión de las áreas del saber.

Las investigaciones que subyacen en este número, involucran al medio ambiente y el impacto que el ser humano ha hecho sobre el mismo, así también, buscan generar conciencia para su cuidado desde las diversas áreas del conocimiento. También deja esbozado la importancia de la tecnología desde el software y las estaciones terrenas. En este sentido, el primer artículo, contiene el cómo se dimensiona las emisiones de gas en ciudad de Juárez; El segundo, da cuenta de la dificultad que ha sido y viene siendo gestionar la logística agraria, en particular, en la producción de las fresas. El tercero, invita al lector a explorar una iniciativa de cómo mejorar las vías terciarias. El cuarto, analiza las metodologías útiles para la gestión de software. Por otro lado, el quinto, revisa el diseño de una estación terrena satelital. El sexto, deja ver la fase exploratoria de un modelo de responsabilidad social de una universidad colombiana y, el séptimo, ilustra el tratamiento de las aguas que son usadas para la producción de petróleo. Todos y cada uno de ellos variados, hilan y contribuyen a la generación de nuevos aprendizajes.

Esta edición se soporta desde el contenido digital, haciendo uso de las diversas tecnologías de la información, de esta manera, se rompen las brechas que se encuentran entre el trámite del impreso al medio digital. Desde allí, la investigación funge como medio universal del conocimiento, y se transforma a partir de las interacciones que se generan cada vez más, entre los trabajos realizados por los investigadores que publican e indagan para apoyar esta publicación.

Lo que significa entonces, que el ejercicio juicioso escritural al que llegan nuestros autores, se ve masificado al alcance que logra la Revista, en el número de lectores y las referenciaciones que se hacen al nuevo conocimiento. Por esta razón, la invitación asidua a cada uno de ustedes a publicar aquí, para que su conocimiento quede plasmado en este lugar.

Es así que, la Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, en su trasegar cuenta con más de 16 años de experiencia en la divulgación de trabajos académicos y de investigación en las áreas de ingeniería y tecnología. Su propósito es contribuir con la difusión de todos aquellos trabajos hechos en la Facultad Seccional Sogamoso, así también, en los diferentes ámbitos académicos, nacionales e internacionales. Es nuestro deseo continuar con la promoción de este espacio en el que son escuchadas las voces de nuestros autores investigadores, semilleros y grupos de investigación. Comedidamente les invitamos a abordar los textos que se proponen para esta edición, aseguramos, les será de utilidad en el enriquecimiento de sus saberes individuales y comunitarios.

Jorge Enrique Espíndola Díaz, PhD.
Editor

IMPACT OF FREIGHT TRANSPORTATION ON CD. JUÁREZ ENVIRONMENT AND REVIEW OF AERODYNAMIC DRAG REDUCTION DEVICES FOR HEAVY TRUCKS

Impacto del transporte de carga en el ambiente de Ciudad Juárez y revisión de dispositivos de reducción de carga aerodinámica para camiones pesados

Shehret Tilvaldyev¹, Uzziel Caldiño Herrera²,

José Omar Dávalos Ramírez³, Manuel Alejandro Lira Martínez⁴.

¹⁻⁴Aeronautics Department, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Mexico,

Email: ¹shehret@uacj.mx, ²uzziel.caldino@uacj.mx, ³jose.davalos@uacj.mx,

⁴manuel.lira@uacj.mx.

(Recibido Febrero 20 de 2020 y aceptado Marzo 20 de 2020)

Resumen

En la actualidad, el estudio de como disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero de todos los sectores, incluido el transporte es muy importante. El propósito de este trabajo es estudiar el impacto ambiental del transporte de carga en Cd. Juárez y revisar los dispositivos de reducción de arrastre aerodinámico para camiones pesados para tener un mayor entendimiento de que tecnologías o prácticas pueden ser implementadas en el transporte de carga para reducir el arrastre aerodinámico sin afectar el desempeño de los vehículos.

Palabras clave: arrastre aerodinámico, dispositivos de reducción de arrastre, impacto ambiental, camiones de carga.

Abstract

Nowadays studying the ways in which greenhouse gas emissions may be reduced from all sectors of human been activities, including the transportation sector, became extremely important. The purpose of this investigation is study environmental impact of freight transportation in cd. Juarez area and review of aerodynamic drag reduction devices for heavy trucks to better understand what technologies or practices can be applied to highway tractor and trailer combinations to reduce aerodynamic drag without negatively affecting the usefulness or profitability of the vehicles.

Key words: aerodynamics drag, drag redaction devices, environmental impact, heavy tracks.

1. INTRODUCCIÓN

The total aerodynamic drag, depending on air viscosity (skin friction) and forms of heavy vehicles (wave and interference drag) is an irreparable loss of energy and solving of problems of reducing the total aerodynamic drag is one of the most efficient way to improve fuel consumption and to reduce emissions of heavy vehicles. Some modern technics and technologies have very high potential to reduce total drag, but the uptake is generally slowly due to requirements to return of investments,

sooner. Therefore, any activities to reduce fuel consumption and emissions of heavy vehicles provide net benefits, but becoming stressful social and engineering factors.

Aerodynamics of road vehicles is a complex discipline and many specific topics beyond the scope of this research. However, some facts related to transportation Industries, especially for heavy trucks, are presented. In general aerodynamics deals with airflow around (external flow) and through (internal flow) the solid object. Analysis of heavy vehicles aerodynamics includes

investigation of any impact on performance of heavy truck (I), its handling (II), safety (III), and comfort (IV). This research investigated only negative influence of aerodynamic drag on performance of the vehicle as a critical issue, and its effect on fuel consumption.

Heavy vehicle's engine transforming fuel energy to the engine power output, that contributing to the five main factors, shown on Table 1: Transmission, Inertia and Braking, Rolling Resistance, Supplemental Loads, and Aerodynamic Drag. Data used in Table 1 adapted from [1]. Depending on the driving environment of the vehicle (e.g. driving in city at low speed and frequently stops, or highway traffic at a constant and high speed), the contribution of the power output to these five factors varies proportionally the other, as shown in table 1. For example, in urban environments, power dissipates due to acceleration and deceleration of the vehicle; losses prevail while on the highway aerodynamic losses are dominant. Light hybrid vehicles with energy recovery systems are potentially a good solution to reduce fuel consumption in urban environments. For the environment in which most commercial goods are transported, whose aerodynamic losses disperse and cannot be recovered is the main source of energy and fuel consumption. Aerodynamic loss reduction is a significant area in which can improve fuel consumption.

Table 1. Tractor-trailer's Engine power output balance

Main Factors	City %	Highway %
Transmission	10-15	10-15
Inertia and Braking	35-50	0-5
Rolling Resistance	20-30	30-40
Supplemental Loads	15-20	2-10
Aerodynamic Drag	10-25	35-55

The percentage of power output balance for each of the five factors varies depending on the speed and type of the vehicle, since the any of effects of aerodynamics is individual. The contribution to fuel

combustion due to internal losses is usually modeled as constant, and part of the acceleration / deceleration / slope can be modeled by driving environment.

It is good known that aerodynamic drag is a force resisting the movement of a solid object, and varies with the square of the relative air speed (Fig.1). Data for the graph obtained from laboratory experiments on Subsonic Wind Tunnel.

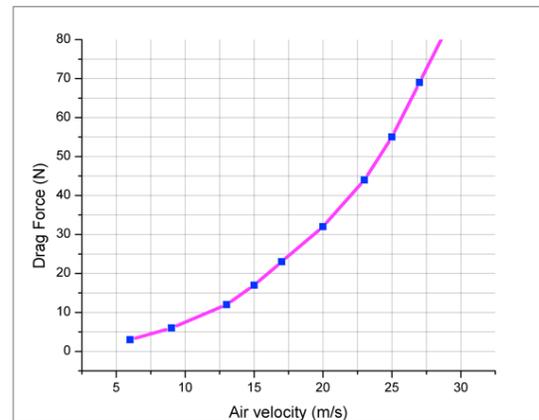


Figure 1. Variation of Drag according to Airspeed around the Tractor-trailer.

Relative air speed (U_{∞}) is speed between the vehicle and ambient air. When the vehicle moves in still air, doubling the speed of the vehicle will increase magnitude of the aerodynamic drag about four times. In the presence of earthly winds that not in accordance with the movement of the vehicle, transverse winds create a non-zero yaw angle of the wind relative to the direction of movement of the vehicle. For heavy trucks, the drag coefficient increases significantly with the yaw angle.

The drag force on a vehicle can be calculated as follows:

$$FD = 0.5 \rho (U_{\infty})^2 CD(\psi_{\infty})A \quad (1)$$

Where:

FD is the Drag force;

ρ is the density of the ambient air;

U_{∞} is the air speed of the object (speed relative to the surrounding air);

ψ_{∞} is yaw-angle of the air-flow relative to the vehicle motion;

C_D is drag coefficient;

A is the front area of the vehicle.

In general, mechanical losses in the system linearly depend on the speed of the vehicle. At a speed of 53 km / h the power required to overcome mechanical resistance is approximately double that required for overcome aerodynamic drag. At a speed, increased up to 80 km / h, is needed power to overcome aerodynamic drag, and at speeds over 80 km/h aerodynamic losses dominate.

In Table 2 illustrated the contribution of Aerodynamics Drag and Rolling Resistance to fuel consumption at different range of constant speeds and equal other options (i.e., without acceleration, properly inflated tires, etc.). Data for Table 2 adapted from (2).

Table 2. Contribution of Aerodynamics Drag and Rolling Resistance to fuel consumption at different range of constant speeds of Heavy Trucks

Vehicle Speed, km/h	Aerodynamic Drag, %	Rolling Resistance, %
32	28	72
53	33	66
64	36	64
80	50	50
96	62	38
105	67	33
113	70	30

Since aerodynamic drag is one of the sources of fuel consumption, it is important to understand its affects on total fuel consumption. At a speed of 80 km / h, a decrease in resistance of 20% will contribute to reduction in fuel consumption by about 10%. Consequently, reduction in fuel consumption will reduce contamination of the air by

reducing the amount of pollutant elements, which is very stressful environmental, political and social factor everywhere, and especially for the Municipalities as Juárez, Mexico.

2. ENVIRONMENTAL IMPACT OF FREIGHT TRANSPORTATION IN MUNICIPALITY OF JUAREZ

The Municipality of Juárez is located in northern Mexico in the State of Chihuahua. The Municipality of Juárez occupies 1.4% of the territorial extension of the State, and is located 1,120 meters above the average sea level. Demographically, Juárez is the most populous municipality in the state with 1,332,131 inhabitants (2010), or 38.8% of the population of the State of Chihuahua. This results in a high economic activity for which it is necessary to supply the city with raw materials, food and consumables. In addition, to its strategic geographical position adjacent to the State of Texas in the United States of America, Ciudad Juárez has positioned itself as one of the national border municipal entities, which has a high demand for the exchange of materials and goods, so the Cargo truck transit in this region of Paso del Norte is one of the main economic activities in the municipality.

According to the Technological Administration of Innovation and Research (RITA), in the years 2011 to 2013, they crossed an average of more than 725,000 cargo vehicles per year (to the north) through the two border crossings located in the urban spot of Ciudad Juárez (border crossing of Córdoba - Las Américas and border crossing Zaragoza - Ysleta). Additionally, the number of crosses from the US and with destination to Mexico (which in the absence of official data) it is estimated that it ranges between 80% and 100% of travel cargo vehicles to the US from Mexico. Given these circumstances, it can be assumed that the number of border cargo crossings in both directions of more than 1,200,000 annually [1]. All this has caused the current situation in which cargo vehicles circulate without any control through the streets of the city, which in many cases are not prepared for the circulation of this type of transport. This translates into various negative impacts

such as: (i) increased traffic jam; (ii) premature degradation of infrastructure, (iii) deterioration of air quality; (iv) increase of noise levels; among others.

Below, Figure 2 and Figure 3 shows the traffic types and volumes of cargo vehicles crossings to the US along the Córdoba-Las Americas and Zaragoza-Ysleta border.

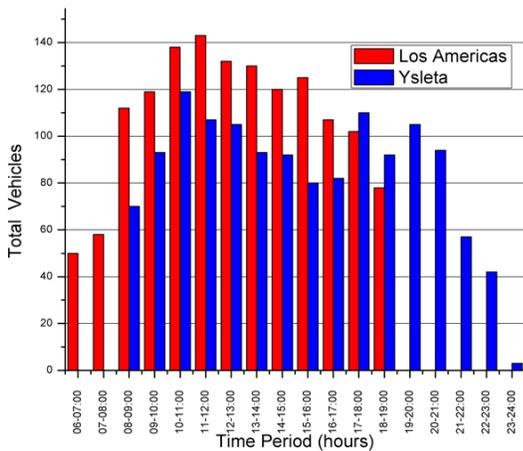


Figure 2. Traffic of Cargo Vehicles using Córdoba - Las Américas and Zaragoza - Ysleta de México bridges to the US.

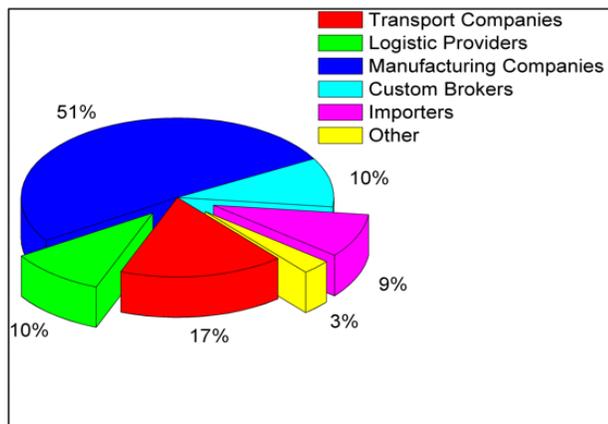


Figure 3. Entity that Determines the Cross-Border Route of Freight Transport.

Geographical location of intersections traffic lights on primary roads of Ciudad Juárez shown on Figure 4, and

Heavy trucks border crossing statistics (1995-2018), and expectation (2019-2030) presented on Figure 5 below.

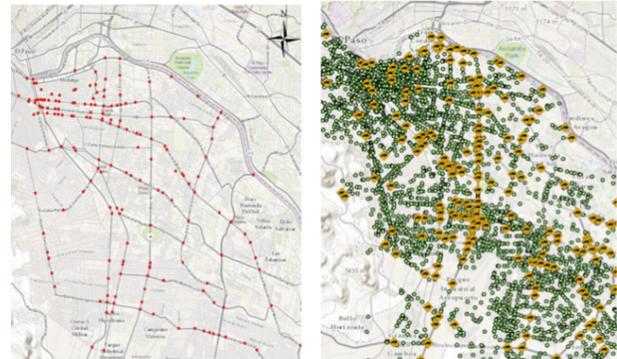


Figure 4. Geographical location of intersection traffic lights (Red) on primary roads in Ciudad Juárez and an Accident Locations (Cars – green, Heavy Trucks – yellow)

Ciudad Juárez is the 3rd most polluted city in the country, and heavy trucks are responsible for 80% of emissions to the environment. As a key part of the analysis carried out the emissions of freight transport were estimated, and the year 2015 was determined as a baseline.

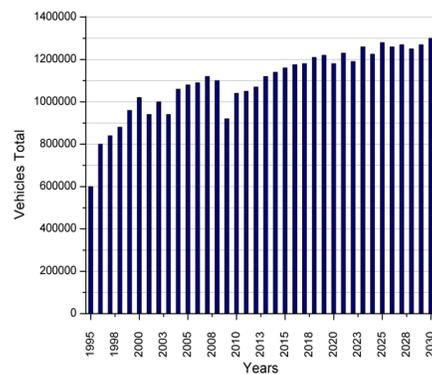


Figure 5. Heavy trucks border crossing statistics (1995-2018), and expecting (2019-2030) (Data from [1])

The results are shown below on Figure 6, where six atmospheric pollutants were estimated for this purpose: volatile organic compounds (VOCs), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx), carbon dioxide (CO₂), sulfur dioxide (SO₂) and particles smaller than 10 microns (PM₁₀). All estimate was completed for the time period

2015 to 2030 and considering the changes in the vehicle fleet and the environmental conditions prospected.

Variation of the pollutants with respect to the base year shows that the contribution is increased by more than 30%, only in the case of SO₂, CO₂ and NO_x is smaller and ranges between 10% and 15%, it can be seen that freight transport reflects an important contribution situation, compared to private cars that, although they contribute, is not representative to consider within the study.

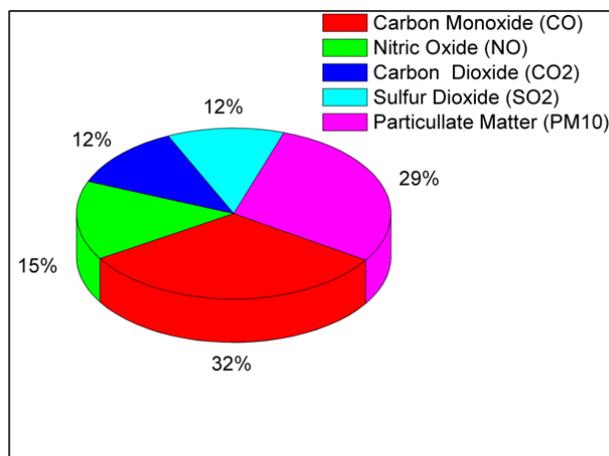


Figure 6. Variations of the contaminating environment pollutants from heavy trucks in Juarez area.

3. HEAVY TRACKS DRAG REDUCTION DEVICES

Nowadays, there are a large number of devices to reduce the air drag of heavy trucks and technologies in use and in development. Many of them have been extensively studied, with the performance benefits well documented in the research press. They include roof deflectors, cab side extensions, tail trailers and trailer side skirts. There are following important areas for improvement of the aerodynamics of tractor-trailers under the freeway conditions:

- Vehicle streamlining
- Air flow control:
about the gap between tractor and trailer; under the trailer; at the rear (end) of the trailer.

Considering of some previous and recent technologies, it is predicted [2] that above-mentioned improvements can lower fuel consumption of heavy trucks up to 15% in the period of last five years.

The drag reduction technologies can be divided into two main categories; those mounted on the tractor and those mounted on the trailer. As stated Leuschen, Cooper [3] et al., there are three to four times as many trailers in operation, as there are tractors. Like the vast majority of additional drag reduction devices usually installed on a trailer, the industry is reluctant to use additional devices, because there are some distinctions between tractor owners (and operators) and trailer owners. Because of increasing trailer's purchase costs, there is little motivation of trailer manufacturers for adoption these devices improving aerodynamics. The payback time period of attachments will be much shorter for devices on a trailer, which will affect the speed of implementation of such technologies in transport industry. Therefore, tractor devices and technologies are likely to be adopted earlier.

When evaluating potential fuel economy on trailers, it's important to understand the context in which any measurements or evaluations have been made. Results, especially those based on road tests may be biased depending on conditions the vehicle and the environment in which they were tested.

Most of the previous researches were complete on very specific options of tractor-trailers combinations. The recent researches study the most common commercially available resistance reduction devices on various combinations of tractor-trailer units. In particular, there are few studies of negative effects that may occur due to cab roof fairings and side extensions when used with certain combinations of trailers [4]. Most recent second-generation research technologies typically perform drag reduction or fuel economy assessments using streamlined form of a new generation tractor. Truckers often prefer older boxing style tractors with many appendages, lights and without air deflectors.

As noted above, four critical areas are identified for applying resistance reduction technologies. Initially, a general list of concepts was developed based on several references [2], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14] [15] that identify technologies and devices that can be the potential for reducing the drag of a tractor with a trailer is estimated.

A. Tractor streamlining

For the past three decades, tractor optimization by manufacturers is a motivation force in the development of tractors. Also, any fuel crisis contributed to the development and subsequent market launch of tractors in the next 10-20 years after crisis. As a result, all manufacturers have models of aerial tractors that have been designed with fuel economy in mind, compare to classic tractors with square caps, flat bumpers and large external details such as air filters and exhaust pipes. Streamlined models of tractors significantly decrease aerodynamic drag, compared with the classic style, by about 30% [5]. Rounding the front surfaces, using roof air deflectors and the use of fairings above the fuel tanks between the steering axle and driving bridges mainly achieve this improvement.

Current efforts to gradually reduce tractor resistance are directed to bumper sections, the underbody and gap between tractor and trailer.

B. Air flow control around the gap of the tractor and trailer

The area immediately behind the tractor and in front of the trailer is defined as a gap between tractor and trailer (Fig. 7).

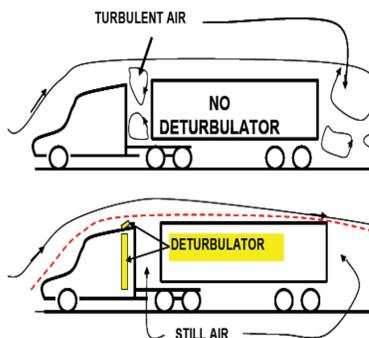


Figure 7. Aerodynamic condition over the gap between tractor and trailer without (up) and with (down) drag reducing devices [18]

The flow behavior in this gap area directly affects pressure in this part of tractor-trailer combination, and significantly increasing the overall (total) drag onto the vehicle [16]. This is the dominant region for which an assessment of wind resistance is required to determine the benefits of drag reducing devices.

To minimize the effect of gap on drag, a complete seal of the clearance will eliminate contribution under crosswind condition. However, due to operational requirements minimum clearance of the gaps between tractor and trailer is required for maneuvering at loading and unloading facilities. Typical these gaps are in range of about 1.0 meter. In [13] was presented that the gap begins to induce significant negative effect on the resistance of the track when it is greater than 0.45 m, and the drag increases by 2% for every additional 0.25 m. Study by Landman et al. [13] suggested that with the complete elimination of the gap issue, savings will be about 6% for a typical tractor-trailer. This will be approximately 3% improvement in fuel consumption at 98 km / h (60 mph), as shown in Figure 8.

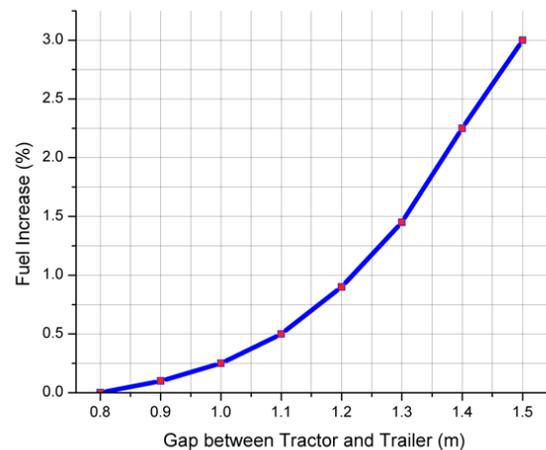


Figure 8. Increase of fuel consumption versus Gap between Tractor and Trailer (Data from 15)

There are two main types of devices designed to reduce drag in the gap between tractor and trailer. These are tractor side extensions and devices in the gaps.

Side extensions mounted on the tractor extend the rear edge of the cab to prevent flow air to the gap area. The gap splitter (large vertical plate) is a technique often used for trailers. A tractor mounted gap splitter will behave similarly while minimizing implementation costs.

The final technique to reduce the drag associated with the gap between the tractor and trailer is to reduce this gap, but this method is limited by the operational requirements of the minimum clearance.

C. *Airflow control under the trailer*

Like the gap between the tractor and the trailer, an open area under the trailer provides greater drag resistance under crosswind condition. It is important to mention too, that the most efficient way to minimize the air drag under the trailer is to prevent air from entering. Mercedes presented a concept trailer, providing an 18% reduction in total air drag for European combination of tractor-trailer [17]. Trailer uses air dams, trim panels, side skirts, boat fairings and tail to reduce overall vehicle air drag. The concept is a complete package and does not consist of separate addition components.

D. *Airflow control at the rear of the trailer*

The trailer's underneath is one of the most significant sources of air drag for tractor-trailers combinations. Lower pressure on the front surface of the trailer due to the gap between tractor and trailer, combined with higher air pressure on the front side of the tractor induces and generates aerodynamic force vectoring down.

The pressure difference from high in front to low in back is the main source of air drag for the most tractor-trailer combinations. An increase air pressure in some region of tractor-trailer will equilibrate pressure differential and decrease vehicle total air resistance. Thus, many drag reduction technologies for the trailer are aimed at increasing

this backpressure.

3. CONCLUSION

Since aerodynamic drag is one of the sources of fuel consumption, it is important to understand its effects on total fuel consumption. At a speed of 80 km / h, a decrease in resistance of 20% will contribute to reduction in fuel consumption by about 10%. Consequently, reduction in fuel consumption will reduce contamination of the air by reducing the amount of pollutant elements, which is very stressful environmental, political and social factors.

It was shown that the gap between tractor and trailer begins to have a significant effect on the resistance of the vehicle after it greater than about 0.45 m, while the resistance increases by about 2% for every 0.25 m a gap beyond approximately 0.75 m. Studies have shown that, completely addressing the gap problem saves about 6% on a conventional tractor with a trailer. This will be a roughly 3% improvement in fuel consumption at 98 km / h (60 mph).

Side skirts are preventing air from entering the area under the trailer. Nowadays, these technics have been widely adopted and maybe seen on many tractor-trailers' combinations. The reduction of fuel consumption of 3-7% has been reported for this technic.

It was also shown that the side underbody boxes reduce drag by 10-15% and can be used to store equipment that is usually attached to the outside of the tractor or bottom of the trailer. Boxes under the bottom can also be used instead of traditional side guards. However, they increase the weight of the trailer and can also affect the angle of break over as trailers drive through railroad tracks and other obstacles.

Aero-tractor models provide reduction aerodynamic drag, compared with the classic style, on about 30%. This is achieved mainly due to rounding of the front surfaces, using roof air deflectors and the use of fuel tank fairings

between the steering axle and driving bridges.

REFERENCES

- [1] Technological Administration of Innovation and Research (RITA) <https://www.transportation.gov/research-technology>
- [2] National Academy of Sciences (NAS). 2010. Technologies and Approaches to Reducing the Fuel Consumption of Medium- and Heavy-Duty Vehicles. Committee to Assess Fuel Economy Technologies for Medium- and Heavy-Duty Vehicles. The National Academic Press.
- [3] J. Leuschen and K.R. Cooper, Full-Scale Wind Tunnel Tests of Production and Prototype, Second-Generation Aerodynamic Drag-Reducing Devices for Tractor-Trailers, 06CV-222, SAE International, 2006.
- [4] H. Martini, B. Bergqvist, L. Hjelm and L. Löfdahl, Aerodynamic Effects of Roof Deflector and Cab Side Extenders for Truck-Trailer Combinations, 2011-01-2284, SAE International, 2011.
- [5] Cooper, K. R. 2004. Commercial Vehicle Aerodynamic Drag Reduction: Historical Perspectives as a Guide. In *The Aerodynamics of Heavy Vehicles: Trucks, Buses, and Trains* (McCallen, R., Browand, F., and Ross, J., eds.) pp. 9-28, Springer, New York.
- [6] Leuschen, J., Cooper, K. R. 2006. Full-Scale Wind Tunnel Tests of Production and Prototype, Second-Generation Aerodynamic Drag-Reducing Devices for Tractor-Trailers. SAE Paper No. 2006-01-3456.
- [7] Leuschen, J., Cooper, K. R. 2006. Summary of Full-Scale Wind Tunnel Tests of Aerodynamic Drag-Reducing Devices for Tractor-Trailers. Lake Tahoe.
- [8] Salari, K. 2011. DOE's Effort to Reduce Truck Aerodynamic Drag through Joint Experiments and Computations - DOE Annual Merit Review, Project ID # VSS006 May 9-13, 2011 (Presentation). Document found at http://www1.eere.energy.gov/vehicle-and-fuels/pdfs/merit_review_2011/veh_sys_sim/vss006_salari_2011_o.pdf. Accessed January 2012.
- [9] Platform for Aerodynamic Road Transport, found at <http://www.part20.eu/en/> Accessed January 2012.
- [10] Salari, K. Ortega, J. 2010. Aerodynamic Design Criteria for Class 8 Heavy Vehicles Trailer Base Devices to Attain Optimum Performance. Lawrence Livermore National Laboratory Report No. LLNL-TR-464265.
- [11] Patten, J; Poole G; Mayda, W; Trailer Boat Tail Aerodynamic and Collision Study; NRC-CSTT; CSTT-HVC-TR-169; March 2010.
- [12] Sinha, S. K. 2008. Improving Fuel Efficiency of Tractor Trailer Trucks with Deturbulator Aero-Drag Reduction. SAE Paper No. 2008-01-2602.
- [13] Landman, D., Wood, R., Seay, W., Bledsoe, J. 2009. Understanding Practical Limits to Heavy Truck Drag Reduction. SAE Paper No. 2009-01-2890.
- [14] System Drag Reduction (SDR). Road Tech for Saving and Ecology. Document found at <http://sdr-sys.com/archivos/Presentation.SDR-2010-2011.pdf> Accessed
- [15] L. Hjelm and B. Bergqvist, European Truck Aerodynamics – A Comparison Between Conventional and CoE Truck Aerodynamics and a Look into Future Trends and Possibilities, *The Aerodynamics of Heavy Vehicles II: Trucks, Buses, and Trains*, Volume 41, 2009.
- [16] P. Castellucci and K. Salari, Computational Simulation of Tractor-Trailer Gap Flow with Drag-Reducing Aerodynamic Devices, 2005-01-3625, SAE International, 2005.
- [17] Daimler, 2011. Aero trailer design study from Mercedes-Benz: drastically cutting wind resistance and fuel consumption of semitrailer tractors. Found at <http://media.daimler.com/deepink?cci=2095425> Accessed January 2012.
- [18] S.K. Sinha, Improving Fuel Efficiency of Tractor Trailer Trucks with Deturbulator Aero-Drag Reduction, 2008-01-2602, SAE International, 2008

CARACTERIZACIÓN DE CAPACIDADES LOGÍSTICAS EN ASOCIACIONES AGRÍCOLAS PRODUCTORAS DE FRESA EN LOS MUNICIPIOS DE SOACHA Y SIBATÉ

Characterization of the logistical capacities in the strawberry producing agricultural associations In the municipalities of Soacha and Sibaté

Laura Nataly Barrera Bello¹, Yuli Andrea Sandoval Cifuentes²,

Erika Giseth Gallego Pinzón³, Arturo Yesid Córdoba Berrio⁴, Carlos Eduardo Castro Mateus⁵

¹Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación SEPRO, Colombia.

²⁻³Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación GIPIA, Colombia,

Email: ¹lbarrerab@unal.edu.co, ²yandreasandoval@ucundinamarca.edu.co,

³eggalleo@ucundinamarca.edu.co, ⁴acordobab@ucundinamarca.edu.co,

⁵ceduardocastro@ucundinamarca.edu.co

(Recibido Junio 15 de 2019 y aceptado Febrero 10 de 2020)

Resumen

La logística agropecuaria en Colombia enfrenta grandes retos, debido, entre otros factores, a la poca inversión recibida, al alto grado de intermediación en la cadena de suministro, lo cual causa una disminución en la cantidad monetaria percibida por los productores y un elevado precio pagado por el consumidor final, y a factores como la baja asociatividad, sumado a la poca organización y falta de capacidades de las asociaciones existentes. Dentro de dichas capacidades, se encuentra la asistencia técnica que requieren los asociados y los apoyos para la comercialización de sus productos. Al no contar con las capacidades necesarias, se generan pérdidas en los productores, al no recibir la remuneración adecuada por sus cosechas. Esto desincentiva la producción y deteriora la calidad de vida de los campesinos. Por lo anterior, se propone realizar un análisis para fortalecer las capacidades logísticas de asociaciones productoras de fresa, desde dos enfoques. El primero hace referencia a las capacidades físicas, orientadas a medios como el transporte, las instalaciones y los medios tecnológicos de información y de trazabilidad. El segundo contempla las capacidades en forma de modos logísticos, abarcando tres procesos fundamentales: aprovisionamiento, almacenamiento e inventarios, y distribución. Para el análisis de esta situación, se establece como foco de estudio a los productores de fresa pertenecientes a asociaciones agrícolas de los municipios de Soacha y Sibaté, principales productores de este fruto a nivel nacional. La metodología de estudio se desarrollará desde un enfoque pragmático, con el uso de estrategias de carácter mixto, mediante encuestas y entrevistas semiestructuradas como instrumentos de recolección de información primaria.

Palabras clave: asociatividad, cadenas de suministro agrícolas, capacidades logísticas, logística agropecuaria.

Abstract

Agricultural logistics in Colombia faces great challenges, due, among other factors, to the low investment in the sector, the high level of intermediation in the agri-food supply chain, which causes a decrease in the monetary amount received by producers and a high price paid by the final consumer, and to factors such as low associativity, added to the poor organization and lack of capacities or capabilities of the existing associations. Within these capacities is the technical assistance required by the associates and the means for the commercialization of their products. They are not having the necessary capacities, for this reason, losses are generated in producers, as they do not receive adequate remuneration for their crops. This discourages production and impairs the quality of life of farmers. Therefore, it is proposed to carry out an analysis to

strengthen the logistics capacities and capabilities of strawberry producing associations, from two approaches. The first one refers to physical capacities, oriented to means such as transportation, facilities and technological means of information and traceability. The second one includes capabilities in the form of logistics modes, encompassing three fundamental processes: provisioning, storage and inventory, and distribution. For the analysis of this situation, strawberry producers belonging to agricultural associations in the municipalities of Soacha and Sibaté, the main producers of this fruit at the national level, are established as a study focus. The study methodology will be developed from a pragmatic approach, with the use of mixed strategies, through surveys and semi-structured interviews as instruments for collecting primary information.

Key words: *associativity, agri-food supply chains, logistics capabilities, agricultural logistics.*

1. INTRODUCCIÓN

Las asociaciones de productores agrícolas representan una parte muy importante de las cadenas de suministro agrícolas, ya que buscan unir un grupo de campesinos cultivando el mismo tipo de producto, con el fin de mejorar sus condiciones, agrupar sus cosechas y organizarse para tener más poder en el mercado. Todo esto tiene impactos positivos en las cadenas de suministro y puede llegar a disminuir las pérdidas y generar mayor competitividad.

Para el desarrollo de la presente investigación, se contó con la participación de dos asociaciones agrícolas productoras de fresa, que fueron objeto de estudio, estas son: ECOFRUTAS ubicada en el municipio de Sibaté y AGRO-CAMP ubicada en el municipio de Soacha; ambas en el departamento de Cundinamarca. Con el fin de presentar un punto de partida para la mejora de dichas asociaciones, este estudio se enfocó en realizar la caracterización de sus procesos logísticos y las capacidades con las que cuentan, con el fin de identificar fallas e identificar oportunidades de mejora. La caracterización de las capacidades logísticas se realizó bajo dos enfoques: primero, las capacidades físicas logísticas y segundo, las capacidades como modos logísticos. A continuación, se presentan algunas definiciones clave, que se requerirán para la posterior explicación de la caracterización realizada.

Aprovisionamiento: según Cohen S y Roussel J [1], el abastecimiento se refiere a todo tipo de actividad presente en el trato proveedores-clientes, la cual implica cualquier compra o pago y suministro de insumos, materiales,

entre otros, que sean necesarios para la elaboración de los productos a ofrecer. Entre los principios básicos se encuentra el costo total referente a la posesión, elección de proveedores certificados, y creación de indicadores de gestión.

Almacenamiento e inventarios: según Ballou [2], el almacenamiento está directamente relacionado con el desconocimiento a la demanda de productos y por consiguiente a los inventarios necesarios para suplirla, ya que al no saber cuánto producir, es necesaria la adecuación de espacios para almacenar los productos mientras se presenta el consumo, y de esta forma lograr la coordinación entre oferta y demanda.

Los inventarios dan lugar a dos necesidades: almacenamiento y manejo de materiales, en donde el almacenamiento se utiliza primordialmente como beneficio económico al lograr reducir los costos de producción en lote cuando se presenta variación en la demanda. Las razones para el almacenamiento son: reducción de costos relacionados a producción y transporte, coordinación entre oferta y demanda, ayuda en proceso de producción y marketing.

Distribución: Según Chopra [3], la distribución hace referencia a las acciones realizadas en el proceso de movimiento y almacenamiento de un producto desde el momento en que hay relación con el proveedor hasta el contacto con el cliente dentro de la cadena de suministro. En donde se inicia con el desplazamiento de las materias primas o componentes por parte de los

proveedores a quienes fabrican el producto y se termina con el movimiento de este último desde los fabricantes hacia el consumidor. La distribución juega un papel importante en la rentabilidad total de cualquier organización ya que se ve involucrada directamente con los costos dentro de la cadena de suministro y los relacionados con la experiencia del cliente. Es importante implementar una buena red de distribución para alcanzar el cumplimiento de objetivos en la cadena de suministro.

Transporte: Thompson (1976) [4], lo define como “El traslado de un sitio a otro, de personas y mercancías, motivado por el hecho de que están en un lugar pero se necesitan en otro”.

- Dentro de la finca: El transporte dentro de la finca se refiere a la operación de desplazar los productos cosechados, desde el sitio de recolección en el cultivo hasta el centro de acopio [4].
- Fuera de la finca: El transporte fuera de la finca se refiere a la operación de desplazar los productos cosechados, desde el sitio de acopio en la finca hasta centrales de abasto, industrias de procesamiento y a la meta final [4].

Instalaciones:

- Centro de acopio: se refiere al área dispuesta para la preparación de los productos para su almacenamiento, presentación, transporte y entrega al consumidor o cliente final [5].

Medios tecnológicos de información y trazabilidad:

- Trazabilidad: según la International Organization for Standardization [6], es todo aquello referente a la capacidad presente en el seguimiento de forma histórica a una localización o aplicación relacionado con aquello que está siendo observado. Aquí se rastrea ya sea un producto o servicio a lo largo de una línea de tiempo.
- Registro de información: “Consignación de determinados datos en un soporte” [7].
- Identificación del producto: Inicia con la distinción formal de este mismo y se elabora por medio de elementos como la marca y el modelo, en ciertas ocasiones además, por el envase o empaque [8].

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este estudio es de carácter mixto, se realizó la recolección y el análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. Se hizo uso de un diseño de triangulación concurrente para la recolección, análisis e interpretación, con el fin de confirmar y efectuar una validación cruzada entre los datos (Cuantitativos y Cualitativos).

Se recolectaron y analizaron datos de diferente naturaleza obtenidos a partir de encuestas, guías de observación y entrevistas aplicadas a líderes y representantes de diferentes asociaciones de productores de fresa en los municipios de Sibaté y Soacha para posteriormente interpretar y condensar los hallazgos de cada una de las bases de datos [9].

El análisis cualitativo se realizó a través de las encuestas estructuradas realizadas en marzo de 2019 a los diferentes actores de las asociaciones AGROCAM y ECOFRUITS, así como a las asociaciones del sector AMECCUS y ASOFRUTAS; asociaciones que fueron seleccionadas mediante un muestreo bola de nieve y gracias al apoyo de las Secretarías de Desarrollo Económico de los municipios de Sibaté y Soacha.

El instrumento de encuesta que se utilizó para la recolección de información y el análisis de datos de tipo cuantitativo en el estudio fue diseñado y apropiado a partir de una metodología para la construcción de instrumentos en la caracterización de cadenas productivas propuesta por Loaiza & Rojas [10]; dicha metodología propone que, al hablar con líderes de organizaciones productoras agropecuarias, se formulen las preguntas del cuestionario clasificándolas, directa o indirectamente, en secciones, cada una con su propio grupo de variables de estudio, esto con el fin de hacer explícitos aspectos del estudio (Actores y roles estratégicos, Características socioeconómicas,

Falencias en operación y/o comercialización, etc.) [10].

Por otra parte, el análisis cualitativo se realizó a partir de entrevistas hechas a los líderes representantes de las asociaciones AGROCAMP en Soacha y ECOFRUTAS en Sibaté, así como de las bitácoras de visita a los mismos.

3. CONTENIDO

En esta sección se presentan los principales resultados obtenidos de la investigación realizada.

3.1. Capacidades Físicas Logísticas

Las capacidades físicas logísticas estudiadas en la presente investigación se refieren al transporte, las instalaciones y los medios tecnológicos de información y de trazabilidad.

3.1.1. Transporte. En esta parte, se analizó lo referente a transporte dentro de la finca, fuera de la finca y las vías de comunicación.

Transporte dentro de la finca. A continuación, se presenta lo encontrado en cuanto a transporte dentro de la finca, para las asociaciones estudiadas.

AGROCAMP (Municipio de Soacha): El transporte dentro de la finca se realiza de manera manual hasta el sitio donde es almacenada la cosecha por un tiempo inferior a 1 día. “El señor Bello argumentó que La asociación no cuenta con vehículos para el acopio y la distribución de sus productos, el empaque de la fresa en la cosecha y en la poscosecha se hace en canastillas plásticas, propiedad de los productores y los compradores de Corabastos. Los productores consideran que uno de los problemas con que se encuentran en el empaque del producto es la limpieza de las canastillas pertenecientes a los compradores, pues en muchas ocasiones las encuentran manchadas de tierra y otros productos” [11]

ECOFRUTAS (Municipio de Sibaté): El transporte de la fresa cosechada dentro de la finca se realiza de manera

manual en canastillas plásticas propiedad de la asociación, puesto que el centro de acopio se encuentra ubicado en un sitio equidistante, en el área central de todos los cultivos. “El señor Quiroga declaró que la fresa es previamente clasificada en el proceso de cosecha para evitar la reiterada manipulación del producto, ya que ocasiona el deterioro de la calidad evidenciado en las lesiones en el cuerpo de la fruta” [12].

Transporte fuera de la finca. En esta sección se describe lo encontrado en las asociaciones objeto de estudio, acerca de la forma de transportar fuera de la finca.

AGROCAMP (Municipio de Soacha): “El señor Bello manifestó que la fresa es comercializada con compradores de la ciudad de Bogotá, específicamente de Corabastos encargados directos de su transporte, por lo cual la asociación no realiza esta operación” [11].

ECOFRUTAS (Municipio de Sibaté): La fresa es comercializada en la ciudad de Bogotá a 38.2 Km del municipio de Sibaté. “El señor Quiroga dejó en conocimiento que el fruto se transporta en un vehículo de dos ejes en condiciones ambientales normales, que se encuentra en óptimas condiciones higiénicas para el transporte de productos alimenticios, el vehículo cuenta con cadena de frío, pero no se utiliza este tipo de climatización artificial en el transporte de la fresa. Además se realiza transporte fuera de la finca en el caso en que los asociados de ECOFRUTAS que no tienen su cultivo en las instalaciones de la vereda de Perico sino en la vereda la Honda, llevan la cosecha en canastillas plásticas hasta el centro de acopio para su posterior empaque y embalaje” [12].

Vías de comunicación (variable del entorno). A continuación, se presentan las principales vías de comunicación con las que cuentan los territorios en los que se encuentran las asociaciones estudiadas.

AGROCAMP (Municipio de Soacha): La vereda San Jorge en donde se encuentra ubicada la asociación, presenta conectividad por un lado con la vía nacional Autopista Sur,

que divide el casco urbano de Soacha partiendo del límite con la ciudad de Bogotá hasta el límite con el municipio de Sibaté, en una longitud aproximada de 8 km y con un ancho de calzada de 6 metros en promedio; por el otro lado se conecta con vías locales que atraviesan el casco urbano de Soacha en su costado oriental que alimentan a senderos carreteables, en dirección a veredas como la Hungría, Fusunga, limitantes con la Vereda San Jorge y de longitud 7 km y 5,50 m de calzada [13].

ECOFRUTAS (Municipio de Sibaté): El municipio de Sibaté posee una conectividad vial conformada por la Vía Panamericana, la Avenida Longitudinal de Occidente y La Vía Departamental. Internamente el municipio cuenta con vías que se encuentran debidamente pavimentadas que conectan con los entes colindantes en su espacialidad rural (veredas) [14]. La vereda Perico, en donde se encuentra ubicada la asociación presenta conectividad directa con la vía departamental y la vía principal del municipio de Sibaté, la carrera 7ma [13].

3.1.2. Instalaciones. En esta sección se describen las características principales de las instalaciones utilizadas para las operaciones de las asociaciones estudiadas.

AGROCAMP (Municipio de Soacha): La asociación cuenta con una finca en arriendo en la vereda San Jorge, municipio de Soacha de 2 hectáreas en la que se encuentran cultivadas aproximadamente 20.000 plantas de fresa de la variedad Albión y Monterrey” [11].

ECOFRUTAS (Municipio de Sibaté): Igualmente, la finca con que cuenta la asociación es en arriendo en la vereda Perico del municipio de Sibaté con 4 hectáreas en promedio, con variedades de fresa Albión y Sabrina” [15].

Producción. AGROCAMP (Municipio de Soacha): “la asociación cuenta con una producción semanal de 1.280 Libras, equivalentes a 80 cajas de 16 Libras cada una pertenecientes a la variedad Albión (40 cajas) y a la variedad Monterrey (40 cajas). En la finca se encuentran además de cultivos de fresa, cultivos de mora y arveja debido a

los bajos precios de comercialización de la fresa” [11].

ECOFRUTAS (Municipio de Sibaté): “la asociación cuenta con una producción semanal de 8.800 libras de fresa, equivalentes a 550 cajas de 16 libras cada una, pertenecientes a la variedad Albión (413 cajas) y a la variedad Sabrina (137 cajas). En la finca se encuentran únicamente cultivos de fresa” [12].

3.1.3. Medios tecnológicos de información y trazabilidad

Un aspecto importante en el ámbito de la logística es el uso de tecnologías que apoyen los diferentes procesos a lo largo de la cadena, ya que éstos pueden marcar la diferencia en la gestión de las cadenas y lograr mejoras logísticas.

AGROCAMP (Municipio de Soacha): La asociación realiza el registro de sus productos de forma manual en una agenda; cuentan con acceso a equipos tecnológicos como smartphone y computador, y no emplean algún tipo de identificación en los productos, es decir no se encuentra manera de llevar control y trazabilidad en los mismos. “En cuanto al registro de la cantidad de producción de fresa, el representante Bello asegura que todo este proceso se realiza con talonario de facturas” [11].

ECOFRUTAS (Municipio de Sibaté): Esta asociación realiza el registro de sus productos en un Software especializado y en Excel contable, es decir, tienen acceso a medios tecnológicos como smartphone y computador, además los productos tienen etiquetas, adhesivos y marcas para su identificación y control en temas de trazabilidad [12].

3.2. Capacidades como Modos Logísticos

Dentro de capacidades como modos logísticos se incluyen tres procesos fundamentales: aprovisionamiento, almacenamiento e inventarios, y distribución.

3.2.1. Aprovisionamiento. Las plántulas de fresa cuentan con una patente californiana que les restringe ser distribuidas por cualquier vivero que no cuente con la acreditación correspondiente para su reproducción y

comercialización, algunas de las entidades que tienen permitida su venta son Proplantas y Kabala, es decir, las dos asociaciones se deben remitir a estas entidades confiables para aprovisionarse de plántulas certificadas [13].

3.2.2. Almacenamiento e Inventarios. AGROCAMP (Municipio de Soacha): según el señor Bello, “el centro de acopio se encuentra ubicado en un sitio común dentro del cultivo y presenta los parámetros exigidos por las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) el cual es exclusivo para la recepción de frutos (techado, protegido de la luz directa del sol, situado en un punto equidistante del cultivo); también presenta los siguientes estándares (rodeado por una malla o anejo, que permiten la aireación y evitan el ingreso de insectos y animales domésticos, una unidad sanitaria dotada en óptimas condiciones de limpieza, el área de almacenamiento de insumos químicos es independiente y con acceso restringido, buena iluminación, los protocolos de saneamiento básico (limpieza y desinfección, manejo integrado de plagas y manejo de residuos) debidamente escritos y documentados, estibas para el almacenamiento de las canastillas, una mesa específica (lisa y lavable) para la selección de frutos, un sitio para el almacenamiento de herramientas y utensilios). El almacenamiento del fruto se hace de forma natural y no excede un día, con aislamiento de luz y ventilación natural” [11].

En contraparte con la entrevista anterior realizada al representante legal de la asociación AGROCAMP, en el trabajo de campo se observó que el centro de acopio no cumple ninguno de los requisitos exigidos por las BPA para el manejo de la fruta cosechada, puesto que el sitio adecuado para el almacenamiento de la fresa está construido en madera y tejas en aluminio, materiales no reglamentados por la norma para este tipo de operaciones; además este sitio común es compartido para la recepción de otros alimentos como mora y arveja [13].

ECOFRUTAS (Municipio de Sibaté): el señor Quiroga aduce que “el centro de acopio se encuentra ubicado en un sitio común dentro del cultivo y presenta los parámetros exigidos por las BPA el cual es exclusivo para la recepción

de frutos (techado, protegido de la luz directa del sol, situado en un punto equidistante del cultivo); también presenta los siguientes estándares: rodeado por una malla o anejo, que permiten la aireación y evitan el ingreso de insectos y animales domésticos, una unidad sanitaria dotada en óptimas condiciones de limpieza, el área de almacenamiento de insumos químicos es independiente y con acceso restringido, buena iluminación, los protocolos de saneamiento básico (limpieza y desinfección, manejo integrado de plagas y manejo de residuos) debidamente escritos y documentados, estibas para el almacenamiento de las canastillas, una mesa específica (lisa y lavable) para la selección de frutos, un sitio para el almacenamiento de herramientas y utensilios” [12].

Según la guía de observación diligenciada posterior a la visita realizada a la asociación y sus instalaciones, se evidenció que el cumplimiento de los requisitos exigidos por la BPA no se realiza a cabalidad [13], puesto que el espacio destinado para el empaque y el embalaje de la fresa tiene libre acceso de animales domésticos e insectos, la mesa para la selección de la fruta no es lavable y por último en los protocolos de limpieza y sanidad todos los trabajadores no utilizan guantes plásticos para el empaque de la fresa en los contenedores, ya que afirman que “se sienten, sin guantes, las posibles deformaciones que la fruta pueda presentar” [12]. El lugar de almacenamiento se utiliza únicamente para las operaciones con fresa. El almacenamiento de la fresa es por un periodo, menor a un día, por tanto, las condiciones son naturales (en esta asociación se encuentra un caso en el que se utiliza almacenamiento artificial puesto que la fresa de clasificación 4ta es congelada y posteriormente comercializada) [12].

3.2.3. Distribución

Comercialización. AGROCAMP (Municipio de Soacha): La asociación realiza la venta de forma local en la puerta de la finca a los compradores de Corabastos, no realizan ningún otro tipo de comercialización. El producto es vendido a los intermediarios de la cadena de suministro que en este caso serían los transportadores de

Corabastos, donde los compradores son los que buscan a los productores de fresa de la vereda y establecen un contrato verbal para la compra, los compradores no siempre son los mismos, hay una rotación puesto que se incumplen las fechas pactadas para los pagos [11].

ECOFRUTAS (Municipio de Sibaté): La asociación realiza la venta de la fresa bajo contrato formal con tres entidades:

- La primera entidad se encarga de recibir el producto en la ciudad de Bogotá para posteriormente llevarlo a la zona de la costa atlántica del país y comercializar la fresa; el producto es empacado en PETS de 500 gr que contienen de 15 a 18 fresas debidamente rotulados y con su respectivo código de barras [12].
- La segunda entidad es una gran superficie en la ciudad de Bogotá a la que se le entregan los productos empacados en bandejas de icopor tapadas con papel transparente, debidamente rotulados y etiquetados, además de su respectivo código de barras [12].
- La tercera entidad en la ciudad de Bogotá realiza la compra de la fresa de clasificación IV (la más pequeña) en condiciones bajo 0°, posteriormente es transformada y comercializada [12].

En vista de los contratos que maneja anteriormente ECOFRUTAS, la asociación se encarga del transporte del producto desde el municipio de Sibaté únicamente hasta la ciudad de Bogotá.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La gestión de las capacidades logísticas se refleja a través de la agilidad de las operaciones en cada organización, con el fin de mejorar y aprovechar las oportunidades de un entorno cambiante incrementando la velocidad y la flexibilidad con que se le dé cumplimiento a las actividades. [16]. Bajo este enfoque, la caracterización de las capacidades logísticas en las asociaciones agrícolas productoras de fresa de los municipios de Soacha y Sibaté se abordaron teniendo en cuenta la Tabla 1 de medios logísticos.

Tabla 1. Medios logísticos

MODOS LOGÍSTICOS	Aprovisionamiento Almacenamiento e inventarios Distribución
MEDIOS LOGÍSTICOS	Transporte Instalaciones Medios tecnológicos de información y trazabilidad

En cuanto a los modos logísticos investigados, se evidenció:

Aprovisionamiento. Esta operación logística se realiza de forma similar en ambas asociaciones. Inicialmente la adquisición de materias primas como lo son las plántulas (semilla de la fresa) se realiza estrictamente en un vivero que cuente con la certificación para la venta y distribución de estas semillas, puesto que cuentan con una patente Californiana que restringe su reproducción y venta de manera informal; teóricamente se considera que este modo logístico hace parte de las capacidades propias del nivel táctico y operativo de la organización ya que éstas se encargan de controlar, coordinar y organizar los diversos flujos físicos, de dinero y de información de la cadena de suministro [17], en este caso la capacidad de aprovisionamiento gestiona un flujo físico de materias primas e insumos. Como se observó en la investigación, esta capacidad no representa un aporte significativo a la ventaja competitiva de las asociaciones.

Almacenamiento e inventarios. Hacen parte de las capacidades del nivel táctico y operativo de la organización, pues en éste se evidencia la coordinación y organización de flujos físicos y de información propiamente [18]. Ecofrutas, la asociación representada como caso de éxito en esta investigación, evidenció un índice de gestión en esta capacidad superior al de Agrocamp, gracias al manejo de almacenamiento natural (no superior a un día) y almacenamiento artificial (fresas de calidad de 4ta congeladas). Bajo esta perspectiva y con los resultados de la investigación, es apropiado considerar esta capacidad logística como fuente de ventaja competitiva, pues al contar con almacenamiento artificial para algunos de sus productos,

permite abordar nuevos mercados que demanden en este caso fresa de calidad de 4ta, congelada.

Distribución. Es la capacidad logística que potencializa la ventaja competitiva en la asociación, principalmente en el enfoque de la gestión de la comercialización [12]. Ecofrutas, cuenta con tres contratos formales que permiten la comercialización de sus productos de manera eficiente y eficaz, coordinando como lo remite la literatura los flujos físicos, como lo son los productos transformados debidamente empacados, embalados y rotulados, los flujos de dinero y los flujos de información, estos últimos proporcionados por software utilizados en la asociación.

El conjunto de todas estas actividades debidamente organizadas y controladas le permiten a esta asociación agilizar y flexibilizar la operación, generando directamente el incremento de la ventaja competitiva frente a las demás asociaciones partícipes del mercado local y nacional de la fresa. Agrocamp, como se contempló en la caracterización no contempla esta capacidad logística dentro de sus capacidades tácticas y operativas.

Para el caso de los medios logísticos, en la investigación se encontró lo siguiente:

Transporte. Desde el punto de vista teórico, autores como Fromm (1965), Hay (1994) y Ballou (1999) coinciden en que el transporte es una variable fundamental para garantizar la flexibilidad del proceso de comercialización y quienes la dominan alcanzan una ventaja competitiva. [19]. Se observa en la investigación la importancia de que la asociación tenga presente la capacidad de cubrir demandas imprevistas, haciendo uso de recursos propios o ya sea de forma tercerizada en el caso de no contar con vehículos propios para el adecuado transporte de los productos, de esta forma se mitigan los riesgos presentes a lo largo de la cadena de suministro agroalimentaria. Sí Agrocamp persiste en sustituir el cultivo de fresa por mora y mantener una baja capacidad de producción, los costos del transporte le serán altos impidiéndole tener economías.

de escala y por lo tanto generar alguna ventaja competitiva al momento de enfrentar a los intermediarios. Por otro lado, para el caso de Ecofrutas, esta asociación ha logrado dominar esa capacidad logística lo que se traduce en una fuerte ventaja competitiva frente a otras asociaciones.

Por otra parte, aunque en la teoría, la producción no se involucra dentro de las capacidades logísticas, se observó que es muy importante e indispensable partir de unos mínimos de volúmenes de producción que garanticen el desarrollo eficiente de las demás capacidades. Tal es el caso de Agrocamp, en donde los volúmenes producidos van disminuyendo debido a la sustitución por otros cultivos, lo que genera inconvenientes para el desarrollo de capacidades logísticas.

Instalaciones. “Según el Fondo Social Europeo, un factor clave son las instalaciones dispuestas en el ejercicio hacia la consecución de la eficiencia”[20]; sin embargo, en el trabajo de campo se observó que si bien éstas pueden representar ventajas, en las dos asociaciones hay instalaciones de características similares; en donde las parcelas son arrendadas para realizar los cultivos. Lo anterior, demuestra que en este caso no se presenta diferencia y por lo tanto no existe ventaja competitiva de este factor entre las dos asociaciones consideradas.

Medios tecnológicos de información y trazabilidad. “Autores como Narasalagi y Shivashankar concluyen que la empresa, en este caso las dos asociaciones pueden desarrollar la habilidad de adaptarse al cambio desde el contexto ambiental, cultural, político y financiero con el uso de esta capacidad” [21]. En esta capacidad, Ecofrutas presenta ventaja competitiva en comparación con otras asociaciones, entre estas Agrocamp; lo cual le representa oportunidades en cuanto a la identificación y proceso de evolución histórico de sus productos, garantizando la acogida y seguridad de consumo en los clientes ya que hay preferencia y confiabilidad en la calidad de estos.

A manera de conclusión, el estudio identifica la posición ventajosa de la asociación Ecofrutas frente a Agrocamp.

Considera cómo intervienen las capacidades logísticas en la dotación de ventajas competitivas que permiten diferenciar los rumbos que toman las organizaciones.

Ecofrutas funciona como una organización donde diferentes funciones administrativas se encuentran claramente divididas, hay una perspectiva frente a las posibilidades del mercado, lo cual les permite fijar metas y programas, bajo una identidad corporativa.

Agrocamp por su parte es un grupo de productores ligados por lazos familiares más que empresariales, bajo el liderazgo de su presidente, razón por la cual no se observó que trabajaran en procura de una identidad corporativa, fijando metas a largo plazo y objetivos claros de mercado, sometiéndose a intermediarios que no les permiten rentabilidades que hagan sustentable la actividad agroindustrial de la fresa bajo esas condiciones en el Municipio de Soacha.

REFERENCIAS

- [1] P. C. O. Vélez, (2013). Gerencia logística y global. Revista EAN. [Online]. <https://doi.org/10.21158/01208160.N66.2009.477>
- [2] R. H. Ballou. "Logística Administración de la cadena de suministro", vol 5, 2004.
- [3] S. Chopra. "Administración de la cadena de suministro", vol 3, 2008.
- [4] V. Islas, & M. Lelis, (2007). Análisis de los Sistemas de Transporte: Conceptos básicos. 1(Publicación técnica No. 307), 75. [Online]. <http://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt307.pdf>
- [5] G. R. Roncancio & G. C. Sáenz, (2016). Propuesta de un modelo asociativo para los productores agrícolas de puente nacional santander mediante el diseño de un centro de acopio de productos agrícolas de la región para el mejoramiento de las condiciones económicas y sociales de sus asociados. IOSR Journal of Economics and Finance. [Online]. <https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666>
- [6] M. M. Herrera, & J. A.Orjuela Castro, " Perspectiva de trazabilidad en la cadena de suministros de frutas: un enfoque desde la dinámica de sistemas. Ingeniería", vol. 19 no. 2, pp. 63–84, 2014.
- [7] J. Pérez, & M. Merino, (2014). Definición de Registro de datos. [Online]. <https://definicion.de/registro-de-datos/>
- [8] D. Pérez, & I. Pérez, (2006). Marketing. El Producto. Concepto y Desarrollo. MBA- EOI Escuela de Negocios. [Online]. http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fe-dora/asset/eoi:45113/componente45111.pdf
- [9] C. P. (2008) Hernández Sampieri, R., & Mendoza, "El matrimonio cuantitativo cualitativo: el paradigma mixto.," J. L. Álvarez Gayou (Presidente), 6o Congr. Investig. en Sexol. Congr. efectuado por el Inst. Mex. Sexol. A. C. y la Univ. Juárez Autónoma Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México., 2008.
- [10] J. P. Loaiza and L. F. Rojas, "Metodología para la construcción de instrumentos en la caracterización de cadenas productivas. Caso de estudio: Aguacate Hass y Caña Panelera en Cauca-Colombia. Conference Paper.," in *Congreso internacional industria y organizaciones CIIO*, 2018.
- [11] H. Bello, "Entrevista," 2019.
- [12] A. Quiroga, "Entrevista," 2019.
- [13] "Guía de observación trabajo de campo," 2019.
- [14] C. Pinzón, "Acuerdo No . 11 de 2002 por medio del cual se modifica , ajusta y adecua el acuerdo No . 10 de 2002 mediante el cual se adopto el plan basico de ordenamiento territorial del cual se realiza una revision excepcional al plan basico de ordenamiento territorial," no. 11, 2010.
- [15] M. Rojas and J. Barbosa, "Entrevista," 2019.
- [16] D. M. Gligor and M. C. Holcomb, "*Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: A systematic literature review*," *Supply Chain Management*, vol. 17, no. 4. pp. 438–453, 2012.
- [17] K and Wajszczuk, "The Role and Importance of Logistics in Agri-Food Supply Chains: An Overview of Empirical Findings," *Logist. Transp.*, vol. 2, no. 30, pp. 47–56, 2016.
- [18] B. Salazar, "Gestión de almacenes." [Online].

Available: <https://logisticayabastecimiento.jimdo.com/almacenamiento/>.

- [19] A. Cardona and M. Granados, *La logística del transporte: un elemento estratégico en el desarrollo agroindustrial*. 2007.
- [20] Fondo Social Europeo, “Planificación de las instalaciones (Plan Operativo) en Proyectos de negocio,” 2012.
- [21] V. M. Narasalagi, “Building Sustainable Organizational Capabilities through Supply Chain Innovation,” *Eur. J. Logist. Purch. Supply Chain Manag.*, vol. 3, no. 3, pp. 25–34, 2015.

METODOLOGÍA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS EN EL MEJORAMIENTO DE VÍAS TERCIARIAS EN CUNDINAMARCA, COLOMBIA

Methodology for the mitigation of risks in the improvement of tertiary roads in Cundinamarca, Colombia

Juan Sebastián Sánchez Estrada¹,

¹ Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de ingeniería,
Programa de Maestría de gerencia de proyectos.

Email: u21100156@unimilitar.edu.co

(Recibido Agosto 22 de 2020 y aceptado Noviembre 19 de 2020)

Resumen

El presente documento se basa en la investigación realizada en la gestión de riesgos para proyectos de tipo vial, especialmente, en el mejoramiento de vías terciarias. El cual consiste en el análisis de los riesgos aplicados a este tipo de proyectos, así como, en la presentación de propuestas de mitigación y reducción de la probabilidad de impacto y de ocurrencia. Con este fin, se realizó la identificación de riesgos y análisis propuesto por el Project Management Institute (PMI), para elaborar un manual, el cual propone una metodología y un paso a paso para realizar la correcta construcción del pavimento rígido reduciendo los riesgos latentes a su ocurrencia y los imprevistos laborales en la obra de construcción.

El manual para la gestión de riesgos en el mejoramiento de vías terciarias fue aplicado en un proyecto de obra civil en el municipio de Soacha, Cundinamarca. Este dejó resultados positivos, en donde se observó una alta disminución en los impactos de los riesgos establecidos en principio. Lo anterior, se vio reflejado tanto en la disminución de los riesgos, como en el aumento del rendimiento de la obra civil, así también, hubo una disminución en costos generados por imprevistos, lo cual hace que la utilidad sea mayor que la proyectada inicialmente.

Palabras clave: *riesgos, impacto, vía terciaria, placa huella, veredas, imprevistos.*

Abstract

This paper is based on research conducted in risk management for road-type projects, especially, in the improvement of tertiary roads. It consists of the analysis of the risks applied to these types of projects, as well as the presentation of proposals for mitigation and reduction of the probability of impact and occurrence. Based on this, the risk identification and analysis proposed by the Project Management Institute (PMI) was carried out to develop a manual, which proposes a methodology and a step by step to carry out the proper construction of the rigid pavement reducing the risks latent to its occurrence and the work contingencies in the construction workplace.

The manual for risk management in the improvement of tertiary roads was applied in a civil works project in the municipality of Soacha, Cundinamarca. This left positive results, where a high decrease in the impacts of risks established in principle was observed. This was reflected both in the decrease in risks and in the increase in the performance of civil works, as well as in the decrease in unforeseen costs, which makes the utility greater than initially was projected.

Key words: *risks, impact, tertiary route, footprint plate, sidewalks, contingencies.*

1. INTRODUCCIÓN

La ejecución de las vías terciarias en el país genera desarrollo en las zonas en donde se intervienen este tipo de proyectos, pero, al no desarrollarlos de manera adecuada puede crear un conflicto en la comunidad cercana.

Las zonas que necesitan el mejoramiento de la vía terciaria son localidades en vulnerabilidad, en donde su economía depende de varios factores, generalmente, son zonas agrícolas [1] y la población necesita transportar productos a mercados para generar capital.

La investigación se desarrolló con el fin de reducir los imprevistos ocasionados en la construcción de pavimentos por placa huella [2], que mitiguen los impactos de los riesgos presentados en cada una de las actividades en la planeación y ejecución del proyecto.

A través de la metodología del PMI [3] en la gestión de los riesgos de un determinado proyecto, se aplicó a este tipo de obra civil, con el fin de recaudar los riesgos latentes en la construcción de la vía por placa huella, y también conocer la probabilidad de ocurrencia, nivel de impacto y actividades de mitigación del mismo.

En los cuales se logra desarrollar una metodología en la práctica de la construcción del mejoramiento de vías terciarias por Placa huella [4] para que los impactos y riesgos sean minimizados, así mismo, reducir los imprevistos en la obra civil.

Cuando en una obra de construcción se logran reducir los imprevistos, indirectamente, se va a ver reflejado en el presupuesto del proyecto, lo cual ocasiona que las utilidades esperadas por el trabajo van a ser mayores para los contratistas y ejecutores de este tipo de proyectos.

2. MÉTODOS

En la búsqueda y análisis de los riesgos que se presentan en la ejecución de proyectos de vías terciarias, la cual se

realizó mediante la metodología propuesta por el PMI (Project Management Institute), se encontraron 29 riesgos, los cuales afectan de manera directa e indirecta el alcance, tiempo de ejecución, presupuesto y calidad de la obra.

Se aplicó un análisis en los riesgos presentados en proyectos de características similares, también desarrollados en el departamento de Cundinamarca. De estos se correlacionó entre los demás contratos para saber el número de ocasiones que se presentó dicho riesgo, y de esta forma, tener la probabilidad de ocurrencia.

Por último, se realizó la determinada gestión de riesgos propuesta por el PMI [5], en el cual se llega a la implementación de la metodología sugerida con actividades de mitigación para poder reducir el impacto y ocurrencia de los riesgos.

3. RESULTADOS

Los riesgos presentes en este tipo de proyectos, están latentes en varias de sus actividades, los cuales se presenta a continuación:

Tabla 1 Riesgos en el mejoramiento de vía terciaria

No.	RIESGO IDENTIFICADO
R1	Mal estado de las máquinas
R2	Costos elevados de alquiler
R3	Desgaste acelerado en piezas y lubricantes
R4	Robo de maquinaria
R5	Baja capacidad técnica y cognitiva por cuenta de la mano de obra
R6	No existencia de personal calificada en la zona de ejecución del proyecto
R7	Mala compactación y desprendimiento de material
R8	Altos costos en precio de materiales por alta demanda

- R9 Baja calidad de materiales
- R10 Demoras en despacho de materiales
- R11 Poca opción de financiamiento
- R12 Opción de financiamiento
- R13 Llega a destiempo de insumos para las actividades
- R14 Llegada de materiales de manera incompleta
- R15 Mal cálculo en cuantías de insumos
- R16 Llegada en mal estado del pedido
- R17 Corte y figurado de manera inapropiada a los planos, desgaste de herramienta de corte
- R18 Alto desperdicio
- R19 Mala calidad de material de tablas
- R20 Alto desperdicio y mal manejo
- R21 Mal estado de la máquina
- R22 Daño mecánico de la mezcladora
- R23 Escasez de combustible para el funcionamiento
- R24 Dosificación de concreto que no sea la correcta
- R25 El acero de refuerzo no está ubicado de manera correcta
- R26 Mal almacenamiento del material (cemento)
- R27 Clima inapropiado para fundir
- R28 Fisuras considerables en la placa de concreto
- R29 Accidente laboral

Los riesgos presentes en la ejecución del mejoramiento de las vías terciarias, tienen con ellos un nivel de impacto [6], el cual se ve reflejado de manera diferente a las restricciones iniciales del proyecto, como bien lo son el alcance, el tiempo de ejecución, el presupuesto y la calidad de la obra.

Es por lo anterior que, se realizó la gestión en cada una de las restricciones, con el fin de determinar cuál de estas es más susceptible a cada uno de los impactos ocasionados por los riesgos ya mencionados.

La Figura 1, muestra como el alcance del proyecto tiene un impacto mínimo frente a los riesgos presentados, el mayor nivel de impacto, pero con poca probabilidad de

ocurrencia es el R8 (Altos costos en precio de materiales por alta demanda).

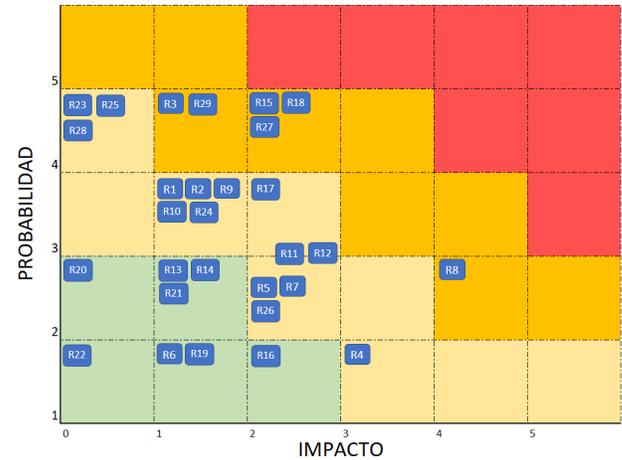


Figura 1. Probabilidad VS Impacto (Alcance)

Para el tiempo de ejecución del proyecto, es afectado de manera alta pero poco probable, aunque cabe resaltar que esta variable debe de ser supervisada y controlada de buena forma, ya que este punto tiene criterios contractuales y legales.

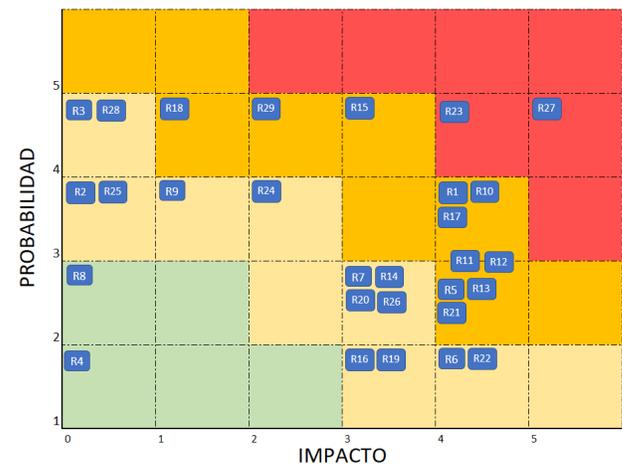


Figura 2. Probabilidad VS Impacto (Tiempo)

La Figura 3, correspondiente al presupuesto se logra evidenciar que los riesgos tienen mayor impacto frente a los costos del presupuesto, es decir, el

presupuesto es la variable con mayor vulnerabilidad.

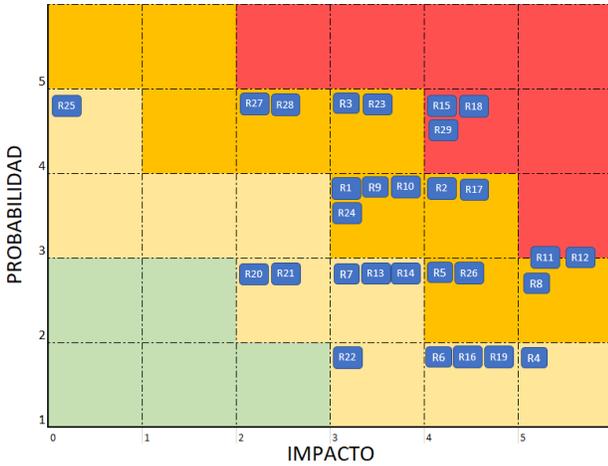


Figura 3. Probabilidad VS Impacto (Presupuesto)

Para la calidad de la obra, la Figura 4, muestra que no muchos riesgos afectan esta restricción, pero los impactos y probabilidades son considerables, los cuales pueden perjudicar el proyecto.

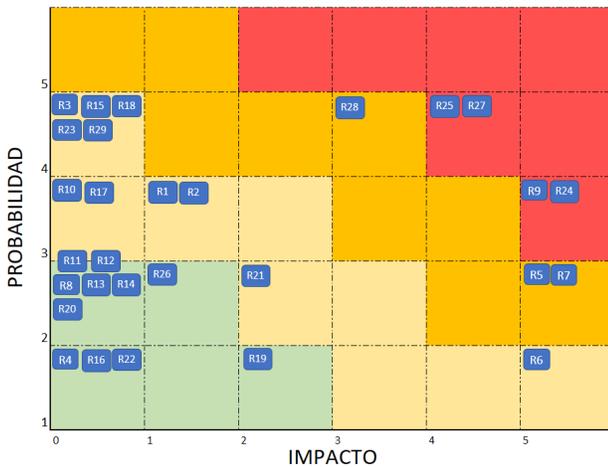


Figura 4. Probabilidad VS Impacto (Calidad)

La calidad y estabilidad de la obra es un tema contractual, el cual tiene responsabilidades para el constructor, es por ello que se deberá realizar la construcción con los mejores estándares de calidad. En este sentido, los impactos de los riesgos deben ser mínimos para

que esta restricción no se vea perjudicada.

Posterior a determinar los impactos proporcionados por los riesgos en cada una de las restricciones, y aclarar cuál de estas tiene mayor susceptibilidad en cada una de estas marcas; se procede a determinar medidas preventivas las cuales disminuyan la ocurrencia e impacto de los riesgos.

Con cada una de estas medidas de mitigación, se realizó el “Manual para la Gestión de Riesgos en el Mejoramiento de Vías Terciarias”, el cual fue implementado en el municipio de Soacha Cundinamarca, en el contrato de obra pública 2156 de 2019, el cual tiene como objeto el “Mejoramiento de la vía terciaria que conduce de la vereda Hungría a la vereda San Jorge en el sector.

Para este se implementaron las medidas de prevención junto con una metodología constructiva, la cual fue comparada a la hora de su terminación, con un contrato de similitud económica, física y técnica demostrando mejores resultados en cuanto a la disminución de riesgos, disminución de imprevistos y, así mismo, mayor utilidad económica.

4. DISCUSIÓN

En la siguiente tabla, se presentan los flujos de caja correspondientes a cada uno de los proyectos, de acuerdo a la programación de ejecución de la obra civil.

Tabla 2. Comparación flujos de caja

SEM.	ZIPAQUIRÁ	SOACHA
	BCWS CPTP	BVWS CPTP
1	\$ 1.500.000.00	\$ 3.750.000.00
2	\$ 10.736.760.00	\$19.338.872.00
3	\$ 19.096.077.69	\$28.085.040.50
4	\$ 25.751.423.84	\$40.097.901.57
5	\$ 32.406.7693.99	\$50.079.058.00
6	\$ 36.097.896.42	\$52.191.474.67

7	\$ 42.151.424.99	\$68.598.726.00
8	\$ 48.204.953.56	
9	\$ 57.068.250.99	
10	\$ 59.100.623.49	
11	\$ 61.166.185.99	
12	\$ 68.299.114.56	
13	\$ 87.586.900.99	

Los anteriores datos demuestran que la metodología propuesta tiene resultados positivos. El rendimiento aumentó de acuerdo a la metodología propuesta y los costos de inversión son menores, estos se ven reflejados en el mismo final de la obra civil, simplemente, que dos metodologías constructivas diferentes.

En la Gráfica 5, se muestra como el proyecto ejecutado en el municipio de Soacha, tiene mayor cantidad de inversión, el manejo apropiado de las finanzas se ven reflejadas de forma positiva.



Figura 5. Comparativa curva S

5. CONCLUSIONES

La restricción con mayor vulnerabilidad es el presupuesto de la obra, ya que cada una de las otras restricciones se apoyan de manera significativa en esta y la calidad de la obra se debe tener en cuenta para evitar riesgos jurídicos.

En la comparación de los proyectos de mejoramiento de vía terciaria en Soacha y Zipaquirá, Cundinamarca se logra concluir que al aplicar la metodología propuesta se logra aumentar en un aproximado 16%- 19% las utilidades generadas.

La implementación de la metodología propuesta aumentó el rendimiento por metro lineal, es decir, la misma cantidad de obra se ejecutó en un 54% menos a comparación de la obra ejecutada en el municipio de Zipaquirá, disminuyendo costos del día a día.

Cada uno de los riesgos se presentan de manera diferente en cada uno de los factores mencionados, pero en el que mayor relevancia tiene es en el presupuesto oficial del proyecto, ya que este es vulnerable y susceptible a cambios y modificaciones, poniendo en vilo la utilidad final del contratista.

El presupuesto es el factor más vulnerable en la ejecución de la obra civil, es por ello que se deberá reducir la ocurrencia de los riesgos, ya que en su mayoría tienen un alto impacto en este factor; es por esto que es importante tener en cuenta medidas preventivas para que estos no estén presentes a lo largo del desarrollo del proyecto.

Los riesgos que impactan la calidad del proyecto son riesgos que se pueden mitigar con una amplia actividad de prevención, las cuales hacen que estos riesgos reduzcan su impacto de manera considerable.

REFERENCIAS

- [1] F. Remolina, «PMI Colombia,» 21 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.pmicolombia.org/blog/>

conceptos-basicos-de-la-gestion-de-riesgos-para-los-miembros-del-equipo-del-proyecto/. [Último acceso: 18 Noviembre 2018].

- [2] Colombia Compra Eficiente, «Colombia Compra Eficiente,» 19 01 2017. [En línea]. Available: <https://www.colombiacompra.gov.co/secop/secop-i>. [Último acceso: 19 11 19].
- [3] E. Correa Valderrama, «El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país,» *Revista de Ingeniería*, nº 45, pp. 64-71, 2017.
- [4] L. Ameijide García, Gestión de proyectos según el PMI, Barcelona, Cataluña: Universidad Oberta de Catalunya, 2016, p. 70.
- [5] INVIAS, Guía de Diseño de Pavimento con Placa-huella, vol. 1, Bogotá: Ministerio de Transporte, 2017.
- [6] INVIAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Bogotá, 2008, p. 298.
- [7] H. KERZNER, Project Management, A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, 12th ed., New Jersey: Jhon Wiley & Sons, 2013.
- [8] L. Narváez, «Vías terciarias: Motor del desarrollo económico rural,» *Revista de Ingeniería*, nº 45, pp. 80-87, Junio 2017.

ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS APLICADAS A LA GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE EN COLOMBIA

Analysis of methodologies applied to risk management in software development projects in Colombia

Paola Andrea Arias Murcia¹, Roberto Ferro Escobar², Alexandra Abuchar Porras³

¹Universidad ECCI, docente del programa de Ingeniería Mecatrónica, Colombia.

²Universidad Distrital Francisco José de Caldas, docente del programa Especialización en Telecomunicaciones Móviles, Colombia.

³Universidad Distrital Francisco José de Caldas, docente del programa Especialización en Ingeniería del Software, Colombia.

Email: ¹pariasm@ecc.edu.co, ²rferro@udistrital.edu.co, ³aabuchar@udistrital.edu.co

(Recibido Junio 22 de 2019 y aceptado Octubre 5 de 2019)

Resumen

La Gestión del Riesgo es un factor muy importante que debe ser abordada desde el inicio de cualquier tipo de proyecto, este es uno de los aspectos fundamentales que permite ver desde diferentes puntos de vista diversas variables que pueden traer múltiples problemas en la ejecución del proyecto, en este artículo se hace un énfasis en la realización de proyectos de software debido a la importancia que han tenido en los últimos años y debido a los altos índices de fallas en la realización de los mismos. Esta investigación tiene en cuenta en su fase metodológica el uso de la Gestión de riesgos propuesta por el PMBOK, el ciclo PHVA y la metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información, el uso de estas metodologías permitirá usar y aplicar las mejores prácticas propuestas para definir las amenazas, riesgos, vulnerabilidades y a futuro sentará las bases para formular políticas de mejora continua y de esta forma evitar que estos proyectos fracasen.

Palabras clave: gestión de riesgo, metodología PMBOK deming, desarrollo de software.

Abstract

Risk Management is a very important factor that must be addressed from the beginning of any type of project, this is one of the fundamental aspects that allows us to see from different points of view different variables that can bring multiple problems in the execution of the project, This article emphasizes the realization of software projects due to the importance they have had in recent years and due to the high failure rates in their realization. This research considers in its methodological phase the use of Risk Management proposed by the PMBOK, the PHVA cycle and the methodology of Analysis and Risk Management of Information Systems, the use of these methodologies will allow the use and application of Proposed best practices to define threats, risks, vulnerabilities and in the future will lay the groundwork for formulating policies for continuous improvement and thus prevent these projects from failing.

Key words: risk management, PMBOK methodology, deming, software development.

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de software son iniciativas que poseen

variables complejas y son susceptibles de presentar muchos problemas como lo presento Bannerman [1].

Uno de los posibles problemas puede ser originado

en no administrar los riesgos presentes en el proyecto de desarrollo de software. Según Pinna y Carvalho [2], si los riesgos no se abordan de forma adecuada, la calidad del producto final puede verse comprometida; los intereses del cliente no se cumplen; y el personal, durante el ciclo de vida del proyecto, puede disminuir la productividad y cometer errores garrafales. Desde el punto de vista de la teoría relacionada con la perspectiva organizacional, el riesgo surge cuando las organizaciones buscan oportunidades frente a la incertidumbre y están limitadas por la capacidad y los costos asignados al proyecto [1]. Algunos directores o gerentes de proyectos de software ven las actividades y procesos de gestión de riesgos como trabajo y gastos adicionales innecesarios, lo que causa que sea eliminado del alcance del proyecto cuando se retrasa un proyecto.

Algunos autores afirman que muchos profesionales e ingenieros de desarrollo de software perciben la gestión y el control de riesgos como un inhibidor de la creatividad. Las altas tasas de fracaso asociadas con los proyectos de sistemas de información sugieren que las organizaciones necesitan mejorar no solo su capacidad para identificar los riesgos asociados con estos proyectos, sino también para gestionar los mismos [3].

De acuerdo con la revisión del estado del arte, este artículo tiene como objetivo presentar una revisión, de la Gestión de Riesgos en proyectos de desarrollo de software bajo los lineamientos del PMBOK 6 y dos metodologías que permite el uso de estos aspectos de forma adecuada.

Esta investigación tiene en cuenta en su fase la Gestión de riesgos propuesta por el PMBOK, la metodología del uso del ciclo Deming (PHVA) y la metodología MAGERIT ("Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información"). El uso de estas metodologías permitirá tener en cuenta las mejores prácticas propuestas para definir las amenazas, riesgos, vulnerabilidades y a futuro sentara las bases para formular políticas de mejora continua. De acuerdo a lo establecido debemos definir los siguientes aspectos:

Análisis de Riesgos: Identificación de activos informáticos relacionados con el desarrollo y producción de software sus vulnerabilidades y amenazas a los que se encuentran expuestos así como su probabilidad de ocurrencia y el impacto de las mismas, a fin de determinar los controles adecuados para aceptar, disminuir, transferir o evitar la ocurrencia del riesgo, para establecer un correcto diagnóstico del riesgo que se está presentando se debe realizar un análisis donde se establece la siguiente relación:

$$\text{Riesgo Total} = \text{Probabilidad} * \text{Impacto promedio} \quad (1)$$

Ley estatutaria 1581 de 2012: La cual tiene por objeto desarrollar el derecho constitucional que tienen todas las personas a conocer, actualizar y rectificar las informaciones que se hayan recogido

Auditoría: Proceso para diagnosticar los sistemas de información de una empresa u organización, que proporciona metodologías para tomar decisiones sobre los sistemas auditados, por lo tanto, debe tenerse en cuenta que no todas las empresas manejan y manipulan la información de la misma manera.

- Auditoría Interna: Según el Instituto de Auditores Internos (The Institute of Internal Auditors- IIA), definieron la auditoría interna como "La actividad independiente y objetiva de aseguramiento y consulta concebida para agregar valor y mejorar las operaciones de una organización. Ayuda a una organización a cumplir sus objetivos aportando un enfoque sistemático y disciplinado para evaluar y mejorar la eficacia de los procesos de gestión de riesgos, control y gobierno".

- Auditoría Externa: La auditoría externa son los métodos utilizados por una compañía externa para examinar sistemáticamente las herramientas que respaldan la administración de la compañía, aquellos sistemas que respaldan algún procedimiento que puede auditarse para determinar la integridad del estado actual de los documentos, archivos e información. Eso causó la entrada de información. Como resultado, se emite un concepto independiente

de sistemas de información y se harán sugerencias de acuerdo con los hallazgos y la evidencia encontrada, para dar fe pública sobre el procedimiento desarrollado para examinar los procesos, validar la evidencia ante terceros y formular los procedimientos para la mejora continua.

2. MARCO NORMATIVO EN COLOMBIA SOBRE DESARROLLO DE SOFTWARE

Ley 1341 de 2009 Define principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las TIC, constituyendo en el marco general para la formulación de las políticas públicas que rigen el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, su ordenamiento genera [4].

Sobre ellas en bases de datos o archivos, y los demás derechos, libertades y garantías constitucionales a que se refiere el artículo 15 de la Constitución Política; así como el derecho a la información consagrado en su artículo 20. Asimismo, los principios y disposiciones contenidos en esta ley son aplicables a los datos personales registrados en cualquier base de datos que los haga susceptibles de ser tratados por entidades de naturaleza pública o privada [5].

Ley Estatutaria 1266 de 2008 tiene como disposiciones generales del Habeas Data y regulación del manejo de la información contenida en bases de datos personales, especialmente financiera, crediticia, comercial, de servicios y la proveniente de terceros países y se dictan otras disposiciones [6].

Ley 603 de 2000 (Derechos de Autor) Es a través de la cual se modifica el artículo 47 de la Ley 222 de 1995 donde se establece que los informes de gestión deben contener una presentación fiel sobre la evolución de los negocios y la situación económica, administrativa y legal de la empresa [7].

Ley 1712 de 2017 Mediante la cual se crea la ley de transparencia y del derecho de acceso a la información pública

nacional y otras disposiciones que se emiten [8].

Por medio del decreto 1377 DE 2013 se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012, por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. De la misma forma, indica lo que está relacionado con el procesamiento de datos en el ámbito personal o doméstico, definiciones, autorización, políticas de tratamiento, ejercicio de los derechos de los propietarios, transferencias y transmisiones internacionales de datos personales y responsabilidad demostrada hacia el procesamiento de datos personales [9].

3. METODOLOGÍAS PROPUESTAS

A continuación se realiza una descripción de las tres metodologías propuestas y los aspectos que se destacan para su aplicación en la investigación propuesta:

3.1 Metodología PMBOK

Planificar la gestión de los riesgos es el proceso organizacional que pretende realizar identificación, análisis, planificación de respuesta al riesgo, para así aumentar la probabilidad y el impacto de las oportunidades, y disminuir la probabilidad y el impacto de las amenazas.



Figura 1. Mapa de riesgos de un proyecto de software

Si bien existen varios modelos de gestión del riesgo, uno de los más utilizados en proyectos es la guía de los

los fundamentos para la dirección de proyectos [10].

Los objetivos de la gestión de los riesgos del proyecto consisten en aumentar la probabilidad y el impacto de los eventos positivos y disminuir la probabilidad y el impacto de los eventos negativos.

De acuerdo a la descripción y definición del PMBOK se plantean seis actividades a realizar en cuanto a la gestión del riesgo: planificar la gestión de riesgos, identificar los riesgos, realizar el análisis cualitativo de los riesgos, realizar el análisis cuantitativo de los riesgos, planificar la respuesta a los riesgos y monitorear y controlar los riesgos.

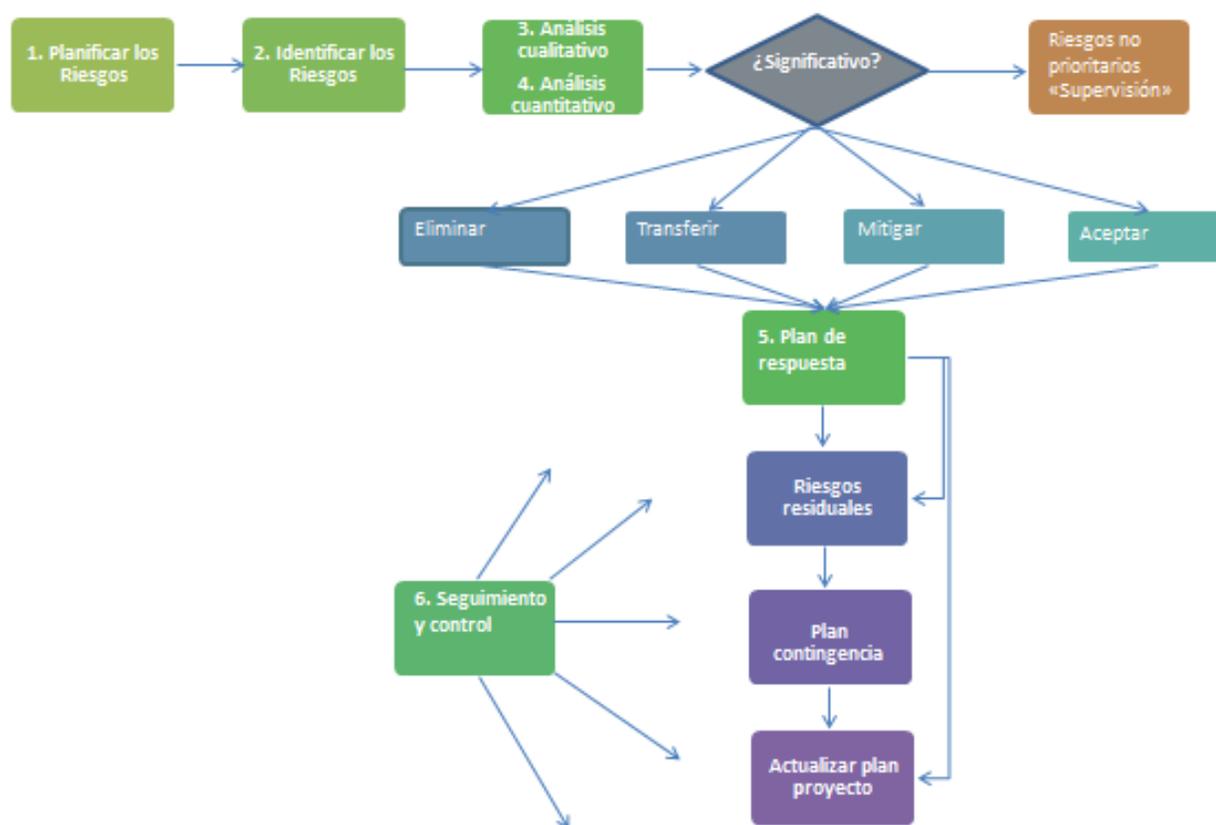


Figura 2. Actividades de gestión del riesgo

3.1.1 *Planificar la gestión de los riesgos.* Es el proceso de definir como realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto relacionado con software.

3.1.2 *Identificar los Riesgos.* Consiste en determinar los riesgos que pueden afectar el proyecto y documentar sus características los cuales se establecerán en la matriz de riesgos en la etapa de identificación del proyecto.

3.1.3. *Realizar el análisis de riesgos cuantitativos.* Consiste en analizar numéricamente el efecto de los riesgos identificados en el proyecto, los cuales se manejarán en la matriz de riesgos identificando el impacto, la probabilidad, valoración del riesgo.

3.1.4. *Realizar análisis de riesgos cualitativos.* Consiste en priorizar los riesgos para llevar a cabo las acciones

posteriores, evaluar y combinar la probabilidad de ocurrencia y el impacto de dichas acciones que se establecerán en la matriz de riesgos, en la etapa de análisis cualitativo.

opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto, los cuales se identificarán en la matriz de riesgos en la periodicidad de la gestión de los riesgos.

3.1.5. Planificar los riesgos. Comiste en desarrollo

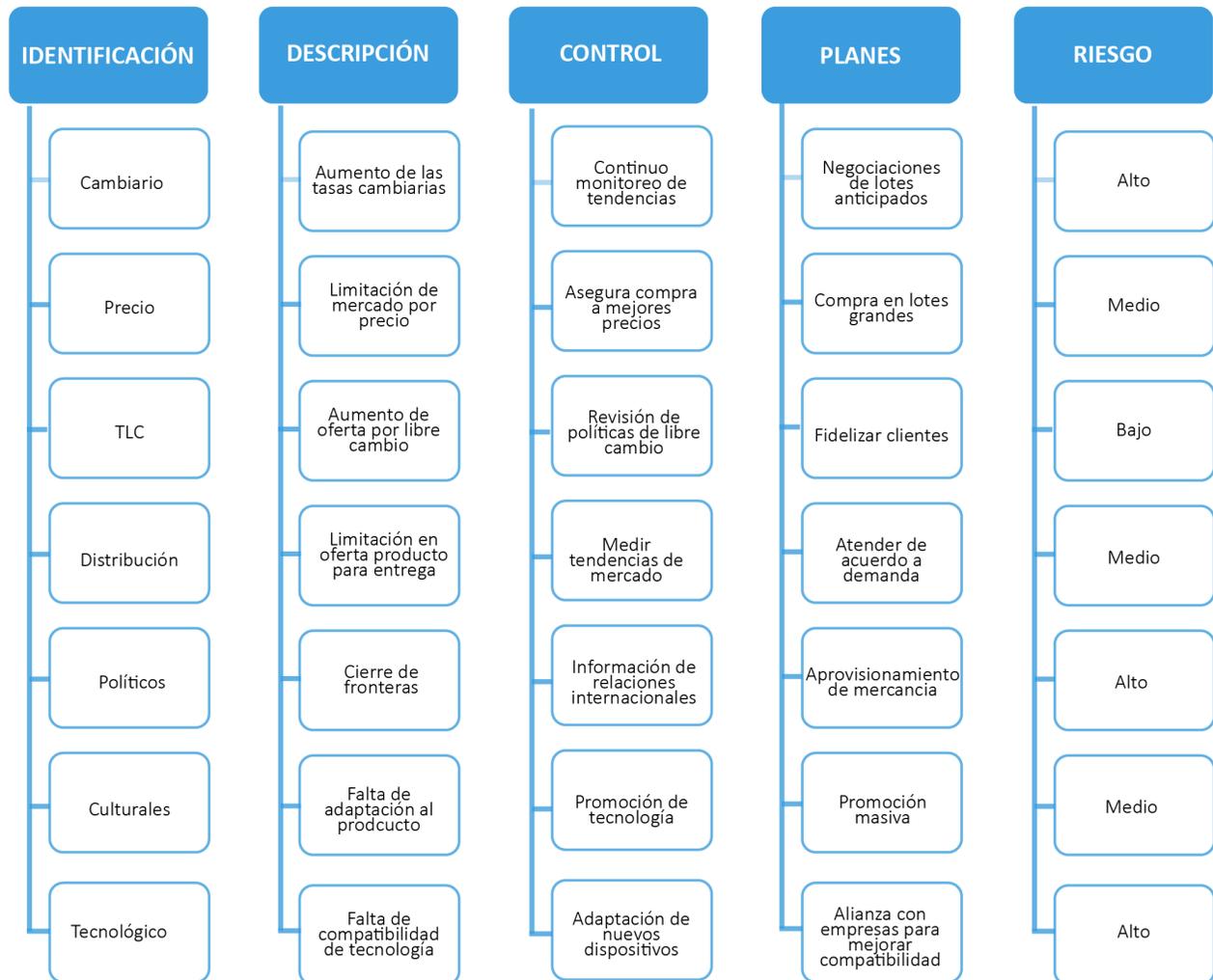


Figura 3. Matriz temática de posibles riesgos de un proyecto.

3.1.6. Dar respuesta a los riesgos. Consiste en implementar la respuesta al riesgo, para que los riesgos identificados sean rastreados y monitoreados, esto permite identificar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del

proceso contra los riesgos a través del proyecto, que se identificarán en la matriz de riesgos en el control y periodicidad de riesgos.

No.	TIPO DE RIESGO	RIESGO	EFECTO	IMPACTO	PROBABILIDAD	EVALUACION DE RIESGO		
						CALIFICACION	SEVERIDAD	
							VALOR	NIVEL
1	CAMBIARIO	AUMENTO EN LAS TASA DE CAMBIO DE LA MONEDA DE ADQUISICION (Proveedores) CON RESPECTO A LA MONEDA LOCAL	MAYOR PRECIO PARA EL PAIS DE DESTINO DE LOS PROVEEDORES	3	2	6	3	ALTO
2	PRECIO	LIMITACIONES DE MERCADO POR PRECIO	MANOR INTENSION DE COMPRA DEL CONSUMIDOR FINAL	2	1	2	2	MEDIO
3	TLC	AUMENTO DE LA OFERTA POR LIBRE CAMBIO	DISMINUCION DE IMPACTO EN EL MERCADO	1	2	2	1	BAJO
4	DISTRIBUCION	LIMITACION DE OFERTA PDE PRODUCTO PARA LA ENTREGA AL CONSUMIDOR	MALA IMAGEN DEL PRODUCTO E INAPETENCIA DEL CONSUMIDOR	2	2	4	2	MEDIO
5	POLITICOS	CAMBIO DE POLITICAS DEL GOBIERNO NACIONAL	FALTA DE INVENTARIO PARA VENTA	3	2	6	3	ALTO
6	CULTURALES	FALTA DE ADAPTACION DE USO DE PRODUCTO POR NO SABER COMO HACERLO	POCO ISO DE LOS BENEFICIOS TECNOLOGICOS	2	2	4	2	MEDIO
7	TECNOLOGICOS	FALTA DE COMPATIBILIDAD DE TECNOLOGIA CON MEDIOS LOCALES	USO INADECUADO DEL PRODUCTO	3	2	6	3	ALTO

NIVEL DE SERVICIO		
CALIFICACION	VALOR	RIESGO
9	3	ALTO
6	3	ALTO
4	2	MEDIO
2	2	MEDIO
3	1	BAJO
1	1	BAJO

Figura 4. Matriz de valoración de riesgos de un proyecto

3.1.6. Identificación y monitoreo de riesgos.

Riesgos técnicos o calidad: Relacionados con el rendimiento tanto del software como de las TIC

1. No contar con la suficiente experiencia para desarrollar el proyecto.
2. Fallas en la ingeniería de requerimientos.
3. No disponer de dispositivos de última tecnología.
4. Desconocimiento sobre licenciamiento.
5. No conocer temas de derechos de autor.

Riesgos en la gerencia de proyecto:

1. Diseño adecuado de los ETL y cronogramas con tiempos de holgura.

2. Identificar a los expertos adecuados que apoyen el proyecto.

3. Diseño y calidad de los entregables que estén acorde al acta de constitución y sus entregables.

Riesgos externos:

1. Cambio de políticas de gobierno o nuevos estándares de desarrollo de software.
2. Problemas relacionados con virus o malware.
3. Cambio de las partes interesadas definidas al inicio del proyecto.
4. Cambios de la TRMN alzas de moneda exterior.
5. No levantamiento de la cultura empresarial destino.

Después de entrevistar a 10 líderes de tecnología de

universidades, empresas privadas y del sector gobierno es posible identificar que existen diferentes riesgos en el proceso de desarrollo de software, autores como Bannerman indican que es necesario usar diferentes metodologías para realizar la gestión de riesgos [1].

3.2 Ciclo PHVA

El movimiento de calidad japonés trajo consigo el ciclo de mejoramiento PHVA también conocido como el ciclo de Shewhart, creado por Walter Shewhart que posteriormente fue Popularizado y efectivamente aplicado por Edward Deming, [11]. Este ciclo ha sido la base de estándares de calidad y modelos de mejora continua como ISO 9000, Six Sigma y BPM.

En los proyectos y para el PHVA es importante trabajar bajo el marco de la planeación estratégica es por eso la importancia que dentro del proyecto se defina el ciclo enfocado desde tres puntos de vista estratégico, táctico y operativo. El estratégico con el componente de gobernanza en cuanto a las estrategias, metas y objetivos, políticas y procedimientos; el táctico todo lo correspondiente a gestión de riesgos y en el operativo todo lo correspondiente al cumplimiento con sus procesos, controles y actividades, para que así mismo se definan los elementos del modelo de acuerdo a la normatividad y buenas prácticas mencionadas tomando el Ciclo PHVA de Deming (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), en cada una de sus etapas.

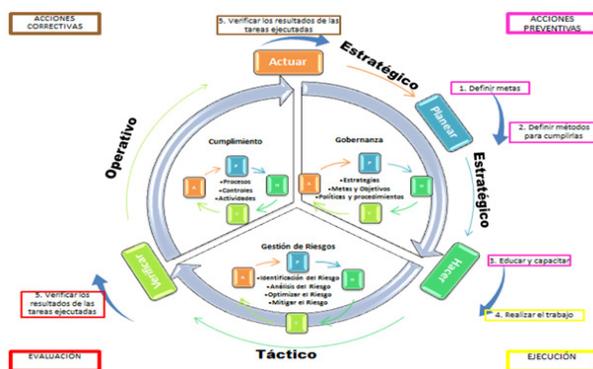


Figura 5. Ciclo PHVA ajustado a riesgos

El ciclo PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar) es de gran utilidad para estructurar y ejecutar proyectos de mejora de la calidad y la productividad en cualquier proyecto, esto se entiende como una herramienta para la mejora integral, que presenta 4 aspectos fundamentales que deben llevarse a cabo sistemáticamente para lograr la mejora continua, donde las salidas de una fase son las entradas de la siguiente fase y el ciclo de repetición debe repetirse nuevamente, de modo que las actividades se reevalúen periódicamente para incorporar nuevas mejoras, asegurando así que se forme una red de trabajo de calidad [12].

Lo anterior comprendiendo la mejora continua de la calidad en términos de (reducción de fallas, aumento de la eficacia y la eficiencia, resolución de problemas, previsión y eliminación de riesgos potenciales...); Por eso es tan importante que para proyectos de consultorías o incluso en proyectos del diario vivir se apliquen conceptos básicos que funcionan para evitar el riesgo de pérdida de control.

3.2.1. *Planear.* Fase preliminar en la que se identifican problemas o actividades susceptibles de mejora y definen los objetivos y metas a alcanzar. A partir de un buen conocimiento de la situación del proyecto y los posibles puntos críticos, determinar los procesos afectados, factores clave, responsables, entre otros, que en conjunto buscan obtener los resultados esperados. En gestión de proyectos, algunas de las actividades para la planificación son:

- Tener clara las necesidades reales del cliente
- Definir el alcance del producto final.
- Definir mecanismos a seguir para realizar el seguimiento y control.
- Definir los planes necesarios para la correcta ejecución del proyecto [13].

En general como principio es definir y construir la línea base que se debe tener en cuenta en la ejecución y seguimiento y control para obtener el producto o servicio deseado, que después con la ayuda de las otras fases pueda ser transformado para el cumplimiento de los objetivos en el ejercicio de la mejora continua.

3.2.2. *Hacer*. En esta etapa se comienza a ejecutar lo planificado, por lo tanto se realizará la identificación, análisis y evaluación de las vulnerabilidades, Amenazas y riesgos potenciales para definir controles para mitigarlos, para este fin, las acciones que, en base al diagnóstico previo, permiten resolver el problema o corregir las deficiencias. Es importante tener en cuenta que la ejecución de lo planeado en la fase anterior debe desarrollarse en el orden estipulado y en detalle en su totalidad para obtener los resultados esperados. Teniendo en cuenta que en la gestión de proyectos, no se deben omitir los pasos planificados, ya que se puede incurrir en riesgos de que las actividades se vean perturbadas, generalmente es aconsejable realizar una prueba piloto para probar la operación antes de realizar cambios a gran escala.

3.2.3. *Verificar*. Una vez implantada la mejora, se deja un periodo de prueba para verificar su correcto funcionamiento, es por eso que en esta etapa sobresale la verificación de los resultados de las acciones implementadas con las hipótesis efectuadas en el diseño de la planificación para cumplir con los requerimientos y objetivos del proyecto.

Por lo tanto, se presta especial énfasis en monitorear, revisar e interpretar los resultados obtenidos, las herramientas, controles y actividades realizadas con el fin de comprobar en qué medida se ha acertado o no en la búsqueda de la solución requerida y que tan eficientes resultaron.

3.2.4. *Actuar*. El equipo del proyecto trata de establecer la relación causa efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta) para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Finalmente, se determina el rango operativo de los parámetros o variables de entrada del proceso [14].

Por último, se deben estudiar los resultados obtenidos y compararlos con el funcionamiento de las actividades antes de haber sido implantada la mejora, para así poder comprobar si arrojan resultados satisfactorios o por

mejorar.

Si los resultados son positivos realizan los ajustes necesarios para implementar la mejora de forma definitiva, además se documentan las mejoras que deben ser adicionadas a todo el proceso con los respectivos controles de cambios, Si por el contrario se evidencio que la mejora no cumplió las expectativas iniciales se deben establecer las acciones correctivas y modificaciones para las falencias evidenciadas en el proyecto con la finalidad de ajustar los aspectos necesarios para cumplir los objetivos esperados a fin de obtener la retroalimentación respectiva para la búsqueda de soluciones.

Una vez cumplido lo anterior es indispensable retornar al primer ciclo con cierta periodicidad para mantener la mejora continua y estudiar nuevas mejoras a implementar. El aspecto positivo de esta metodología es que el resultado se expresa en valores económicos. Además, concientiza a los responsables de los sistemas de información de la existencia de los riesgos y de la necesidad de atajarlos a tiempo y así como dice H. James Harrington “La medición es el primer paso para el control y la mejora. Si algo no se puede medir, no se puede entender. Si no se entiende, no se puede controlar. Si no se controla, no se puede mejorar” [15].

1.3. Metodología MAGERIT

Siguiendo la terminología de la normativa ISO 31000, Magerit responde a lo que se denomina “Proceso de Gestión de los Riesgos”, sección 4.4 (“Implementación de la Gestión de los Riesgos”) dentro del “Marco de Gestión de Riesgos”. En otras palabras, MAGERIT implementa el Proceso de Gestión de Riesgos dentro de Un marco para que las agencias gubernamentales tomen decisiones teniendo en cuenta los riesgos derivados del uso de las tecnologías de la información, [16].

En este sentido, fue desarrollado MAGERIT una metodología de análisis y gestión de riesgos creada por el Consejo Superior de Administración Electrónica de España, bajo la apreciación de que la administración en general crece y es

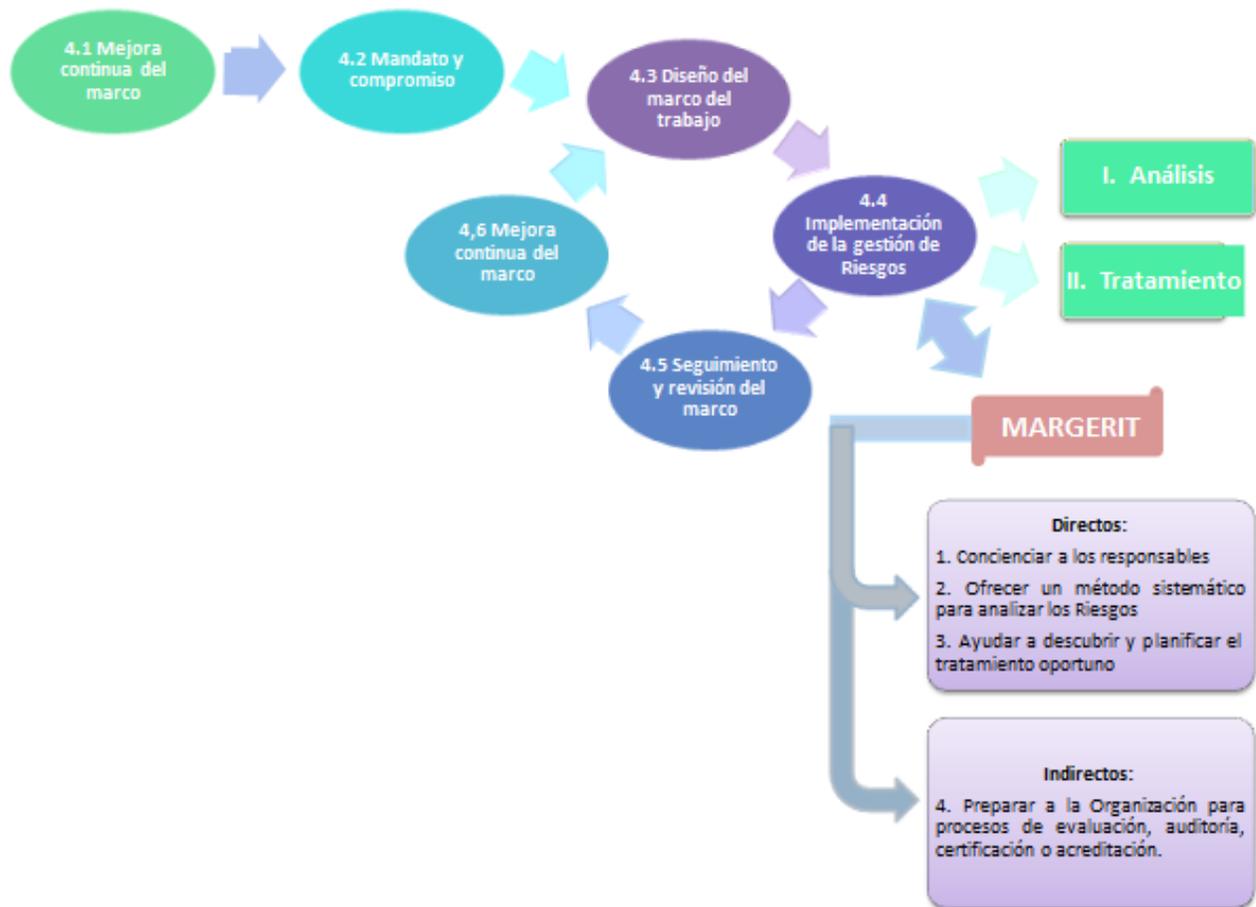


Figura 6. ISO 31000 – Marco de trabajo para la gestión de riesgos

dependiente a las tecnologías de la información para el cumplimiento en general de la administración y de las otras áreas [16].

En el preámbulo de esta metodología se pueden resaltar los riesgos que soporta un sistema de información y su entorno, concibiendo el riesgo como la probabilidad de que ocurra o se materialice un peligro, esto en una aproximación inicial se ciñe a la aceptación habitual del término, además de recomendar las medidas apropiadas que deberían adoptarse para conocer, prevenir impedir, reducir o controlar los riesgos investigados [17].

Los factores claves para el análisis de riesgos, según

Magerit son: activo, amenaza, vulnerabilidades, impacto, riesgo y salvaguardas (funciones, servicios y mecanismos) [18]. De la misma manera, el proceso de análisis de riesgos se desarrolla en las siguientes etapas: planificación, análisis de riesgos, gestión de riesgos y selección de salvaguardas [19].

Puntualmente, MAGERIT detalla la metodología desde los siguientes aspectos: describe los pasos para realizar un análisis del estado del riesgo a partir de analizar el impacto que puede tener una compañía víctima de la violación de la seguridad, identificar las amenazas que pueden llegar a afectar a la empresa y las vulnerabilidades de las cuales pueden aprovecharse las amenazas, a

continuación guía para gestionar la mitigación del riesgo, consiguiendo contar con una identificación más acertada de las medidas preventivas y correctivas más apropiadas.

Adicionalmente, determina las actividades primordiales para ejecutar un proyecto de análisis y gestión de riesgos y en uno de sus capítulos se aplica la metodología en un caso de desarrollo de Sistemas de Información (SI). Además, evidencia varios aspectos prácticos que emanan

de la experiencia acumulada a lo largo del tiempo para el análisis y la gestión del riesgo de manera efectiva [20].

5. RESULTADOS

Al realizar la comparación de las metodologías propuestas se presenta la siguiente propuesta que tiene en cuenta los mejores aspectos de cada una de ellas y se presenta a continuación:

Tabla 1. Comparativo entre PMBOK, MARGERIT Y PHVA

Criterio de comparación	Metodologías de Riesgos evaluadas		
	Project Management Institute PMBOK® para gestión de riesgos	MARGERIT	PHVA
Definición de la metodología	La gestión de riesgos de proyecto por medio del proceso de identificación, análisis y respuesta a un riesgo, maximización de las consecuencias de los eventos positivos y la minimización de la ocurrencia de un evento negativo, permite anticipar problemas y oportunidades, asegurando el logro de metas de fechas, costos y alcance	El método MARGERIT tiene un doble objetivo, primero estudiar los riesgos que soporta un determinado sistema de información y el entorno asociable con él, entendiendo por riesgo la posibilidad de que suceda un daño o perjuicio; y segundo recomendar las medidas apropiadas que deberían adoptarse para conocer, prevenir, impedir, reducir o controlar los riesgos investigados.	PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), por medio de una secuencia de actividades entrelazadas que le permitirá a cualquier organización involucrar la gestión del riesgo en la identificación y/o descripción de procesos en sus sistemas de gestión, realizando así una mejora continua en sus procesos.
Sector de aplicación	Todos, pero especialmente probado en proyectos de software, ingeniería y construcción.	Maneja una visión estratégica global sobre la Seguridad de los Sistemas de Información de las Administraciones Públicas.	Método de gestión se puede utilizar en cualquier tipo de empresa y se aplica principalmente para convertirlo procesos claros y ágiles para la gestión y medición de resultados.
Etapas de la gestión del riesgo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestión de riesgos y planificación. 2. Identificación de riesgos. 3. Análisis cualitativo del riesgo. 4. Análisis cuantitativo. 5. Planes de respuesta para riesgos. 6. Monitoreo y control de riesgos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir el alcance de estudio. 2. Establecer los activos relevantes de la organización. 3. Determinar a qué vulnerabilidades y/o amenazas están expuestos esos activos. 4. Conocer cuáles son los planes de contingencia. 5. Conocer el impacto de presentarse una amenaza sobre el activo. 6. Tratar el riesgo de probabilidad de ocurrencia de esa amenaza. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planificación de sus actividades basado en un enfoque de procesos con sus respectivos riesgos. 2. Ejecutar las actividades focalizando los procesos más críticos para la organización. 3. Controlar lo planificado contra lo realizado. 4. Mejora continua de los propios procesos de auditoría y las respectivas actividades.

Técnicas y herramientas para la identificación de los riesgos	<ul style="list-style-type: none"> • Revisiones de documentación. • Técnicas de recopilación de información. • Análisis mediante lista de control. • Análisis de asunciones. • Técnicas de diagramación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas específicas para el análisis de riesgos. • Técnicas generales. • Técnicas gráficas. • Sesiones de trabajo. • Valoración Delphi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de la información recabada del auditado. • Análisis de la información propia. • Simuladores (Generadores de datos). • Paquetes de auditoría (Generadores de programas).
Herramienta informática	<p>No tienen un software propio para gestionar la metodología sin embargo se apoya en Project de Microsoft, así mismo se hacen presente el uso de varias herramientas informáticas.</p>	<p>Posee herramientas para el análisis de riesgo como PILAR, acrónimo de “Procedimiento Informático-Lógico para el Análisis de Riesgos” es una herramienta desarrollada bajo especificación del Centro Nacional de Inteligencia para soportar el análisis de riesgos de sistemas de información siguiendo la metodología Magerit.</p>	<p>No tienen un software propio para gestionar la metodología sin embargo se apoya en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Software de auditoria multi-sitio. • Centros de competencia. • Snapshot. • Mapping. • Tracing y flujo grama de control. <p>Software para SGSIEI Software ISOTools Excellence ISO-27001 para Riesgos y Seguridad de la Información.</p>
Objetivos	<p>La gestión de riesgos de proyecto por medio del proceso de identificación, análisis y respuesta a un riesgo, maximización de las consecuencias de los eventos positivos y la minimización de la ocurrencia de un evento negativo, permite anticipar problemas y oportunidades, asegurando el logro de metas de fechas, costos y alcance.</p>	<p>Concientizar sobre la existencia de los riesgos y de la necesidad de atacarlos a tiempo ofrecer un método sistemático para analizar los riesgos ayudar a descubrir y planificar las medidas oportunas para mantener los riesgos bajo control.</p>	<p>Siempre busca la optimización de las acciones por medio del análisis de: indicadores, logros obtenidos y programas de mejora ya implementados.</p>

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las investigaciones previas realizadas en los grupos de investigación gracias a los aspectos publicados fue posible abordar las temática expuesta.

REFERENCIAS

- [1] Bannerman, P. L. (2008). “Risk and risk management in software projects: a reassessment. Journal of Systems and Software”, 81(12), 2118-2133. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2008.03.059>.
- [2] Pinna, C. C. A., & Carvalho, M. M. (2008). Gestão de escopo em projetos de aplicações web. Revista Produção OnLine, v. 8, n. 1, p. 1-8. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v8i1.25>.
- [3] Jiang, J. J., Klein, G., & Discenza, R. (2001). Information System Success as Impacted by Risks and Development Strategies IEEE. Transactions on Engineering Management, 48(1), 46-55. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/17.913165>.
- [4] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC) (2009, Jul, 30). “Normatividad - Ley 1341 30 de jul de 2009” [Online].

- Disponible en: https://mintic.gov.co/portal/604/articulos-8580_PDF_Ley_1341.pdf
- [5] Presidencia de la República de Colombia (2012, Oct, 17). “Normativa de la Presidencia - Ley Estatutaria 1581 de 2012” [Online]. Disponible en: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/LEY%201581%20DEL%2017%20DE%20OCTUBRE%20DE%202012.pdf>
- [6] Alcaldía Mayor de Bogotá (2008, Dic, 31). “Compilación de Normatividad, Doctrina y Jurisprudencia - Ley Estatutaria 1266 de 2008” [Online]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=34488#0>
- [7] Alcaldía Mayor de Bogotá (2000, Jul, 27). “Compilación de Normatividad, Doctrina y Jurisprudencia - Ley 603 de 2000 Nivel Nacional” [Online]. Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13960&dt=S>
- [8] Observatorio de Transparencia y Anticorrupción (2014, Mar, 06). “Normatividad- Ley 1712 de 2017” [Online]. Disponible en: <http://www.anticorrupcion.gov.co/SiteAssets/Paginas/Publicaciones/ley-1712.pdf>
- [9] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC) (2013, Jun, 26). “Normatividad- Decreto 1377 de 2013” [Online]. Disponible en: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/4274:-Decreto-1377-de-2013>
- [10] PMI. Project Management Institute. INC. (2017) “Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos- Guía del PMBOK”. Sexta Edición.
- [11] STRATEC (2013, Ago). “PHVA automatizado” [Online]. Disponible en: <https://www.stratecsoluciones.com/blog/pdca-automatizado-2/>
- [12] ISO. (Dic, 2003). Orientación sobre el concepto y uso del “Enfoque basado en procesos” para los sistemas de gestión, Documento: ISO/TC 176/SC 2/N 544R2
- [13] G.L. Idrobo Burbano y I. L. Jojoa López, “Proceso para gerenciar proyectos de pruebas de software en empresas especializadas de servicios de aseguramiento de la calidad de software” trabajo de fin de máster, Facultad de Ingeniería Departamento Académico de Tecnologías de Información y Comunicaciones, Maestría En Gestión Informática Y Telecomunicaciones, Universidad ICESI, Santiago de Cali, 2012.
- [14] M. M. Pérez riquett y I. J. Plata silva, “Diseño de un modelo para el mejoramiento de la productividad y competitividad de la línea de comedor Houston en la empresa arte & estilo basado en la metodología lean seis sigma” Tesis de Ingeniería, Master en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Industrial, universidad de la costa CUC, barranquilla, 2013.
- [15] Eficiente (2019, Ago, 22). “Medir para mejorar, la apuesta como valor diferencial de CP Grupo” [Online]. Disponible en: <http://www.cpeficiente.com/medir-para-mejorar-la-apuesta-como-valor-diferencial-de-cp-grupo/>
- [16] Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, “MAGERIT – versión 3.0. Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información”, Madrid, NIPO: 630-12-171-8, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.ccn-cert.cni.es/documentos-publicos/1789-magerit-libro-i-metodo/file.html>
- [17] M. Juan. Planes de Contingencia: La Continuidad del Negocio en las Organizaciones, España: Ediciones Díaz de Santos, 2006.
- [18] Ministerio de Admisiones Públicas, “Magerit Versión 2- Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información”, Madrid, NIPO: 326-05-047-X, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.ar-tools.com/doc/magerit/v2/meth-es-v11.pdf>
- [19] Ministerio de Admisiones Públicas, “MAP- Metodología MAGERIT Versión 1.0- Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información, Guía para responsables del dominio protegible”, Madrid. [En línea]. Disponible en: http://dis.um.es/~barzana/Curso03_04/MAGERIT.pdf
- [20] Instituto nacional de tecnologías de la comunicación, “Guía Avanzada de Gestión de Riesgos” (2008, Diciembre), Madrid. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/5994322-Guia-avanzada-de-gestion-de-riesgos-Incs.html>

DISEÑO DE UNA ESTACIÓN TERRENA SDR PARA SATÉLITES DE ÓRBITA BAJA

Design of a SDR ground station for Low-orbit satellites

Jaime Enrique Orduy Rodríguez¹, Iván Felipe Rodríguez Barón², Cristian Andrés Cubillos Chaparro³.

¹⁻³Departamento de Ingeniería Aeronáutica, Fundación Universitaria los Libertadores (Bogotá, Colombia)

Email: ¹jeorduyr@libertadores.edu.co, ²ifrodriguez@libertadores.edu.co,

³cacubillosc@libertadores.edu.co.

(Recibido Agosto 15 de 2019 y aceptado Febrero de 2020)

Resumen

Los sistemas espaciales se caracterizan por la planeación y creación de todos sus segmentos con el fin de que en conjunto se cumpla una misión; con relación a estos sistemas, en Colombia han sido desarrollados dos misiones espaciales: el Libertad 1, un CubeSat DE 1U de la Universidad Sergio Arboleda y el FACSAT1, un CubeSat de 3U de la Fuerza Aérea Colombiana. Dichas misiones generaron el desarrollo completo del segmento espacial denominado satélite, a su vez han generado el segmento terrestre denominado Estación terrena. Para el asegurar el éxito del cumplimiento de la misión se hace necesario tener control sobre el desarrollo del segmento terrestre; es decir, las estaciones terrenas, por esta razón, y con la motivación de la construcción del segmento terrestre de una misión espacial en la Fundación Universitaria Los Libertadores, se logró definir un diseño preliminar para rastrear satélites del tipo pico y nano dentro del segmento radioaficionado o universitario. Con base en la investigación aplicada se buscó la generación de conocimiento dentro de la institución con la aplicación en el sector espacial, desarrollando las pautas necesarias que permitieran la identificación de los diferentes componentes para la construcción de una Estación Terrena para pequeños satélites. Con la búsqueda de las capacidades necesarias para obtener una recepción adecuada de los satélites, se obtuvo una estación terrena de bajo costo usando tecnología comercial y, principalmente, componentes de hardware del tipo SDR. Finalmente, se realizó una comparación con estaciones terrenas bajo costo para mirar la contribución en Colombia.

Palabras clave: estación terrena, CubeSat, satélite, SDR.

Abstract

Space systems are characterized by the planning and creation of all their segments in order for a mission to be accomplished together; regarding these systems, two space missions have been developed in Colombia: Libertad 1, a 1U CubeSat from Sergio Arboleda University and FACSAT1, a 3U CubeSat from the Colombian Air Force. These missions generated the complete development of the space segment called satellite, in turn they have generated the terrestrial segment called ground station. In order to ensure the success of any mission, it is necessary to have control over the development of the ground segment, it does it mean, the ground stations; for this reason, and being motivated in this segment at the Fundación Universitaria Los Libertadores, it was possible to define a preliminary design to track pico and nano satellites within the amateur or university segment. Based on applied research, the generation of knowledge was sought within the institution with its application in the space sector, developing the necessary guidelines that would allow the identification of the different components for the construction of an Earth Station for small satellites. With the search for the necessary capacities to obtain an adequate reception of the satellites, a low-cost earth station was obtained using commercial technology and mainly hardware components of the SDR type. Finally, a comparison was made with low cost earth stations to look at the contribution in Colombia.

Key words: *ground station, CubeSats, satellite, SDR.*

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de esta investigación se basa en el desarrollo tecnológico del segmento terrestre de las misiones espaciales en Colombia, determinando la realización del diseño preliminar para la futura implementación de una Estación Terrena de bajo costo para rastreo de satélites de órbita baja-LEO- en la Fundación Universitaria los Libertadores, que pueda servir de ayuda para la implementación del segmento terrestre en proyectos de pico y nanosatélites en universidades con el propósito de tener autonomía sobre la planificación y ejecución de este segmento, en vez de comprar los equipos y depender tecnológicamente de empresas extranjeras.

El segmento espacial de los sistemas espaciales ya diseñados y activos en el espacio, como los satélites del servicio radioaficionado y del tipo universitarios alrededor del mundo, se pueden comunicar con un segmento terrestre diferente al desarrollado por ellos, esto se logra con la implementación de una estación terrena que satisfaga las necesidades y protocolos de comunicación, con el análisis previo de cada misión. La importancia de desarrollar estas estaciones se centra en la capacitación de la mano de obra y el fortalecimiento de la academia en temas aeroespaciales. De esta forma, se presenta del diseño preliminar de la Estación terrena denominada FULL-ET, basada en el documento proceso de referencia para el desarrollo de la arquitectura de una estación terrena para pico y nanosatélites.

2. SISTEMA DE ESTACIÓN TERRENA (GSTS)

Una estación terrena es un conjunto de equipos de comunicaciones y de cómputo que puede ser fijo o móvil [1], las estaciones terrenas usualmente tienen el principal propósito de transmitir, recibir y realizar seguimiento de un satélite y estas son de total importancia para el éxito de una misión debido a que es el primer y el último punto del enlace de comunicación. Además, se pueden

establecer, según Ichikawa otras funciones de las estaciones [2], siendo:

Operaciones de telemetría: son utilizadas para la adquisición y registro de datos y estado del satélite.

Operaciones de telecomando: son usadas para la interrogación y control de las funciones del satélite.

Operaciones de control para poder determinar los parámetros orbitales, programar los pasos del satélite y monitorear la carga del computador abordo.

Operaciones de procesamiento de datos para poder presentar los datos científicos e ingenieriles de la forma adecuada para la misión.

Permitir los enlaces de voz y datos a otras estaciones en diferentes partes del mundo. Por otro lado, las estaciones pueden ser clasificadas en de acuerdo con Penna [3] en:

Estación fija: Este tipo de estación se encuentra localizada en un único punto determinado, para ser construida debe tener un previo estudio sobre factores que puedan afectar para la interacción con el satélite, tales como: altura, topografía del lugar (edificios y alteraciones del terreno como montañas), clima y demás circunstancias que puedan ser relevantes para el establecimiento de esta estación.

Estación móvil: son las estaciones que pueden tener comunicación con un satélite en diferentes puntos o estando en movimiento, estas usualmente cuentan con equipamiento básico para su facilidad de traslado las que son llevadas, principalmente, en medios de transporte.

Estación universitaria: estas estaciones básicamente son diseñadas para tener comunicación con satélites desarrollados por estudiantes y, esencialmente, son construidas con servicios de radioaficionados.

Asimismo, las estaciones terrenas universitarias están

principalmente diseñadas para comunicarse con satélites desarrollados por estudiantes y/o profesores. El tamaño y la complejidad de la estación se establecerán por el servicio que desempeñará y las características operativas requeridas por el segmento espacial. Las estaciones de estos proyectos se construyen con base a los conocimientos técnicos del servicio radioaficionado, realizando la comunicación en las bandas UHF y VHF, reguladas por International Amateur Radio Union (IARU), y utilizando paquetes del protocolo de comunicación AX.25 [4].

La Figura 1 representa, por medio de un diagrama de bloques, los subsistemas de la estación, siendo éstos: el sistema irradiante, el control de la antena, el transceptor de RF, el módem, el software de gestión y la interfaz de usuario, y sus relaciones con los otros segmentos que componen una misión espacial, como el CCS y el segmento espacial.

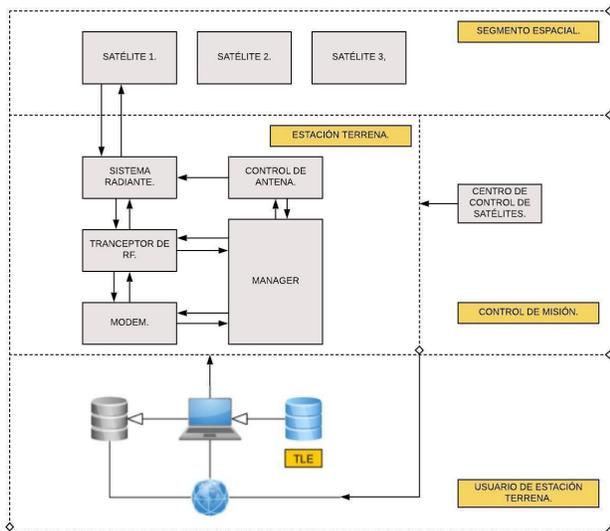


Figura 1. Diagrama de bloques para una estación terrena para pico y nanosatélites [5]

3. METODOLOGÍA

De acuerdo con Lozada la investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación a los problemas del sector productivo con base en los hallazgos

tecnológicos de la investigación básica, ocupándose de la unión entre la teoría y el producto [6]. Con lo anterior, el proyecto se dividió en tres fases:

Fase I: Conceptualización del desarrollo de la estación terrena en la Fundación Universitaria los Libertadores.

Fase II: Evaluación de las necesidades para la implementación de una estación terrena, teniendo en cuenta las características de operación deseadas.

Fase III: Montaje preliminar de la estación terrena y pruebas en el lugar planteado, especificando el tipo de componentes que se implementarán, siempre buscando el menor costo, pero la mejor eficiencia de trabajo.

El diseño preliminar de la Estación Terrena a ser implementada en la Fundación Universitaria los Libertadores está basado en el documento "Processo de referência para o desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para pico e nanosatélites", el cual presenta un proceso de referencia para la implementación de estaciones terrenas para Picosatélites y Nanosatélites, de acuerdo con las necesidades de la misión, de tal manera que, se pudiera tomar la mejor decisión a la hora de evaluar la planeación y la ejecución del segmento terrestre de proyectos con pequeños satélites.

De acuerdo con Orduy en proyectos de pequeños satélites realizados en Brasil, los equipos de desarrollo de estos proyectos compraron y utilizaron infraestructuras de estaciones terrenas existentes, con el fin de no preocuparse por el desarrollo paralelo de la estación terrena. Esta decisión genera ventajas, ya que ahorra tiempo, recursos humanos y fundamentalmente dinero. Sin embargo, el diseñar la estación terrena junto con el segmento espacial aumenta la capacidad de modificación das arquitecturas física y funcional, ya que previene defectos de compatibilidad entre la estación y el segmento espacial [5].

El diseño de la Estación Terrena a ser implementada en la Fundación Universitaria los Libertadores tendrá en cuenta la flexibilidad de la operación y el bajo costo. Además, el diseño se realiza con un abordaje Bottom-Up o análisis

ascendente, el cual se desarrolla para describir en detalle el funcionamiento y el comportamiento del sistema. Este enfoque describe el proceso de análisis de un sistema mediante la identificación de sus componentes y sus interrelaciones, así como la creación de una representación del sistema con un alto nivel de abstracción [7].

De igual forma, Orduy establece que la primera etapa del desarrollo de la estación corresponde a la decisión de los parámetros que son necesarios para realizar el cálculo del enlace de comunicaciones, comúnmente denominado Link Budget, ya que dicho cálculo de enlace tiene como objetivo definir las características de los componentes de la estación. En principio, es importante definir el objetivo o los objetivos que serán rastreados con la estación, es decir, para la definición de la estación se tendrán que especificar los satélites con los cuales la estación tendrá comunicación. Vale la pena recalcar, que la estación será de rastreo de satélites, en este caso se omite el envío de telecomandos al satélite y se establece la comunicación del satélite a la estación [5].

4. DISEÑO DE LA ESTACIÓN

Para poder establecer la comunicación con los satélites a ser rastreados, se determinó el punto de referencia donde la estación terrena estará ubicada dentro de las instalaciones de la Fundación Universitaria Los Libertadores en la ciudad de Bogotá D.C., como se ilustra en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación Estación Terrena de la Fundación Universitaria Los Libertadores

Fundación Universitaria Los Libertadores Laboratorio de Radiometría Solar	
Latitud	4°39'6.17"
Longitud	W 74°35'6.89"
Altitud	2579 m.s.n.m

A través del software libre de observación satelital Orbiter 3.71 se establecieron los satélites que pasaban por la ubicación de la Tabla 1. A partir de la observación, con el software mencionado, se pudo determinar que seis satélites del tipo CubeSat, universitarios o del segmento radioaficionado podían ser rastreados desde la localización de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los datos son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Satélites para rastrear desde la Estación Terrena de la Fundación Universitaria Los Libertadores

Nombre satélite	Órbita	Modulación	Frecuencia (MHz)	Polarización	Operativo
SO-50 (Saudi-Sat 1C- Saudi OSCAR 50)	593 x 697 km, 64,6 grados de inclinación	X	Subida en VHF (145.850 MHz) y bajada en UHF (436.795 MHz)	Lineal	Si
FO-29 (JAS-2 - Fuji OSCAR 29)	800 x 1322 km	Telemetría / baliza: 435.795 MHz (CW) Digitalter 435.795 MHz FM (rara vez operacional)	Subida en VHF (145.900 MHz a 146.000 MHz). Bajada en UHF (435.800 MHz a 435.900 MHz - invertido)	Circular	Si
AO-73 (FunCube-1)	sol-síncrona de 685 x 595 k con inclinación de 97.8 grados	Telemetría / baliza: 145.935 MHz	Subida en UHF (435.130 MHz a 435.150 MHz). Bajada en VHF (145.950 MHz a 145.970 MHz- invertido)	Lineal	Si

UBAKUSAT	400 km x 400 km	Telemetría / baliza: 437.225 MHz (CW) / telemetría 437.325 MHz	Subida en VHF (145.940 MHz a 145.990 MHz). Bajada en UHF (435.200 MHz a 435.250 MHz).	X	Si
NO-44 (PCSat - Navy OSCAR 44)	790 x 797 km con 67 grados de inclinación	No tiene	Subida y bajada en VHF (145.825 MHz) FM FSK, AX.25, 1200 bps y 9600 bps.	Lineal	SEMI
NO-84 (PSat New OSCAR 84)	790 x 797 km con 67 grados de inclinación	No tiene	Subida en HF (28.120 MHz PSK31 y SSB). Bajada en VHF (145.825 MHz Packet 1200 bps X.25 y APRS - compartido con ISS, PCSAT y otros). Bajada en UHF (435.350 MHz PSK31 FM)	Lineal	Si

Los satélites seleccionados fueron escogidos por su cercanía, en términos de trayectoria, de la localización de la estación de la Estación Terrena. A partir de los datos de los satélites seleccionados se realizará el presupuesto de comunicaciones de la estación o Link Budget. Es necesario aclarar que con base en la información de estos satélites se determinó el diseño principal de la Estación Terrena; sin embargo, la estación tendrá la capacidad de rastrear otros satélites, dependiendo de sus frecuencias y de sus características de operación.

Link Budget

El Link Budget o presupuesto de comunicaciones corresponde a la contabilidad de todas las pérdidas y ganancias de un transmisor hacia un receptor en un sistema de telecomunicaciones. Orduy recomienda usar un Presupuesto de enlace de transpondedor analógico básico disponibilizado en Excel1 por Amsat-UK (The Radio Amateur Satellite Corporation – United Kingdom). La aplicación que se encuentra en Excel define la ganancia de las antenas, la potencia del transmisor y otros parámetros de los componentes. La finalidad del presupuesto es identificar si el enlace es viable entre ellos [5].

Para el propósito del diseño preliminar se establecieron cinco enlaces de comunicación. La Figura 2, presenta los elementos relacionados con la frecuencia del satélite, se

observa que la frecuencia de transmisión y recepción de información corresponde a la banda VHF y es la misma para los dos. Con relación a la longitud de onda de la frecuencia del satélite y la altitud de la órbita la aplicación calcula las pérdidas por la propagación.

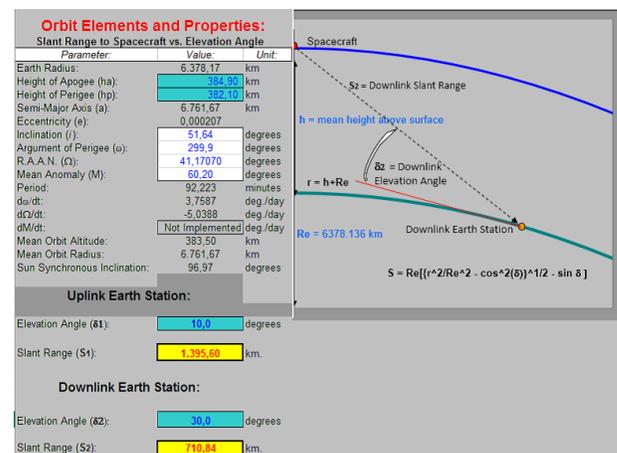


Figura 2. Elementos y propiedades orbitales

Topología de la estación

La topología que se quiere establecer en la Estación portable-Modular de la Fundación Universitaria Los Libertadores, está basada en la estación Terrena PY2SDR (PAR) ya que usa un computador portátil de bajo costo, además, usa la tecnología SDR para rastrear pequeños satélites; el

software utilizado está disponible por la comunidad internacional de radioaficionados [5]. La Figura 3, presenta la arquitectura que tendrá la estación.

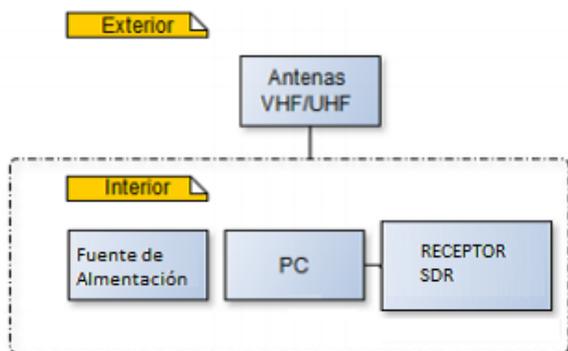


Figura 3. Topología de la Estación Terrena de la Fundación Universitaria Los Libertadores [5].

Sistema irradiante

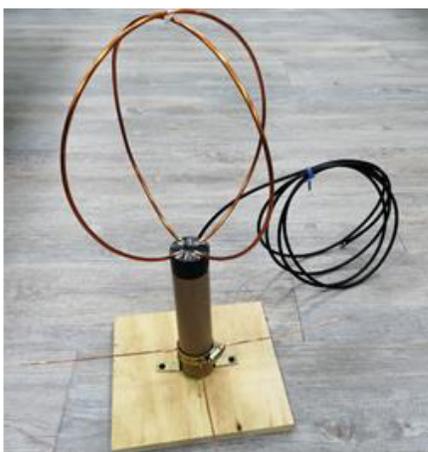


Figura 4. Estructura externa e interna de la Antena UHF

Según la topología de la Estación Terrena para la Fundación Universitaria Los Libertadores, esta debe contar con antenas en las bandas VHF/UHF, sin embargo, manteniendo la idea original de este proyecto, que se basa en bajo costo, se decidió construir parte del hardware de la estación estableciendo una antena del tipo EggBeater en banda UHF que supla las necesidades de la Estación Terrena. Otro factor importante para elaboración del sistema

irradiante (antena) fue la necesidad de un sistema compacto debido al entorno local de referencia en donde sería posteriormente ubicada la estación (región montañosa con colinas altas y obstáculos cerca de la estación como edificaciones aledañas a la Fundación Universitaria Los Libertadores).

SDR Comercial (RTL-SDR v.3)

Según Zabala, Cabeza, Pacheco, Casignia, & Oñate este dispositivo es un dongle USB de bajo costo que se puede usar como un escáner de radio basado en computadora para recibir señales de radio sin necesidad de internet, el cual puede recibir frecuencias desde 500 kHz hasta 1.75 GHz [8]. La Figura 5, muestra el dongle usado en la Estación Terrena.



Figura 5. Dongle RTL-SDR

Elementos en software de la Estación

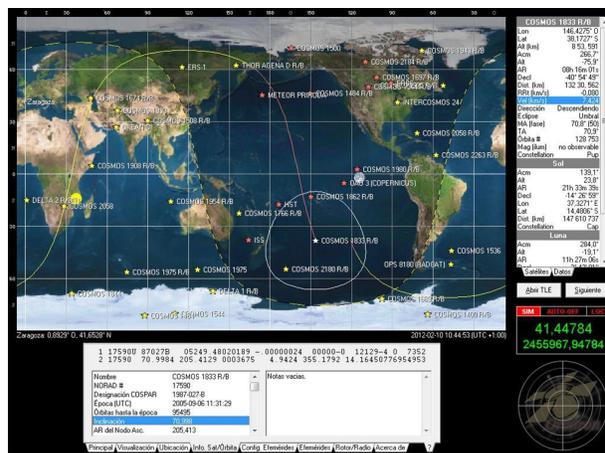


Figura 6. Software de previsión Orbitron

El computador de la Estación Terrena a ser implementada en la Fundación Universitaria Los Libertadores utiliza

como sistema operativo Microsoft Windows, en este caso se utiliza Microsoft Windows 10. Para realizar el registro de satélites se utiliza el software de previsión Orbitron versión 3.71, como se muestra en la Figura 6.

El software que controla el Dongle RTL-SDR es el SDR SHARP (SDR#), su propósito general es permitir que el RTL-SDR funcione como un receptor de radio de banda ancha normal, como se muestra en la Figura 6. Por último, vale aclarar que la estación no posee un software de misión específica destinado a decodificar los paquetes de telemetría adquiridos de los satélites específicos, de tal forma, únicamente, se pueden recibir los paquetes y demostrar que está llegando la información.

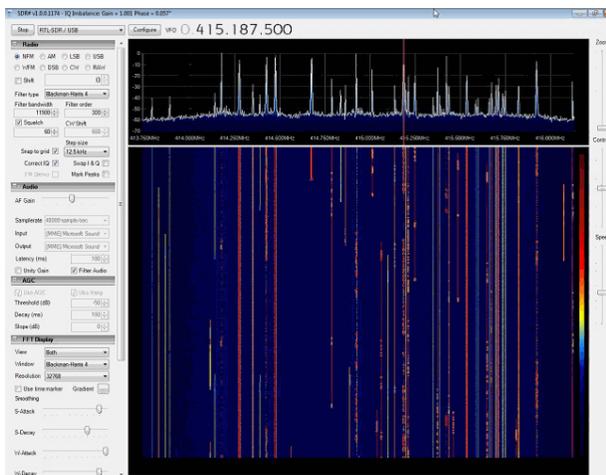


Figura 7. Software de radio SDR SHARP.

5. RESULTADOS

Se presentan las especificaciones de la Estación Terrena. La estación Terrena de tipo Portable-Modular a implementar en la Fundación Universitaria Los Libertadores cuenta con un sistema irradiante, un radio del tipo SDR y un Software que localiza los satélites y otro que descarga los paquetes de datos de la señal. El costo total, como se muestra en la Figura 8 es de 282.900 COP (valor de octubre de 2019). De igual forma, se presentan los componentes, su especificación y el fabricante.

Componente	Especificación	Fabricante	Costo:	
			Pesos Colombianos	Dólares ⁴
Radio (SDR)	Rtl-sdr R820t2 Rtl2832u 1ppm Tcxo Sma Defined	RTL-SDR.COM	208200	61,23
Estructura de la antena	Tubo de cobre de 5 mm (0.20 in) de diámetro 136 cm de largo (53.5433).	COTS	11000	3,23
	Alambre de cobre de 2 mm (0.08 in) de diámetro y 83 cm de largo (32.6772 in).		6000	1,76
	Tubo de PVC de 4.1 cm (1.62 in) de diámetro.		5000	1,47
	Tabla de madera de 20 cm * 20 cm (Soporte). 1 unidad.		2000	0,58
	L en hierro colado de 3cm * 3cm 2 unidades.		1100	0,32
Abrazadera cremallera acero inox, 32 mm.	600	0,17		
Bucles de la antena	Bucles de la antena		15000	4,41
Línea de fase	Cable coaxial de longitud de onda de cuarto de onda RG62		34000	10
TOTAL:			282.900	83,20

Figura 8. Especificaciones de la estación

Finalmente, se presenta la estación Terrena implementada en la terraza del sexto piso de la sede Santander, Figura 9, donde está ubicado el Laboratorio De Radiometría Solar, de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, de la Fundación Universitaria Los Libertadores. La estación se ubicó en un rack prestado por el laboratorio, el cual cuenta con alimentación (110v AC) para alimentar el computador de la estación.



Figura 9. Estación implementada en el Laboratorio de radiometría solar

Luego de haber montado el hardware y software de la estación se procede a recibir información de los satélites

que fueron seleccionados para realizar el rastreo. Para este fin se estableció una metodología básica para poder recibir datos de los satélites. Es necesario aclarar que la antena opera en la banda UHF (430–450 MHz), es decir, únicamente se podrán recibir datos (Downlink) de satélites en esta banda.

Etapa 1. En primer lugar, se debe recolectar la información de los satélites, esto se puede hacer en internet desde una página web que especifique las frecuencias de operación. La Figura 10, muestra las frecuencias Downlink y Beacon del satélite BRICSAT 2 (NO-103).

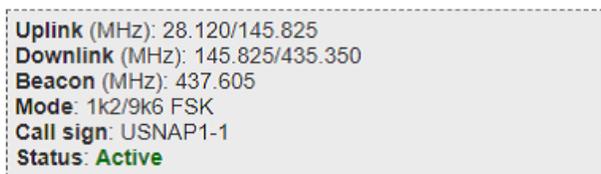


Figura 10. Frecuencias de operación del BRICSAT 2 (NO-103)

Etapa 2. Luego de haber de establecido los parámetros del satélite se debe accionar el programa Orbitron, el cual mostrará la pasada del satélite sobre la estación. En el momento que el software muestre que el satélite esté encima de la estación se podrá realizar el rastreo del satélite y la descarga de datos. La Figura 11, muestra el satélite BRICSAT 2 (NO-103), sobre la estación de la Fundación Universitaria Los Libertadores.

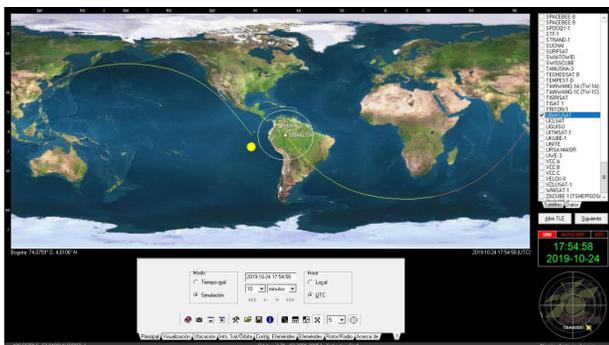


Figura 11. Software Orbitron – Pasada del satélite

Etapa 3. Una vez determinada la frecuencia de Downlink del satélite y de saber la posición de este, se procede a accionar el software de radio SDR#, el cual mostrará la señal que se esté recibiendo. Se pudo establecer el rastreo a un satélite, ya que con los otros satélites no se especificó si las señales llegaban o eran propias de esos satélites, en la Figura 12 se presenta el Software SDR# recibiendo el Beacon del satélite BRICSAT 2 (NO-103) se puede establecer que se tiene que hacer una corrección de la frecuencia debido al efecto doppler, ya que la frecuencia del Beacon era 437.605 MHz y se recibieron datos del Beacon en 441.913 MHz.

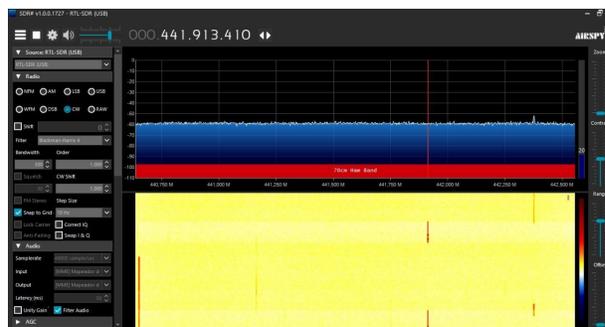


Figura 12. Software SDR# – Beacon del satélite BRICSAT 2 (NO-103)

6. DISCUSIÓN

Como referencia, y como se mencionó anteriormente, se tomó la estación terrena PY2SD, la cual está basada en un diseño de radioaficionado simple pero funcional. La estación es fija de bajo costo que tuvo como principio usar tecnología SDR, para de este modo poder desempeñar sus funciones utilizando Software y Hardware comercial puesto a disposición por la comunidad radioaficionada internacional. La estación PY2SD posee cuatro elementos en Hardware: un computador, un SDR, un Radio analógico y una antena.

Por otro lado, cuenta con un software que controlador del SDR (Software SDR# v1.0.0.1357) y otro software de apoyo para telemetría satelital (AMSAT-BR Plan73, Fox Telemetry Analysis Tool) desarrollado por el propietario.

El costo aproximado de elaboración de la estación es de USD \$ 1,200 (valor de octubre de 2015) .

Con relación a la estación PY2SDR, la Estación Terrena FULL cumple el diseño de radioaficionado simple, pero funcional. La estación FULL posee un elemento menos en Hardware: el Radio analógico, ya que como es una estación de rastreo no es necesario el envío de telecomandos. Por otro lado, comparando el software, la estación FULL posee una versión mejorada del software de del controlador del SDR (SDR# v3) y otro software de rastreo de satélites Orbitron; sin embargo, no cuenta con un software de decodificación de datos el cual se vuelve indispensable a la hora de conocer la información del satélite. La estación FULL equivale a menos del 23% del costo de elaboración de esta estación.

7. CONCLUSIONES

El diseño de estación terrena que fue implementado en la Fundación Universitaria Los Libertadores cuenta con tres elementos en Hardware: una Antena, un Radio SDR y un Computador. El Software y el diseño que fue implementado en la Fundación Universitaria Los Libertadores cuenta con tres elementos, a saber: Sistema operativo WINDOWS 10, Controlador del SDR, SDR# V3 y para el rastreo de Satélites se utilizó el software libre ORBITRON. El costo aproximado de elaboración de la estación FULL fue de \$ 287.20 USD (valor de octubre de 2019).

Finalmente, se pudo establecer que con un bajo presupuesto y utilizando componentes COTS adquiridos en mercado sin mayor problema, se puede desarrollar un sistema con filosofía modular y flexibilidad de operación, ya que se puede adaptar para conseguir la comunicación con varios satélites.

Es importante destacar que el proyecto de la estación terrena fue el resultado de la implementación del espacio académico Tecnología de Sistemas Satelitales en el programa de Ingeniería Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Fundación Universitaria los Libertadores.

REFERENCIAS

- [1] F. A Osorio and E. R. Andrade. Sistemas satelitales (Bachelor's thesis).Ecuador. 2006, pp. 15.
- [2] D. Ilchikawa. Cubesat-to-ground communication and mobile modular ground station development. honolulu, hawaii: university if hawaii at manoa. 2006, 6 p.
- [3] O. penna. Instalación y operación de una estación terrena para satélites de órbita baja. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México. D.F. 2011, 176p.
- [4] A. Wickramanayake. Design, development and operation of a student ground Station. Lulea University of Technology, Department of Space Science, Kiruna, Lulea, Suecia, 2007, 76p.
- [5] J. Orduy, "Processo De Referência Para O Desenvolvimento Da Arquitetura De Uma Estação Terrena Para Pico E Nanosatélites". Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Brasil, 2016.
- [6] J. Lozada. Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad. Tecnológica Indoamérica. 2014, 47-50.
- [7] E. J. Chikofsky and J. H. Cross. Reverse engineering and design recovery: A taxonomy. IEEE software, 7(1). 1990, 13-17.
- [8] M. Zabala, G. Cabeza, M. Pacheco, B. Casignia and A. Oñate. Sistema de recepción de información satelital basado en SDR. Ciencia Digital, 2019, 446-463.

FASE EXPLORATORIA DE LA FORMULACIÓN DE UN MODELO DE RESPONSABILIDAD SOCIAL PARA LA UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Exploratory phase of formulation of a social responsibility model for the Universidad Militar Nueva Granada

Anny Astrid Espitia Cubillos¹, Sergio Raúl Quintero Rodríguez²

¹⁻²Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, (Bogotá D.C, Colombia).

Email: ¹anny.espitia@unimilitar.edu.co, ²sergquintero@gmail.com

(Recibido Junio 22 de 2019 y aceptado Marzo 11 de 2020)

Resumen

La explotación de los recursos naturales ha sido un proceso imparable a partir de la industrialización, incrementado a su paso factores como los problemas ambientales y sociales a nivel mundial; a partir de lo anterior, surge a nivel global, y en especial en el sector productivo, la preocupación por mejorar dicha situación, y la urgencia por diseñar y poner en marcha acciones que promuevan el desarrollo sostenible, mediante las cuales se favorezca la integración del contexto con cada una de las organizaciones, y así generar impactos positivos en la sociedad tanto a nivel local como a nivel mundial, situación que también le concierne a las instituciones educativas. Para responder a esta realidad, la Universidad Militar Nueva Granada desea formular su modelo de Responsabilidad Social Universitaria partiendo de la revisión de las acciones de otras Instituciones de Educación Superior públicas, acción que permite identificar las estrategias planteadas y dar respuesta a su propósito de formar profesionales con responsabilidad social y desarrollar sus funciones misionales bajo esta misma premisa. Para ello se determinó el avance a nivel económico, legal, ético y discrecional documentado y publicado por algunas de las Universidades que integran el Sistema Universitario Estatal (SUE) y se comparó con el estado actual de la Universidad objeto de estudio para contar con algunos referentes que sirvan como punto de partida para la formulación de un modelo de responsabilidad social propio.

Palabras clave: ética, responsabilidad social universitaria, universidad pública, fase exploratoria, educación.

Abstract

Natural resources exploitation has been an unstoppable process since industrialization, increasing in its wake factors such as environmental and social problems worldwide; taking this as a starting point, there is a global level, and especially in the productive sector, concern to improve this situation, and urgency to design and implement actions that promote sustainable development, through which integration is fostered the context with each of the organizations, and thus generate positive impacts on society both locally and globally. This situation also concerns educational institutions. To give an answer to this reality, the Universidad Militar Nueva Granada wants to formulate their model of social university responsibility, starting off with the revision of the actions of other higher public education institutions, that allows to identify the generated strategies and give answer to their propose of coaching professionals whit social responsibility and develop their missional functions under that same premise. For this purpose, progress was made at an economic, legal, ethical and discrecional level documented and published by some of the Universities that make up the State University System (SUE) and compared with the current state of the University under study to have some references to serve as a starting point for the formulation of own University Social Responsibility.

Key words: *ethics, university social responsibility, public university, exploratory phase, education.*

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es mostrar la fase inicial del proyecto de investigación “Diseño de un modelo de Responsabilidad Social universitaria para la Universidad Militar Nueva Granada”. En esta fase denominada exploratoria, se llevó a cabo los procesos de levantamiento y organización de información para poder ejecutar un proceso comparativo en el actuar de las diferentes instituciones de educación superior (IES) públicas con referencia a la Responsabilidad Social Universitaria (RSU), y poder tomar los elementos de mayor relevancia a considerar en el planteamiento del modelo para la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG).

Las organizaciones entendidas como componentes sociales en la comunidad, tienen la obligación moral de retribuir el beneficio que adquieren de la comunidad con la cual interactúan. Esto quiere decir que los esfuerzos dentro de las organizaciones no se deben enfocar solamente en la obtención de utilidades económicas, sino que las acciones y el actuar debe incluir dentro de sus objetivos estratégicos, elementos que generen beneficio a todos los sectores de la comunidad en aspectos económicos, ambientales y todos aquellos que signifiquen mejoramiento de las condiciones del contexto.

Las entidades de educación superior, se entienden como organizaciones cuyo objetivo principal es la formación de individuos capaces de desenvolverse de manera competitiva y dar soluciones innovadoras a las diferentes problemáticas de la sociedad. J.R García [1] trasmite la necesidad de formar ciudadanos con carácter crítico y coherentes en su actuar con las condiciones culturales que corresponden a la realidad y contexto histórico de cada individuo.

Para cumplir con el objetivo de formación superior y la obligación moral ya señalada, la UMNG ya ha considerado

dentro de su planeación estratégica la responsabilidad social, por un lado, en su misión señala “(...) el fin de formar ciudadanos íntegros y socialmente responsables que promuevan la justicia, la equidad, el respeto por los valores humanos y contribuyan al progreso del sector Defensa y a la sociedad en general.” [2], así mismo su Visión declara que “será reconocida (...); en cumplimiento de la responsabilidad social, que le permita anticipar, proponer y desarrollar soluciones que respondan a las necesidades de la sociedad y del sector Defensa” [2], finalmente, en el plan de desarrollo incluye el numeral 6.4 responsabilidad social [3], en donde se plantea la implementación de la responsabilidad social universitaria, a nivel institucional; de tal forma, que se garantice su transversalidad, con la participación de todos los integrantes de la comunidad educativa y el contexto mismo de la universidad.

Sin desconocer la existencia de propuestas de modelos genéricos de RSU aplicables a las IES [4], la iniciativa de crear un modelo propio adaptado a las particularidades de la UMNG, en concordancia con [3], busca dar respuesta a la sociedad creando bases para la formación de profesionales con la capacidad responder profesionalmente en sus áreas de formación, sin dejar de lado la importancia de la labor social que desempeñan dentro de la comunidad y materializar la planeación estratégica institucional. Los resultados presentados en el presente documento corresponden exclusivamente a la fase exploratoria que tiene como finalidad contrastar la actuación de las instituciones de educación superior (IES) públicas con referencia a la Responsabilidad Social Universitaria (RSU) con el estado actual de la Universidad Militar Nueva Granada, para tener un punto de partida para el futuro planteamiento del modelo propio para la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG) que responda a las particularidades de la misma y que sirva de orientación a otras instituciones del SUE para el desarrollo del mismo proceso.

2. METODOLOGÍA

Para la fase exploratoria, se realizó un análisis comparativo, teniendo inicialmente como criterios, las categorías

propuestas específicamente para el tema de responsabilidad social universitaria por [4], a saber:

1. Campus responsable, en la cual se plantea la necesidad de contar con un clima laboral y educativo que propicie y promueva un actuar responsable con la sociedad y el medio ambiente por parte de todos los integrantes de la institución.
2. Formación profesional y ciudadana, que señala el diseño curricular debe enfocarse en la formación y fomento de competencias de servicio social.
3. Participación social, que propone se direccionen los procesos universitarios hacia la integración y participación de proyectos conjuntos con la comunidad, de tal forma, que se propicie su desarrollo.
4. Gestión social del conocimiento, que busca tramitar socialmente el componente investigativo de la universidad. En este sentido, los procesos de este factor deben estar alineados con el desarrollo local y nacional de acuerdo a los programas sociales que se plantean en los gobiernos.

En la segunda etapa de la fase exploratoria, se llevó a cabo el mismo tipo de análisis comparativo teniendo como base las cuatro categorías de responsabilidad social propuestas por J.P Sulbarán [5] en diferentes organizaciones, y lo propuesto por Bokhari [6], quien afirma existe un consenso en las definiciones de responsabilidad social, puesto que esta no debe estar ligada solamente al aspecto económico, sino que debe extenderse a aspectos ambientales, y problemáticas ligadas a la comunidad.

El autor [6] coincide con las categorías propuestas por Sulbarán [5], vigentes en la actualidad, a saber:

1. En primera instancia se encuentra la categoría económica, en la cual se entienden las responsabilidades de la organización con sus clientes tanto internos como externos en su retribución económica y generación de riqueza para su contexto.
2. Toda acción que lleva a cabo la organización tiene una repercusión legal, por lo tanto, para esto se cuenta

con la segunda categoría, en la cual las acciones de la organización deben estar ubicadas dentro de las leyes que se dictan en el contexto organizacional.

3. La tercera categoría se refiere a la ética con que la organización planea y ejecuta sus actividades en la sociedad, todas las decisiones que se tomen tienen repercusiones, y a pesar de que algunas de estas no estén codificadas dentro de la sociedad con leyes o normas, si tienen aceptación positiva o negativa dentro de la misma, lo que implica que la organización debe conocer cuales tiene aceptación para poder tomar las mejores decisiones.

4. Como última categoría se encuentra la discrecional, en la cual se identifican las intenciones de los directivos de la compañía en realizar cambios para el mejoramiento de las condiciones del entorno, sin necesidad de cumplir con las leyes o reglamentación que le exige la sociedad.

En el particular para la RSU, Bokhari [6], quien toma como referente a Vallaey, afirma que el proceso de formación de profesionales debe estar enfocado en todos los niveles institucionales, por lo que, en las universidades, es necesario que las categorías anteriores sean transversales.

Para dichas categorías, se analizó lo documentado y divulgado en artículos publicados en bases de datos científicas por parte de algunas de las Universidades que integran el Sistema Universitario Estatal (SUE), el cual está integrado por las 32 universidades estatales, y en el que se formalizan compromisos para la oferta académica orientada a fortalecer la etapa de posconflicto en cada una de las regiones a las cuales pertenece cada institución. Las funciones del SUE se establecen en la Ley 30 de 1992, artículo 81, y se definen tres objetivos principales enfocados en la optimización de los recursos públicos mejorando la calidad educativa, teniendo como eje principal el intercambio de experiencias y conocimientos de estudiantes y docentes, y el apoyo en el diseño de estrategias que propendan por el mejoramiento continuo del sistema, haciendo uso de herramientas evaluativas tanto para las instituciones como para el sistema en general [7].

Es importante considerar que, en el año 2016 los rectores de Universidades Públicas que integran el SUE, determinaron el compromiso de orientar las actividades y esfuerzos pedagógicos hacia el fortalecimiento de los procesos de paz que se adelantaban, en ese momento y, que se adelanten por parte del gobierno con grupos al margen de la ley, tal como fue declarado en el comunicado de compromiso con el proceso de paz [8], teniendo en cuenta la autonomía institucional y la labor social que ejecutan las universidades como formadoras de profesionales.

Sumado a esto, se formalizó el compromiso de hacer acompañamiento pedagógico a los procesos de paz, así como orientar las cátedras de cada una de las regiones hacia la paz, el posconflicto y la formación de ciudadanos con valores que permitan mantener una paz duradera en el país. Pese a ello, los hallazgos permiten afirmar que no todas las instituciones del SUE han documentado y publicado sus avances al respecto, se comparan los avances presentados por las Universidades de: Antioquia, Atlántico, Caldas, Cauca, La Guajira, Nacional y Nariño, con lo ejecutado por la UMNG.

En general, teniendo en cuenta que los conceptos de Responsabilidad Social Empresarial y Responsabilidad Social Universitaria no son excluyentes, y por el contrario pueden ser complementarios, se propone hacer un análisis comparativo matricial como punto de partida para la construcción de modelos propios que integre las categorías, usando la estructura que se presenta en la Tabla 1.

3. RESULTADOS

A continuación, se muestra el resultado del estudio bibliográfico para cada una de las categorías, y los hallazgos de universidades que integran el SUE, para guiar el proceso de diseño del modelo de responsabilidad social para la UMNG.

3.1. Económica

Para este aspecto, las universidades coinciden en la necesidad de mantener contacto permanente con el estado, la

sociedad y el sector productivo, actuando como punto de enlace entre estos actores y formando profesionales que promuevan impactos económicos significativos que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de los sectores de la sociedad.

El reto que se reconoce por parte de las instituciones, se encuentra en alinear las metas y proyecciones de los estudiantes frente a lo que requiere la comunidad con la cual interactúan, por lo tanto, la formación de estos debe enfocarse en que las acciones adelantadas en el sector productivo signifiquen escalamiento social y mejoramiento de condiciones de vida para todos los integrantes de la comunidad.

En el contexto nacional de descentralización de la educación superior, las instituciones reconocen la importancia de contar con un programa el cual sea de alcance máximo para la región en la cual ejercen su labor. La cobertura de la oferta educativa juega un papel importante, puesto que, para continuar transformando la realidad económica de las regiones, se debe tener cobertura en la mayor extensión de territorio posible, aunque el presupuesto no sea suficiente. Es por esta razón, que en cada región hay universidades que ofrecen programas de acuerdo a las necesidades de la zona de impacto en la cual se encuentran.

Todos los esfuerzos que se llevan a cabo en las universidades se encuentran incluidos en los planes de desarrollo institucionales, garantizando que el cumplimiento de estas políticas sea efectivo durante el periodo considerado en la planeación institucional.

De las diferentes universidades que integran el SUE, en su plan de desarrollo institucional la Universidad de Antioquia (2006) [9], centra su programa de responsabilidad social en el cubrimiento y apertura de nuevos cupos y expansión del servicio de educación en el departamento de Antioquia, extendiendo sus servicios por medio de la descentralización a nuevos municipios, en los cuales no existe acceso a la educación superior, y su inversión

económica está destinada a la creación de estos nuevos centros de atención para estudiantes, dando nuevas

oportunidades de crecimiento a los municipios que no cuentan con el servicio de formación en educación superior.

Tabla 1. Matriz de criterios de comparación

CATEGORÍAS	Campus responsable	Formación profesional y ciudadana	Participación social	Gestión social de conocimiento
Económica	El buen gobierno y el uso de recursos enfocados al mejoramiento del clima organizacional con responsabilidad ambiental	Esfuerzos económicos enfocados al diseño del mejoramiento de condiciones sociales y ambientales	Direccionamiento de esfuerzos financieros en la participación de proyectos con la comunidad, para apuntar al desarrollo social y ambiental	Convocatorias de investigación que propicien el desarrollo social e inviten a la comunidad a ser parte activa de los mismos
Legal	Cumplimiento y mejoramiento de condiciones laborales y académicas que trasciendan los requerimientos legales mínimos	Normatividad y diseño curricular que corresponda a realidades sociales	Unión con sector público y privado para la construcción de propuestas de desarrollo social	Factor investigativo para el mejoramiento de la calidad educativa
Ética	Promoción de comportamiento organizacional socialmente responsable	Formación de profesionales y ciudadanos socialmente responsables	Conformación de comunidades para promover el intercambio constante de conocimiento	Mejoramiento curricular conjunto entre la universidad y la comunidad
Discrecional	Diseño democrático de políticas que apoyen al mejoramiento social y ambiental	Profesionales competentes que promuevan la solución de problemáticas sociales	Participación en proyectos externos a la institución, para aportar al mejoramiento social	Aprendizaje solidario basado en proyectos sociales

Debido a que los recursos propios de las IES, en su gran mayoría no son suficientes para suplir las necesidades propias de cada institución, las mismas recurren a alianzas estratégicas para poder cumplir con sus objetivos y planeaciones, integrando a actores del sector productivo, y la comunidad en general, tal es el caso de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) [10] que en su planeación estratégica plantea el uso de alianzas para la formulación de políticas públicas, mediante las cuales se fortalezca el desarrollo comunitario local y regional en su zona de impacto, integrando al sector público

y privado, con iniciativas de emprendimiento y productividad que representen empleo y bienestar para la región.

Por su parte la UMNG, al igual que las demás IES del SUE debe hacer anualmente una rendición pública de cuentas, contar con su Modelo Estándar de Control Interno y no tiene como objetivo la generación de utilidades. Adicionalmente, se recomienda considerar dentro de su presupuesto rubros para fortalecer las acciones requeridas para dar continuidad a los propósitos institucionales de contar con un campus responsable, fortalecer la formación

ciudadana, y particularmente, fortalecer la participación social y gestión social del conocimiento que son los elementos más débiles actualmente.

3.2. Legal

Al ser reconocidas como instituciones de Educación superior por el Ministerio de Educación (MEN), las universidades estatales están reguladas y su planeación estratégica y planes de acción están enmarcados en la ley 30 de diciembre 28 de 1992 [7], en la que se organiza el sistema de educación superior en Colombia.

Así mismo, se otorga a las universidades la autonomía institucional, según el artículo 28 [7, pp. 5], en donde reconoce el derecho a modificar sus estatutos, la designación de funciones administrativas y académicas, definir la planeación y diseño curricular, planificar los procesos formativos de los docentes, y diseñar los cronogramas investigativos, culturales y científicos; los procesos de admisión de los estudiantes, y administrar los recursos con el ánimo de cumplir con su objeto social.

En la mayoría de las universidades del SUE, se encuentra que la RSU no se entiende como un proceso integral transversal [4] y se confunde con extensión, por lo que se delega al departamento de proyección social y bienestar, el cual se encarga de manejar un ambiente adecuado para los integrantes de la comunidad educativa, sus iniciativas en la mayoría de los casos, y que se puede encontrar en la oferta de dicho departamento, se limita a actividades de bienestar para los estudiantes, que aportan al mejoramiento de la condición social, pero no cumplen con el fin último de la RSU, que es brindar bienestar en varios aspectos a los diferentes actores de la comunidad educativa, y no solamente en el campo deportivo y recreacional.

Las universidades en sus mapas de procesos de Gestión de Calidad, resaltan la importancia de las funciones de la proyección social, tal es el caso de la Universidad de la Guajira, en donde se entiende la extensión como un proceso misional, certificado en Calidad bajo la norma ISO 9001, por medio del que se plantean diferentes líneas

de trabajo, a partir de las necesidades de la región y formuladas bajo los objetivos de desarrollo de su zona de influencia. [11].

Los procesos de mejoramiento continuo son recurrentes en la planeación de las universidades, la realimentación de los diferentes procesos se ejecuta gracias a los sistemas de gestión de calidad en donde se recopila información, para que las directivas tomen decisiones de manera más acertada, como lo contempla la Universidad del Atlántico en su página web [12], donde aclaran su sistema integrado de gestión, está diseñado como un conjunto de estrategias que tienen como objetivo principal reconocer el impacto de la universidad en la sociedad y el medio ambiente, para definir procesos de mejoramiento continuo con impactos de bienestar para la comunidad en general. Por su parte, la UMNG cuenta con certificaciones en los sistemas de gestión de calidad: ISO 9001 y NTCGP 1000:2009, en el sistema de gestión de seguridad OHSAS 18001 y en el sistema de gestión ambiental ISO 14001. Y en su política integral “se compromete a cumplir con los requisitos aplicables asociados a sus grupos de interés pertinente con responsabilidad social” [13], cumpliendo de este modo con los requerimientos mandatorios que implican estos sistemas de gestión.

Es interesante encontrar que, solo una de las universidades estatales tiene en cuenta la norma ISO 26000:2010, mediante la cual se reconoce a las organizaciones por sus buenas prácticas en cuanto a Responsabilidad Social; la Universidad del Atlántico resalta [12]., desde el aspecto legal, que para la institución el cumplimiento de la norma ISO 26000:2010, es la definición de sí misma como una organización responsable de los impactos que genera en su actividad propia, y que estos están ligados a la sociedad y al medio ambiente, por lo cual es necesario plantear estándares de comportamiento ético y transparente, y en esta vía, aportar al desarrollo sostenible de la comunidad en general.

Al analizar los procesos adelantados por la Universidad de Caldas [14, pp. 79], en el sondeo entre la comunidad

educativa, concluye la ingobernabilidad, anomia, y perdida de sentido son el eje fundamental de la problemática que diagnosticaron los docentes de planta de la institución; para ellos no hay normas, las instancias institucionales están determinadas desde los entes administrativos y gerenciales, a pesar que hay lineamientos dispuestos desde las directivas; el problema radica en que se encuentran escritos, pero en el diario vivir de la universidad ninguno se aplica.

Esto evidencia un caso de poca efectividad de las normas formuladas y la falta de interés por parte de los integrantes de la comunidad educativa, a pesar que formulen políticas y normas para cumplir con componentes de RSU.

En el país, el aseguramiento de la calidad esta regido por entidades que pertenecen al Ministerio de Educación, pero que tienen la función específica de impulsar y evaluar la calidad de la educación superior, de acuerdo con Cortés [15], desde cuya perspectiva se entiende el sistema de Aseguramiento de la calidad en la Educación Superior, como el proceso mediante el cual se acredita la calidad de nivel educativo, y que evalúa a las diferentes instituciones por medio del apoyo del CONACES y el Consejo Nacional de acreditación (CNA).

Estos componentes han permitido que en los planes de desarrollo, sea donde principalmente se incluyan elementos que estén ligados a la RSU, aunque esto aparece como elemento de cumplimiento de las exigencias de acreditación para las universidades, componente también regulado por la ley 30 [6] y en el cual se nombra la RSU como un requisito planteado en el documento de lineamientos para la acreditación institucional en el numeral 10-7 [16], en el que se concluye que una institución de alta calidad es reconocida como tal, cuando se identifica que las políticas y los programas diseñados para la oferta académica, están enfocados en el compromiso con el entorno propio, interactuando constantemente con el contexto y los lugares donde tiene presencia la universidad.

La investigación cumple un papel protagónico en este

aspecto, puesto que tal como lo reconoce la universidad Pedagógica en su observatorio de Responsabilidad social [17], en donde se encuentra la necesidad de enfocar los esfuerzos de carácter investigativo en el diseño y desarrollo de programas que estén orientados al bienestar de la comunidad, identificando problemáticas en el contexto, con estudios en grupos sociales que relacionados con la comunidad educativa; las líneas de investigación están ligadas al plan de desarrollo de la universidad, y los proyectos y programas son diseñados y puestos en marcha directamente por los estudiantes, quienes ven fortalecido su proceso de formación profesional gracias a la experiencia investigativa en estudios que incorporan directamente a la sociedad.

En el cumplimiento de sus funciones misionales la UMNG, de acuerdo a lo encontrado por M.P Padilla [18], ha adelantado distintas acciones en las tres funciones sustantivas de la educación superior:

1. Docencia: La formación permanente del personal docente se presenta por medio de capacitación y programas diseñados para el crecimiento personal y profesional del capital humano, realizando las capacidades de los docentes frente al cumplimiento misional de la universidad, y teniendo en cuenta el diseño de los perfiles de docentes, que generen espacios de innovación constante frente a las necesidades del mercado.
2. Investigación: Los procesos investigativos están diseñados para potenciar la creación e innovación tecnológica en diferentes campos, de tal forma que, las convocatorias se enfocan en el apoyo a este tipo de iniciativas, propiciando el desarrollo científico y nuevas prácticas en la institución.
3. Extensión y proyección social: La comunidad académica está comprometida con la ejecución de prácticas que identifican problemáticas de la sociedad, de esta manera, se generan espacios de intercambio de experiencias a nivel nacional e internacional, y en las que a diario se reflexiona de manera colectiva y se fortalece los

componentes éticos y humanos de la organización.

Se entiende entonces que la UMNG al contar con acreditación institucional cumple con éste y los demás requerimientos establecidos por el Consejo Nacional de Acreditación, satisfaciendo de esta manera su compromiso de ofrecer educación de calidad. Sin embargo, se deben contar con políticas específicas que conduzcan a normatizar para fortalecer la participación social y la gestión social del conocimiento.

3.3. *Ética*

La facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional [19] hace referencia a la RSU, como un tema que ha tomado cierta importancia dentro de la universidad, pero que no existe un acuerdo sobre el mismo, puesto que falta un reglamento o una normativa que permita implementar acciones de manera sistemática y transversal en los diferentes procesos que se llevan a diario dentro de la universidad; el componente de obligatoriedad que contiene la misma RSU, se convierte en un limitante para la ejecución plena de la misma, dado que los integrantes de la facultad identifican a la RSU, como algo más que se debe cumplir, y no como un compromiso que se adquiere a nivel personal y alineado con la institución. Es necesario limitar el rigor académico para la definición de la RSU, para brindar lineamientos claros a la comunidad, como resultado, se potencializa el cumplimiento de la RSU en la facultad, y su extensión a nivel institucional.

Se puede evidenciar que la universidad no tiene claro como incluir la responsabilidad social dentro de sus acciones y planificación, y a pesar de tener la intención de incluirla en todos sus procesos, no existen directrices que guíen el cumplimiento de las políticas que pueden surgir en cuanto a RSU.

Esta situación se extiende al resto de universidades del SUE, y se evidencia en la inclusión de la RSU simplemente como un valor institucional el cual tiene el papel de cumplimiento de una norma para la acreditación de la universidad, y que por ser valores institucionales se supone

están contemplados dentro de la misión y visión de la organización, tal como se mencionó anteriormente en el aspecto legal.

Para el mejoramiento de los procesos en RSU, la Universidad Pedagógica en su componente ético, cuenta con un observatorio de responsabilidad social y una estrategia clara, como lo evidencia en el informe de dicho observatorio [17], en donde se define al estudiante como un individuo que ingresa a la universidad con unos presaberes que se modifican o moldean de acuerdo al proceso educativo y formativo desarrollado durante su estancia de la universidad; a partir del departamento de bienestar universitario se busca optimizar el conocimiento previo de los estudiantes, por medio de la práctica docente, teniendo en cuenta que este castró cumple el rol de educadora de educadores, por lo tanto se genera una base de datos mediante la cual se identifican problemáticas reales de la comunidad y se caracteriza la población estudiantil y lo que permite generar procesos de bienestar de manera sistemática y mejorar la toma de decisiones en la formulación de políticas de bienestar en el corto, mediano y largo plazo que cubran las expectativas de la comunidad estudiantil.

En este apartado, se identifica como, desde su objeto de formadora de educadores, la Universidad Pedagógica dedica sus esfuerzos a reconocer las diferencias de cada uno de los integrantes de la comunidad educativa, en especial, de sus estudiantes. Esto permite a la universidad actuar y asegurar que el docente guíe su labor a la formación de acuerdo a las necesidades de los estudiantes; y que los estudiantes, al entrar en contacto con temas de investigación ligados a su propia realidad, sean agentes de mejoramiento de condiciones sociales de su entorno gracias a los esfuerzos que se adelantan por parte de la misma.

Un factor determinante en este tema, es el surgimiento de posconflicto, en el cual la cátedra de la paz, significa un compromiso por parte de la educación superior, para formar profesionales que puedan crear espacios productivos

en un país que no está en conflicto y, por lo tanto, tiene mayores oportunidades de explotación de recursos. No obstante, estos ser manejados conscientemente, siendo racionales en el uso de los mismos y pensando en el futuro. Se hace relevante contar con un capital humano abierto al diálogo, al perdón, la tolerancia y la aceptación de las diferencias étnicas, culturales y de pensamiento, tal como lo promueve la Universidad del Cauca [20, pp. 2] en su plan de desarrollo en el que plantea que la equidad, la transparencia, y diferentes valores que propenden por el respeto y la calidad de la vida de los estudiantes; valores considerados desde la misión institucional, y desde la cual se busca crear espacios de integración, desarrollo comunitario, tolerancia, convivencia e integridad humana.

Este último elemento juega un papel importante considerando el rol que tiene el sector defensa en la UMNG [2]. Se propone que la actuación ética permee la ejecución de las actividades cotidianas y el cumplimiento de las funciones misionales establecidas por la Ley general de educación [6]: docencia, investigación y extensión, al igual que en la gestión de manera transversal.

3.4. Discrecional

En lo encontrado para cada una de las instituciones, cabe resaltar que, principalmente, se busca la formación de estudiantes con proyección internacional, por lo tanto, la formación está acompañada desde el área académica y el componente administrativo, conjugando actividades que promuevan en el estudiante habilidades que le permitan desempeñarse en cualquier contexto de manera versátil. Tal como ocurre en la Universidad de Nariño, en la que se plantea [21, pp. 52] que la proyección social debe diseñar proyectos que contribuyan al mejoramiento de condiciones sociales concretas, por medio de la interacción con sectores económicos y sociales tanto públicos como privados.

En los documentos de planeación, se encuentran componentes en los cuales se hace énfasis en la relación de la academia con el sector productivo, el estado y la sociedad; por lo tanto, los esfuerzos de proyección

investigativa están ligados a proyectos que involucren a estos actores, y que respondan a las necesidades que plantean cada uno de estos.

Para llevar a cabo este tipo de iniciativas, es importante que los docentes y el cuerpo administrativo, este capacitado para poder responder a estas exigencias. En este sentido, es necesario recurrir a distintas alternativas para cumplir con este propósito, como lo son las alianzas estratégicas, que resultan ser una gran oportunidad para alcanzarlos, ya que los recursos económicos propios no son suficientes para cumplir estos objetivos.

Para la extensión y la proyección social, una labor importante es el seguimiento que se hace a los egresados, el conocimiento del tiempo de vinculación laboral, la remuneración promedio y la continuidad en la formación académica. Esto con el fin de medir la calidad de la educación que reciben del alma mater. Esta función es necesaria en todas las universidades, puesto que es un requisito para la acreditación, tanto institucional como de programas, pero más allá, es un buen indicador de calidad de la educación que reciben los estudiantes. En la UMNG se integran en la proyección social, las prácticas de los estudiantes con el sector productivo para realizar la realimentación de las experiencias de los graduandos.

El conocimiento de las condiciones propias del individuo, coadyuvan al mejoramiento de las condiciones éticas y humanas de los estudiantes, por lo tanto, en la UMNG, la interacción con agentes externos a la universidad permite extender prácticas que motiven y expandan el buen actuar de toda la comunidad en el nivel ético y moral, tal como se plantea en su proyección social [13].

La UMNG adelanta actividades para el beneficio de la sociedad, en las que se integran los diferentes actores de la comunidad, en pro del mejoramiento de las condiciones de formación de los estudiantes, en sus palabras:

“La universidad cuenta con programas de formación avanzada y capacitación para el trabajo y el desarrollo

Humano lo cual permite avanzar en el proceso de crecimiento y cualificación profesional determinando a partir del conjunto de las competencias institucionales, el perfil necesario de docentes, con el fin de focalizar el quehacer y la transformación institucional en la generación de cambios y de prácticas innovadoras” [13].

Aunque este elemento no es mandatorio, se propone contar con una atención especial al beneficio del sector defensa que corresponde a un *stakeholder* exclusivo de la UMNG.

4. CONCLUSIONES

El análisis comparativo matricial propuesto como punto de partida para la construcción de modelos propios de RSU favorece la integración de los conceptos tradicionales de Responsabilidad Social Empresarial y Responsabilidad Social Universitaria, al entender las categorías como complementarias, así las cosas se tendrían dieciséis (16) elementos de valoración que resultan del cruce de las categorías: Campus responsable, Formación profesional y ciudadana, Participación social y Gestión social del conocimiento con las categorías: Económica, Legal, Ética y Discrecional.

La RSU para las universidades públicas se presenta como un elemento integrado a los programas de extensión y proyección social, los cuales son tenidos en cuenta en los procesos de acreditación por parte del Ministerio de Educación Nacional. Sin embargo, existen dentro de las mismas iniciativas en pro del cumplimiento del objeto social de la universidad de formar ciudadanos con conciencia social, por lo tanto, los procesos académicos deben apuntar a fortalecer el componente de responsabilidad social de sus educandos.

Las limitaciones económicas de las IES públicas, entorpecen el cumplimiento de los procesos y planteamientos hechos por las directivas en lo que refiere a RSU. Como consecuencia, estas deben recurrir a estrategias que permitan reforzar dichas actividades, entre las cuales se encuentran

alianzas estratégicas con entidades del sector privado.

La capacitación de docentes, descentralización de actividades y ampliación de la cobertura de la oferta educativa, son iniciativas reconocidas por las IES en el mejoramiento de condiciones y cumplimiento de la RSU, al igual que la integración de la proyección social, extensión y el bienestar universitario dentro de los programas y planes de mejoramiento.

Se reconoce como un elemento de calidad, la inclusión e implementación de la RSU dentro de los planes de desarrollo de las instituciones universitarias.

El proceso de posconflicto significa un reto para las IES, y debe estar contemplado dentro del proceso de planeación en la RSU, ya que es preciso reconocer las necesidades de formación de los involucrados en dicho proceso, para que la educación que se oferte responda a la realidad de la comunidad a la cual pertenece la institución.

A pesar de los esfuerzos de las instituciones, es necesario que sus directivos cuenten con el conocimiento suficiente para poder diseñar e implementar las iniciativas que se relacionan con la RSU, para que estas al momento de ser ejecutadas sean mucho más efectivas dentro de la comunidad.

Lograr contar con un campus responsable, con formación profesional y ciudadana, tener participación social y gestión social del conocimiento requiere como mínimo un compromiso institucional que forme parte de las políticas y reglamentos, de la aplicación de la ética de manera transversal en el desarrollo de las funciones misionales (docencia, investigación, extensión y gestión) y que se vea reflejado en la planeación económica mediante la elaboración y aprobación del presupuesto con rubros específicos para tales fines. Se propone en el modelo de RSU dar atención especial al sector defensa que corresponde a un *stakeholder* exclusivo de la UMNG.

Como investigaciones futuras, en esta misma línea, se

propone consultar las expectativas de las partes interesadas (internas y externas) con respecto a un modelo de RSU, de modo que, su formulación no sólo integre las acciones de las IES públicas al respecto, sino que, además, responda a las expectativas de todos los miembros e involucrados con la comunidad neogranadina.

5. AGRADECIMIENTOS

Producto derivado del proyecto INV-ING-2481 financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada- Vigencia 2017.

REFERENCIAS

- [1] J. R. García. (2003). "La formación de ciudadanos: la escuela, un escenario posible". *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*. [En Línea]. 1(2), pp. 115 -143. Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-715X2003000200005
- [2] Universidad Militar Nueva Granada. "Misión, Visión y Objetivos". [En línea]. Disponible: <http://www.umng.edu.co/la-universidad/mvo>
- [3] Universidad Militar Nueva Granada, *Plan de desarrollo institucional 2009-2029*. Bogotá, 2009.
- [4] Vallaey, F., De La Cruz, C., Sasia, P., Camdessus, I. (2009). *Responsabilidad social universitaria: manual de primeros pasos*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo. Editorial McGraw-Hill.
- [5] J. P. Sulbarán, "El concepto de Responsabilidad Social de la Empresa", *Revista Economía*, No. 10, pp. 225-249, 1995.
- [6] Abla A.H. Bokhari, "Universities' Social Responsibility (USR) and Sustainable Development: A Conceptual Framework", *SSRG International Journal of Economics and Management Studies*, pp. 1-12. 2017.
- [7] Congreso de la República de Colombia, *Ley 30: Por la cual se organiza el servicio público de la educación superior*. Bogotá, Diario Oficial, 1992.
- [8] Sistema Universitario Estatal, *Declaración Sistema Universitario Estatal*. Pasto, 2016.
- [9] Universidad de Antioquia, *Plan de desarrollo 2006-2016*. Medellín, 2006.
- [10] Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, *Plan de Desarrollo Institucional 2014-2018*. Tunja, 2014.
- [11] Universidad de la Guajira, "Centro de extensión". [En línea]. Disponible: <http://www.uniguajira.edu.co/sobre-nosotros-centro-extension>.
- [12] Universidad del Atlántico, "Responsabilidad social universitaria RSU". [En línea]. Disponible: <https://www.uniatlantico.edu.co/uatlantico/administrativa/administrativa-RSU>.
- [13] Universidad Militar Nueva Granada. Política integral". [En línea]. Disponible: <http://www.umng.edu.co/web/guest/la-universidad//division-de-gestion-de-calidad/sistema-de-gestion-de-calidad>
- [14] Universidad de Caldas, *Plan de desarrollo institucional*. Manizales, 2008.
- [15] J. L. Cortés, *Estudio comparativo de los sistemas de gestión en las Universidades Públicas de Bogotá*. Bogotá, 2017.
- [16] Consejo Nacional de Acreditación, *Lineamientos para la acreditación Institucional*. Bogotá, 2015.
- [17] Universidad Pedagógica Nacional, *Responsabilidad Social Universitaria Como sistema de Investigación, caracterización, evaluación y sistematización de información*. Bogotá, 2012.
- [18] M. P. Padilla, "Acciones realizadas por la UMNG para la incorporación de la responsabilidad social universitaria", Trabajo de fin de especialización, Facultad de estudios a distancia, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, 2017.
- [19] H. G. Cortés, "Responsabilidad Social Universitaria. Una mirada a la Universidad Nacional de Colombia", Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2012.
- [20] Universidad del Cauca, *Sistema de Cultura y Bienestar*. Popayan, 2015.
- [21] Universidad de Nariño, *Plan de Desarrollo UNAR 2008-2020*. Bogotá, 2007

REVISIÓN DEL DIAGNÓSTICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PRODUCCIÓN EN CAMPOS PETROLEROS COLOMBIANOS

Review of the diagnosis of production water treatment in Colombian petroleum fields

Angie Tatiana Ortega Ramírez¹, Yurleni Fernanda Arcila², Laura Marcela Vargas Díaz³

¹ Fundación Universidad de América. Docente Facultad de Ingenierías, Colombia.

²⁻³ Fundación Universidad de América. Estudiante Facultad de Ingenierías. Ingeniería Química, Colombia.

Email: ¹angie.ortega@profesores.uamerica.edu.co, ²yurleni.arcila@estudiantes.uamerica.edu.co,

³laura.vargas5@estudiantes.uamerica.edu.co

(Recibido Febrero 19 de 2020 y aceptado Junio 21 de 2020)

Resumen

El presente artículo plantea estudiar los métodos de gestión del recurso hídrico en la industria del petróleo. Para la investigación se revisa información científica obtenida en bases de datos como Scopus, Science Direct o Redalyc, e indagaciones extraídas de reportes gubernamentales, la legislación colombiana y de operaciones de empresas pertenecientes al sector de los hidrocarburos como Ecopetrol o Pacific, entre otras. Con los datos se clasifican los métodos convencionales y no convencionales de separación entre agua y petróleo crudo. Finalmente, se subrayan tres usos dados al agua de producción en Colombia: inyección, vertimiento superficial y adecuación como agua de riego en actividades agrícolas.

Palabras clave: agua subterránea, tratamiento, campo petrolero, petróleo.

Abstract

This article aims to study the methods of water resource management in the petroleum industry. This research looks for scientific information obtained in databases such as Scopus, Science Direct, or Redalyc, and inquiries extracted from government reports, Colombian legislation, and operations of companies belonging to the hydrocarbon sector such as Ecopetrol or Pacific, among others, are reviewed. With the data, conventional and non-conventional methods of separation between water and crude petroleum are classified. Finally, three uses given to the produced water in Colombia are highlighted: injection, surface discharge, and adaptation as irrigation water in agricultural activities.

Key words: groundwater, treatment, oil field, petroleum.

1. INTRODUCCIÓN

El agua de producción, también denominada de formación, alude a aquella obtenida junto con el petróleo y el gas. Se origina como una capa de agua natural localizada debajo de los hidrocarburos en los yacimientos de petróleo y gas [1]. Generalmente, esta contiene aceites y compuestos orgánicos solubles e insolubles, sólidos suspendidos y disueltos, metales pesados y varios químicos utilizados para el proceso de producción de

petróleo [2]. Actualmente, esta industria origina una alta cantidad de agua en la fase de extracción de hidrocarburos, aproximadamente, más de 300 millones de barriles de agua se reportan diariamente en el mundo [3]. En promedio se generan de tres a cinco barriles de agua por cada barril de petróleo; sin embargo, en pozos considerados maduros esta cifra puede aumentar hasta una relación de entre diez y catorce barriles de agua [4]. En los campos petroleros se utiliza más del 60% del agua obtenida a diario en el mundo. [5]. Adicionalmente, se debe

tener en cuenta que no solo el caudal de agua producida, también su composición, varía, dependiendo del pozo. En Colombia, particularmente, por cada barril de petróleo se producen, en promedio, trece barriles de agua [6]. En 2019 el volumen total de efluentes generado por las operaciones de Ecopetrol fue de 429.14 millones de metros cúbicos, los cuales incluyen: agua de producción (92.8 %) y agua residual industrial (7.2 %) [7]. Según BNamericas [8], los dos campos con mayor producción de petróleo en Colombia son Rubiales, en primer lugar, seguido por Castilla; ambos operados por la empresa Ecopetrol S. A. Tales campos generan altas cantidades de agua de producción.

Para el campo Rubiales se estimó una producción de 3 000 000 BWPD (barriles de agua por día) en el año 2019 [7], y para el campo Castilla el corte de agua en marzo del 2019 fue de 1 040 000 BWPD [9].

Actualmente, las principales alternativas para la gestión del agua producida son:

Inyección en Formaciones

El agua producida se inyecta nuevamente en su propia formación o en otras. Esta opción a menudo requiere transporte de agua y tratamiento para reducir el ensuciamiento y el crecimiento bacteriano [10]. Sin embargo, este tipo de inyección puede darse manteniendo o aumentando la presión en el yacimiento o reinyectando a la formación no productora o sin efecto de recobro [7].

Descarga al Medio Ambiente

En este caso el agua producida puede descargarse en acuíferos siempre y cuando cumpla con las regulaciones de descarga en tierra y en altamar [10].

Reutilización en las Operaciones de la Industria Petrolera:

En esta disposición el agua producida con un tratamiento mínimo se puede usar para operaciones de perforación y preparación en la industria petrolera [10], por ejemplo: Preparación de lodos de perforación, mantenimiento de pozos, sistemas contra incendios, refrigeración de equipos, generación de energía [7], entre otras.

Preparación de lodos de perforación, mantenimiento de pozos, sistemas contra incendios, refrigeración de equipos, generación de energía [7], entre otras.

Aplicación en Usos Beneficiosos

El agua producida puede ser dispuesta para uso en comunidades y sus actividades como el riego y cuidado del hábitat, tratamiento de agua industrial e incluso manejo de agua potable. Aunque, los usos beneficiosos de esta agua pueden implicar un tratamiento adicional más robusto con un costo elevado [10].

El agua producida tiene una composición compleja debida a la variedad de componentes presentes en ella; estos pueden clasificarse ampliamente en compuestos orgánicos e inorgánicos [11] incluidos aceites disueltos y dispersos, grasas, metales pesados, radionucleidos, productos químicos de tratamiento, sólidos de formación, sales, gases disueltos, productos a escala, ceras, microorganismos y oxígeno disuelto [10].

El carbono orgánico total (TOC) es un indicador de la cantidad total de materia orgánica presente en el sedimento y se utiliza como indicador de la riqueza de la fuente con respecto a la cantidad de hidrocarburos que puede generar ese sedimento [12]. En el agua producida varía de menos de 0.1 a más de 11 000 mg/L, gran parte de estos consiste en una mezcla de ácidos carboxílicos de bajo peso molecular, como los ácidos fórmicos, acético, propánoico, butanoico, pentanoico y hexanoico [13].

En los sólidos disueltos (componentes inorgánicos) predominan cationes de sodio (Na^+) y aniones de cloruro (Cl^-), razón por la cual la salinidad del agua de producción es similar a la salinidad del agua de mar [13]. No obstante, también se puede encontrar otro tipo de cationes como el calcio (Ca^+), magnesio (Mg^+), hierro (Fe^+) y, en una menor proporción, bario (Ba^{2+}), potasio (K^+), estroncio (Sr^+), aluminio (Al^{3+}) y litio (Li^+). Otros aniones presentes son: bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^-) y sulfatos (SO_4^-) [14].

Entre los aceites y dispersos se encuentran los hidrocar-

buros derivados del petróleo, que consisten en estructuras compuestas de carbono e hidrógeno.

Se trata de los compuestos de mayor preocupación ambiental en el agua producida. Se clasifican en hidrocarburos saturados y aromáticos. Los aromáticos de un anillo son los más abundantes, en ellos se pueden encontrar benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX). Los aromáticos policíclicos (HAP) son los hidrocarburos de petróleo de mayor preocupación ambiental en el agua producida debido a su toxicidad y persistencia en el medio marino.

Otros compuestos que se pueden encontrar en el agua de producción son los metales pesados, suelen estar en concentraciones sustancialmente más altas que las presentadas en el agua de mar. Los metales encontrados con mayor frecuencia incluyen bario, hierro, manganeso, mercurio y zinc [13].

Los productos químicos de producción pueden ser compuestos puros o compuestos que contienen ingredientes activos disueltos en un solvente o codisolvente y se utilizan para inhibir la corrosión, la formación de hidratos, posición de incrustaciones, la producción de espuma y el crecimiento bacteriano. El destino de estos químicos es difícil de determinar porque algunos ingredientes activos se consumen durante el proceso [10].

Los principales gases disueltos en el agua producida son el dióxido de carbono (CO_2), el oxígeno (O_2) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S), los cuales se forman naturalmente por las actividades bacterianas o por reacciones químicas en el agua [10].

La magnitud de la carga contaminante del agua residual de producción de hidrocarburos se ve reflejada también en parámetros como demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, nitrógeno y fósforo total [15].

La importancia del tratamiento del agua de producción

reside en el impacto ambiental que genera en cuerpos de agua y poblaciones circundantes, cuando se realizan vertimientos superficiales [16], esto debido a que los hidrocarburos de petróleo flotantes en la superficie reducen la transferencia de oxígeno atmosférico al agua, lo que lleva a modificaciones específicas, y finalmente altera el equilibrio biológico de los sitios contaminados [17].

En cuanto al impacto en la salud humana, la exposición a compuestos BTEX puede ocurrir al beber agua contaminada (ingestión) y sus consecuencias se asocian con irritación de la piel, problemas del sistema nervioso central -SNC y efectos en el sistema respiratorio [18]. Además de esto, los metales pesados son extremadamente tóxicos para los seres humanos aún en cantidades pequeñas y son absorbidos por los crustáceos, asimismo, los sulfuros pueden matar a los peces, al igual que los aceites y grasas presentes en el agua [19].

Se debe tener en cuenta que no solo los vertimientos superficiales traen consigo afectaciones ambientales y en la salud humana, sino también los procesos de inyección de agua de producción en formaciones que, a largo plazo, pueden llegar a contaminar las aguas subterráneas [10].

De acuerdo con la información presentada anteriormente, el presente artículo parte de una revisión bibliográfica que busca establecer el diagnóstico del proceso de tratamiento de agua de producción en campos petroleros colombianos.

2. METODOLOGÍA

El presente artículo se realiza bajo una exhaustiva revisión de información de diversas bases de datos de artículos científicos como Scopus, Google Scholar, Redalyc y Science Direct, así como de informes de operación de empresas del sector de los hidrocarburos tales como Ecopetrol, Pacific y se vale de reportes gubernamentales, de la legislación colombiana, entre otros. Mediante la clasificación temática y de autores se cumplió el número de citas necesario para desarrollar el tema pertinente.

3. DESARROLLO

Como se mencionó anteriormente, los campos con mayor índice de producción de agua en Colombia son Rubiales y Castilla.

3.1. Campo Rubiales

Se encuentra ubicado en Colombia, en el sureste de la cuenca de los Llanos Orientales, en el departamento del Meta, dentro del municipio de Puerto Gaitán, 365 km al este de la ciudad de Villavicencio y 482 km al sureste de Bogotá [20].

En 2019 este campo generó aproximadamente 3 000 000 de BWPD (Barrels of water per day) [7]. Debido al alto volumen de agua producida es necesario el tratamiento de estos efluentes para su correcta disposición final.

Este proceso inicia con una separación primaria, donde el crudo proveniente del manifold externo ingresa a los tanques de surgencia, que son separadores utilizados, principalmente, para retirar agua libre que pueda causar problemas como corrosión y formación de hidratos o emulsiones compactas [21]. El crudo separado con un menor corte de agua es dirigido a los tanques de cabeza, donde se separa el agua restante presente en el crudo. Posteriormente, es enviada junto con el agua proveniente de los fondos de los tanques de surgencia hacia los skim tanks para el proceso de desnatado (skimming). Estos equipos están normalmente diseñados para proveer tiempos de residencia largos durante los cuales la coalescencia y la separación por gravitación pueden ocurrir, de esta forma se logra retirar el aceite de la superficie del agua sin alterar sus características físicas o químicas [22]. Los tanques desnatadores pueden ser usados como tanques atmosféricos, recipientes a presión y tanques de aumento sobre otros equipos de tratamiento de agua de producción [23]. Después de este proceso el agua es transportada de forma continua por medio de bombas hacia los trenes de tratamiento, conformados por una celda de flotación de natas, filtros de tipo cáscara nuez y decantadores verticales. Las celdas de flotación

estándar pueden utilizar dos técnicas diferentes (DAF o IAF) para retirar altos porcentajes de aceite, grasas y sólidos suspendidos del agua de producción [24]. En este proceso se inyecta aire en el agua producida.

Las partículas suspendidas y las gotas de aceite se unen a las burbujas de aire. Así, a medida que se elevan se forma espuma en la superficie del agua que se elimina mediante desnatado, mientras que el agua clarificada es recogida en el fondo de la zona de flotación [10]. Continúa hacia los filtros de cáscara nuez, atravesando un medio poroso filtrante donde se separan el petróleo disperso en agua, los sólidos suspendidos, y las grasas y aceites [25].

El petróleo se adhiere a las pequeñas partículas de cáscara nuez, permitiendo que el agua fluya hacia el interior del filtro y salga del equipo [26]. Se debe tener en cuenta que la capacidad de los filtros es limitada y se controla mediante el diferencial de presión que genera el medio poroso [25]. Por esta razón, se realiza un ciclo de retrolavado, consistente en un proceso de limpieza, invirtiendo el flujo a través de la unidad para remover y desplazar las trazas de crudo acumuladas. Esta acción inversa expande el medio filtrante, limpiándolo por acción hidráulica y fricción entre partículas [27], a la salida del proceso de retrolavado el agua es dirigida a los decantadores gravitatorios; estos equipos se utilizan para la separación de líquidos no miscibles (natas, agua clarificada y lodos) de densidades diferentes [28]. La mezcla permanece inmóvil de cuatro a seis horas con el fin de lograr la separación gravitacional. El agua obtenida en el proceso de decantación se denomina agua clarificada; ingresa luego a una piscina de agua de retrolavado donde se realiza una pulimentación para la separación de lodos y natas aún presentes en el agua de producción. Finalmente, el agua proveniente de las piscinas de retrolavado es dirigida a las piscinas de agua tratada, donde, de igual forma, ingresa directamente el agua filtrada obtenida después del proceso de filtro cáscara nuez, y se realiza su disposición final de acuerdo a la necesidad.

Actualmente, el campo Rubiales cuenta con dos alternati

vas de gestión para el agua tratada. La primera es el vertimiento superficial, y la segunda, la inyección sin efecto de recobro o a formación no productora.

3.2. *Campo Castilla*

El campo Castilla se encuentra localizado en el sector suroccidental de la cuenca de los Llanos Orientales a una distancia aproximada de 54 km al sur de la ciudad de Villavicencio, departamento del Meta, en las jurisdicciones municipales de Castilla la Nueva, Acacias Guamal y San Martín; y dentro de la cuenca de los ríos Guamal y Orotoy [29].

Durante marzo de 2019 el corte de producción de agua diario fue de aproximadamente 1 040 000 BWPD [9]. En el caso específico de la estación Castilla II el agua de producción proveniente de los tanques de surgencia y tanques de lavado ingresa a las celdas de placas corrugadas (CPI), siendo esta la primera etapa en el STAP (Sistema de Tratamiento de Aguas de producción Petroleras) de tratamiento del agua, donde se efectúa una separación de tres fases (agua, lodos y aceites) por diferencia de densidades [30]. Como estos equipos no tienen partes móviles presentan una mayor área de distribución para el efluente de agua residual [31].

Este efluente obtenido es enviado a las celdas de flotación de gas inducido (IGF), donde se utiliza una técnica de separación gravitacional acelerada, en la que las burbujas de gas son inducidas a una corriente de fase acuosa, ya sea por el uso de un dispositivo eductor o por un vórtice creado por un rotor mecánico (impulsor) [32]. En dichas celdas se separan y recuperan el aceite y las partículas sólidas presentes en el agua de producción a través de la creación de burbujas de gas finas (diámetro inferior a 50 micras), que se dispersan. Las partículas se adhieren a las burbujas de gas y flotan en la superficie, formando una capa de espuma que se remueve mediante los desnatadores de la celda [33].

El agua clarificada continúa hacia los filtros de cáscara nuez donde se elimina el aceite remanente, lodos e impurezas, después es enviada a las torres de enfriamiento

donde, mediante boquillas de aspersión, se atomiza y desciende debido a la acción gravitacional. Gracias al fenómeno de transferencia de calor y masa [34], al entrar en contacto con el aire, se posibilita la disminución de su temperatura para, continuamente y por un canal de entrega, conducirla hacia las piscinas de estabilización y aspersión, las cuales representan la última etapa en el proceso de tratamiento del agua, y allí se busca, por medio de la aspersión, disminuir la temperatura, oxigenar el agua y reducir la cantidad de fenoles disueltos [30]. El agua tratada puede disponerse para diferentes fines según las necesidades de la empresa, entre los que se cuentan vertimiento superficial, inyección con efecto de recobro, inyección sin efecto de recobro, reutilización en operaciones y reúso.

Debido a la problemática generada por el déficit de recursos hídricos, el reúso del agua ha sido considerado una alternativa de gestión para contrarrestar este hecho [35]. Si bien el agua es un recurso renovable, en ciertas zonas la demanda agrícola, el crecimiento poblacional y los cambios climáticos (períodos de sequía) han causado que el consumo de agua dulce exceda su capacidad de reposición natural [36].

La utilización del agua en la agricultura representa como mínimo dos tercios de su consumo global [36], el uso de agua regenerada en agricultura permite aliviar la presión ejercida sobre los sistemas de abastecimiento de agua dulce y conservarlos para un fin de mayor valor económico y social y, al mismo tiempo, los agricultores reciben un suministro de agua fiable y rico en nutrientes [35]. El reciclaje del agua puede ofrecer un “triple dividendo” para los usuarios urbanos, agricultores y el medio. La disponibilidad sustancial de agua producida, sumada con la necesidad de contar con alternativas de eliminación más económicas conduce a los investigadores a estudiar la reutilización del agua producida para irrigación, uso industrial y otras aplicaciones [36].

En 2019 mediante un estudio científico realizado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, hoy Agrosavia) se concluyó que el agua de

producción tratada por Ecopetrol en sus campos Castilla y Apiay es apta para el uso en actividades agrícolas, pecuarias y en el riego de cultivos de porte forestal. Se reusaron 1.2 millones de metros cúbicos de agua de producción tratada en el campo Castilla para el riego del Área de Sostenibilidad Agroenergética (ASA) [7].

Debido a que el proceso de irrigación requiere elevados volúmenes de agua que cuenten con los parámetros de calidad establecidos según las normativas de cada país es necesario el desarrollo de sistemas de tratamiento robustos que permitan obtener un agua que cumpla con los criterios específicos para asegurar la calidad apropiada con el fin de ser dispuesta en riego, algunos de los más importantes son: la salinidad, relación de adsorción de sodio (SAR) y la conductividad eléctrica [12]. Con esto se describen algunos de los tratamientos utilizados actualmente y las nuevas tecnologías enfocadas a la obtención de un agua que cumpla con los parámetros de calidad para su disposición final en riego.

3.3. Tratamientos Físicos

Estos tratamientos son aquellos en los que no se generan sustancias nuevas, sino que se concentran los contaminantes al evaporar el agua o filtrar sólidos de un tamaño considerable [37]. A continuación, se describen los procesos de tratamiento físico utilizados actualmente en la industria.

3.3.1. Adsorción. Es un proceso de transferencia de masa, mediante el cual las sustancias presentes en los fluidos son transferidas a un medio sólido [38]. Esta es una de las operaciones unitarias más eficientes para alcanzar una mejor calidad del agua, debido a que logra reducir la concentración de los contaminantes del agua producida a niveles muy bajos [39]. La eliminación de compuestos como el manganeso, hierro, TOC, BTEX, petróleo y de hasta el 80 % de los metales pesados se puede lograr mediante el proceso de adsorción [12].

Sin embargo, una de las principales desventajas de este método es el costo de instalación y mantenimiento del

sistema, pero este inconveniente puede resolverse por medio del uso de adsorbentes más económicos tales como la cáscara de nuez y el carbón activado, que pueden hacer que el proceso sea más competitivo [39]. Los filtros de cáscara de nuez funcionan con los ciclos de proceso de filtración y retrolavado [40].

Otra desventaja del proceso de adsorción es el requerimiento de un depósito de residuos para su eliminación y la de los medios gastados a través del proceso de regeneración [39].

3.3.2. Ciclones. Los hidrociclones se utilizan para separar compuestos como arena y aceite, contenidos en la corriente de agua de producción y se basan en las diferencias de densidades. El agua de producción contiene una alta cantidad de sólidos suspendidos y gotas pequeñas de aceite, como también, tensoactivos. Dependiendo del modelo empleado para el hidrociclón, este puede remover partículas con un diámetro entre 5 y 15 μm ; sin embargo, no pueden removerse componentes solubles en el agua [41]. Algunas de las ventajas de este tipo de equipos son su larga vida útil y el innecesario uso de productos químicos o pretratamiento del agua de alimentación. Por otro lado, una desventaja importante de esta tecnología es la generación de grandes suspensiones de residuos sólidos concentrados [10] y su baja eficiencia, además, su incapacidad de remover compuestos disueltos [42].

3.3.3. Evaporación. La evaporación se propone como un tratamiento para la recuperación o separación de materiales valiosos o peligrosos (metales pesados) [43], especialmente, para aguas residuales salinas con contenido de aceites [12]. Su robustez permite evitar otro procedimiento físico o químico posterior, ya que mediante la adición de calor latente al agua de alimentación se genera vapor que se condensa en agua pura [15].

3.3.4. Flotación mejorada. La flotación por aire disuelto (DAF) es un proceso conocido en el tratamiento de aguas debido a su capacidad para la eliminación eficiente de una serie de contaminantes como partículas finas,

ultrafinas coloidales, precipitados orgánicos e inorgánicos, iones, microorganismos, proteínas, emulsiones de aceite en agua y aceite disperso [44]. El aire se disuelve a alta presión en un saturador, y las microburbujas se forman cuando se libera agua en la celda de flotación a presión atmosférica. Las microburbujas se adhieren a las partículas presentes en el agua de producción, permitiendo así aumentar su flotabilidad, al llevarlas hacia la superficie [45].

Algunas de las ventajas de este proceso son su habilidad para tratar altos volúmenes de efluentes (100–600 m³ h⁻¹), pequeña área ocupada, entrega una excelente calidad de agua, genera lodos más espesos y tiene una rápida puesta en marcha; sin embargo, una de las desventajas es el alto consumo energético y los altos costos de operación comparados con otras técnicas de tratamiento físicas [44].

3.3.5. Electrodialisis. La electrodialisis (ED) es una técnica de separación impulsada por cargas electroquímicas donde las sales disueltas en el agua de producción son cationes y aniones que pueden unirse a electrodos específicos con una carga opuesta [46]. En esta tecnología las membranas de intercambio iónico se organizan alternativamente en un campo de corriente continua [47].

Este método es adecuado para la recuperación de agua producida con bajas concentraciones de SDT (Sólidos totales disueltos), pero es poco probable que sea rentable para el tratamiento de aguas producidas concentradas [5], además no es tan económicamente competitivo como otras separaciones por membrana, debido al alto costo de los electrodos y las membranas, así como a una vida útil relativamente corta [47].

3.4. Tratamientos Químicos

En los tratamientos de tipo químico se generan nuevas sustancias mediante reacciones químicas que permiten la disminución de compuestos contaminantes presentes en el agua de producción [37]. A continuación, se presenta una breve descripción de los tratamientos químicos implementados actualmente en la industria y algunas

nuevas tecnologías.

3.4.1. Precipitación química. Se usa para eliminar componentes iónicos del agua mediante la adición de contraiones para reducir la solubilidad [48], además logra eliminar metales disueltos en el agua de producción. La eficacia del proceso depende de varios factores, entre ellos, la concentración de metales iónicos presentes en la solución, el precipitante utilizado y la presencia de otros constituyentes que pueden inhibir la reacción de precipitación [49].

3.4.2. Procesos electroquímicos. Los reactores electroquímicos son aparatos de transformación de materiales forzados por la corriente eléctrica. La oxidación ocurre en el ánodo y la reducción en el cátodo [50]. Este proceso está basado en la mejora de las reacciones químicas que implican la generación o el uso de electricidad. La electroquímica es una tecnología verde, relativamente, económica en comparación con otros tratamientos actuales aplicados al agua de producción. No genera desechos secundarios ni requiere el uso de productos químicos adicionales y ofrece un agua de producción tratada de mejor calidad para usos beneficiosos [12]. Entre los procesos electroquímicos más conocidos están la electrodeposición, electrocoagulación, electroflotación y electrooxidación [51].

3.4.3. Demulsificantes. Existen varios métodos para la demulsificación del petróleo crudo, entre ellos, electroseparación, demulsificación supersónica, centrifugación y demulsificación química con demulsificantes [52]. La demulsificación química es el método más utilizado para tratar emulsiones de aceite en agua e implica el uso de aditivos químicos para acelerar el proceso de ruptura de la emulsión [53]. Los tensoactivos inducen a la estabilización de las emulsiones aceite-agua, al reducir la tensión interfacial entre estas y el potencial zeta en las superficies de las gotas de aceite [12]. Los demulsificantes comerciales son tensoactivos poliméricos como copolímeros de poli (óxido de etileno) (PEO) y poli (óxido de propileno) (PPO), además de alquilfenol-resinas de formaldehído o mezclas de diferentes sustancias tensoactivas [52]. En

la mayoría de los aceites crudos, los sólidos tales como los sulfuros de hierro, limos, arcilla, lodo de perforación, parafina, etcétera complican el proceso de demulsificación [5].

3.4.4. Intercambio iónico. Las membranas de intercambio iónico son una clase importante de membranas poliméricas densas que soportan cargas fijas en la matriz del polímero. Estas membranas permiten el paso selectivo de iones con carga opuesta (contraiones), mientras obstruyen los iones cargados de manera similar (coiones). Este proceso se ha establecido como un componente clave en la desalinización y electrólisis del agua [54].

3.4.5. Oxidación química. La oxidación química es una tecnología conocida y útil para el tratamiento de efluentes con compuestos refractarios [55], este proceso ocurre mediante la transferencia de electrones de un reactivo oxidante a una especie química que se oxida [56]. Actualmente, se desarrollan tratamientos de aguas de producción con el fin de reducir la cantidad de hidrocarburos, además de eliminar el color, olor, DQO y DBO presentes en el agua de producción [12]. Las técnicas de separación convencionales no eliminan los compuestos orgánicos disueltos, por lo tanto, deben implementarse varias oxidaciones, entre ellas biológicas y químicas [57].

Con peróxido de hidrógeno. El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es un oxidante fuerte que puede reaccionar directamente con los compuestos orgánicos presentes en el agua de producción. Resulta aún más efectivo cuando se usa en combinación con otra energía o reactivos (oxidación avanzada), capaces de disociar el peróxido en un radical hidroxilo que actuará como agente oxidante [12].

Con ozono. El ozono es un oxidante y viricida muy fuerte [58]. Es uno de los oxidantes más eficaces, utilizado durante mucho tiempo para el tratamiento de agua potable para la desinfección, el tratamiento de olores y la eliminación del color causado por sustancias húmicas, y para de la degradación de varios productos químicos orgánicos incluidos los PAHs (Hidrocarburo aromático policíclico)[59].

La ozonización implica un proceso escalonado mediante el cual se introducen progresivamente átomos de oxígeno en el compuesto, que generan moléculas más pequeñas, las cuales contienen un mayor porcentaje de oxígeno en su estructura química en forma de grupos funcionales hidroxilo, carboxilo o aldehído, por lo que resultan más susceptibles a la biodegradación [60].

3.4.6. Oxidación avanzada. Durante este proceso los radicales hidroxilos (OH^\cdot) se generan en cantidades suficientes [61] que permiten, gracias a su reactividad y alta selectividad, transformar diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos, inhibiendo así la posterior generación de residuos tóxicos [15].

La mayoría de estos procesos, excepto la ozonización simple (O_3), utiliza una combinación de oxidantes fuertes, radiación ultravioleta (UV), ultrasonido (US) o haz de electrones y catalizadores, etcétera. Algunos de los sistemas de oxidación avanzada típicos son: O_3/UV , H_2O_2/UV , rayo de electrones, ultrasonido (US), H_2O_2/US , UV/US , $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ (fotofenton), O_3/H_2O_2 , O_3/OH , H_2O_2/Fe^{2+} (Fenton), entre otros [55].

3.5. Tratamientos Biológicos

Los tratamientos biológicos son extremadamente efectivos en varios tipos de moléculas disueltas e incluyen los hidrocarburos de petróleo, y, por lo tanto, son muy útiles para reducir los niveles de contaminación orgánica en el agua producida [62]. En la oxidación biológica, los compuestos orgánicos disueltos y el amoníaco son convertidos en agua, CO_2 y nitratos/nitritos, respectivamente, por microorganismos como bacterias, algas, hongos y protozoos, mediante mecanismos de biodegradación y biofloculación [12]. Entre los procesos y tecnologías biológicas para el tratamiento de agua de producción se encuentran los reactores de secuenciación por lotes, los filtros biológicos aireados, los lodos activados y humedales artificiales. Los procesos biológicos suelen ser más eficaces para un agua de alimentación con un DQO < 400 mg/L, un DBO < 50 mg/L, nivel de aceite < 60 mg/L y una concentración de cloruro < 2600 mg/L del agua producida [39].

Cabe resaltar que los procesos de tratamiento biológico son considerados unos de los más económicos para la remoción de contaminantes presentes en el agua [39].

3.6. Tratamientos de membrana

Las membranas son películas microporosas con índices de poros específicos, que separan selectivamente un fluido de sus componentes [10]. La separación con membranas se produce debido a la existencia de un gradiente a través de estas. Los procesos de separación por membrana pueden dividirse en las impulsadas por presión y las no impulsadas por presión [63]. El primer proceso se basa en el tamaño del poro de la membrana [5], en donde se genera un gradiente de presión, denominado presión transmembra [63], esto con el fin de separar los contaminantes presentes en la corriente de alimentación. Los procesos de separación por membrana impulsados por presión incluyen microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), ósmosis inversa (RO) y nanofiltración (NF). La MF se enfoca en la separación de partículas suspendidas; la UF, en la separación de macromoléculas, y la RO, en la separación de componentes iónicos y disueltos [5]. A continuación, se hace una descripción detallada de cada de las tecnologías mencionadas anteriormente.

3.6.1. Microfiltración (MF). La separación por microfiltración tiene un tamaño de poro más grande (0.1 – 3 μm) y se usa generalmente para la eliminación de sólidos suspendidos y la reducción de la turbidez [10], a presiones entre los 0.5 y 3 bar.

Esta tecnología se implementa como etapa de limpieza, de concentración o como pretratamiento para la nanofiltración o a la ósmosis inversa [64].

3.6.2. Ultrafiltración (UF). La UF es el método más eficaz para la eliminación de hidrocarburos del agua producida en comparación con los métodos de separación convencionales, gracias a su alta eficiencia de remoción de aceite, bajos costos de energía, pequeños requerimientos de espacio y la inexistencia de aditivos químicos [5]. Esta tecnología es más eficaz que la MF para la eliminación

de hidrocarburos, sólidos en suspensión y compuestos disueltos en el agua de producción [10]. Las membranas de UF permiten la eliminación de partículas coloidales más pequeñas, virus y macromoléculas como proteínas y algunos ácidos húmicos [63]. Tiene un tamaño de poro entre 0.01 y 0.1 μm y trabajan a presiones inferiores que los 1000kPa [64].

Tanto la MF como la UF operan a baja presión transmembra y pueden servir como pretratamiento para la desalinización, pero no pueden eliminar la sal del agua [10].

3.6.3. Nanofiltración (NF). La NF es un proceso de membrana impulsado por presión, implica presiones entre 5 y 20 bar, que se utilizan para separar moléculas en un rango de peso molecular de 200 a 2000 g/mol [65]. Las membranas de NF están diseñadas, generalmente, para ser selectivas por iones multivalentes en lugar de iones univalentes [5], además de esto se ha utilizado como una tecnología para el ablandamiento de agua y eliminación de metales con un tamaño de poro de 0.001 mm, equivalente a 1 nm [12].

3.6.4. Ósmosis inversa (RO). Es un procedimiento impulsado por una presión diferencial mayor que la presión osmótica [66]. Las membranas de RO están diseñadas para rechazar todas las especies distintas del agua. Esta tecnología puede eliminar contaminantes más pequeños que el resto de membranas y se obtienen efluentes de alta calidad [12]; sin embargo, son incapaces de ofrecer una barrera significativa a los gases disueltos y a ciertas moléculas orgánicas de bajo peso molecular [5], el tamaño del poro se encuentra entre 5 – 15 Å, permitiendo retener un contenido máximo de sólidos del 30 % [64].

El tipo de membrana más común utilizado en los procesos de ósmosis inversa es la membrana semipermeable [66]. Los sistemas de membrana de ósmosis inversa tienen una vida útil entre tres y siete años. Sin embargo, las incrustaciones de membrana y el escalado son un punto crítico en este proceso, junto con el alto costo de requisitos de presión y capital [12].

En Colombia los tratamientos de agua de producción están enfocados, principalmente, a procesos convencionales de tipo físico y químico, como el desnatado, flotación por aire disuelto, filtración, oxidación química, entre otros mencionados anteriormente. Hasta ahora no se han desarrollado sistemas de tratamiento avanzados (no convencionales) que incluyan nuevas tecnologías o configuraciones integradas tales como los sistemas híbridos, los cuales comprenden dos procesos diferentes que, al integrarse en uno solo, permiten mejorar significativamente la eficiencia y operatividad del tratamiento de agua [67].

Como se mencionó previamente el reúso del agua de producción para aplicaciones agrícolas es una alternativa que puede traer beneficios tanto para los usuarios urbanos, agricultores como para el medioambiente, garantizando una gestión sostenible y eficiente de este recurso. Sin embargo, se debe tener en cuenta que para alcanzar este objetivo es necesario cumplir con los estándares de calidad y requerimientos estrictos dados por la normativa descrita en el siguiente apartado.

3.7. Análisis Normativo para Aguas de Riego en Colombia

Para la reutilización de agua tratada en riego, es necesario considerar la normativa colombiana vigente, la cual presenta los límites y parámetros permisibles para la disposición final de este tipo de efluentes. Actualmente, la Resolución 1207 del 2014 establece las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada, esta presenta los límites permisibles para la reutilización de este recurso para usos agrícolas como se describen a continuación:

- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
- Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante), incluidos lubricantes.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a

procesos físicos o químicos.

El agua residual tratada deberá cumplir previamente con los siguientes criterios de calidad mostrados en la tabla 1:

Tabla 1. Valores máximos permisibles para disposición de agua residual en riego. Resolución 1207 del 2014

Variable	Valor máximo permisible
Físicos	
pH	6.0 – 9.0
Conductividad ($\mu\text{S} / \text{cm}$)	1500
Microbiológicos	
Coliformes termotolerantes (NMP / 100 mL)	1×10^5
Enterococos fecales (NMP / 100 mL)	1×10^2
Helminthos parásitos humanos (huevos y larvas / L)	1.0
Protozoos parásitos humanos (quistes / L)	1.0
Salmonella sp (NMP / 100 mL)	1.0
Químicos	
Fenoles totales (mg / L)	1.5
Hidrocarburos totales (mg / L)	1.0
Iones	
Cianuro libre (mg CN^- / L)	0.2
Cloruro (mg Cl^- / L)	300
Fluoruros (mg F^- / L)	1.0
Sulfatos (mg $\text{SO}_4^{2-} / \text{L}$)	500
Metales	
Aluminio (Al) (mg Al / L)	5.0
Berilio (Be) (mg Be / L)	0.1
Cadmio (Cd) (mg Cd / L)	0.01
Cinc (Zn) (mg Zn / L)	3.0
Cobalto (Co) (mg Co / L)	0.05
Cobre (Cu) (mg Cu / L)	1.0
Cromo (Cr) (mg Cr / L)	0.1
Hierro (Fe) (mg Fe / L)	5.0

Mercurio (Hg) (mg Hg / L)	0.002
Litio (Li) (mg Li / L)	2.5
Manganeso (Mn) (mg Mn / L)	0.2
Molibdeno (Mo) (mg Mo / L)	0.07
Níquel (Ni) (mg Ni / L)	0.2
Plomo (Pb) (mg Pb / L)	5.0
Sodio (Na) (mg Na / L)	200
Vanadio (V) (mg V / L)	0.1
Metaloides	
Arsénico (As) (mg As / L)	0.1
Boro (B) (mg B / L)	0.4
No metales	
Selenio (Se) (mg Se / L)	0.02
Otros parámetros	
Cloro total residual (con mínimo 30 minutos de contacto) (mg Cl ₂ / L)	Menor a 1.0
Nitratos (NO ₃ -N) (mg / L)	5.0

4. CONCLUSIONES

El alto volumen de agua generado en la etapa de producción de la industria petrolera ha traído consigo estrategias para el manejo y gestión del recurso. Actualmente, en Colombia las técnicas más utilizadas para disposición final de este efluente son la inyección y el vertimiento superficial; sin embargo, se han desarrollado algunos proyectos para generar un valor agregado a este recurso, como el reúso en actividad agrícola. Para este fin se requieren sistemas de tratamiento robustos que cuenten con operaciones de pulido, permitiendo al agua alcanzar los requerimientos de calidad exigidos en la normativa.

La incorporación de tratamientos no convencionales como tecnologías de membrana (ósmosis inversa), procesos de oxidación avanzada (fotofenton), procesos de biorremediación (humedales artificiales), electrodiálisis y adsorción (carbón activado) a los sistemas de tratamiento actuales son indispensables para obtener un efluente de calidad que pueda disponerse en riego. Es importante continuar desarrollando proyectos de investigación en

técnicas no convencionales e implementando diferentes tecnologías de tratamiento a escala piloto, con el fin de avanzar en procesos de desarrollo sostenible y economía circular.

5. RECOMENDACIONES

Evaluar los requerimientos posteriores al sistema de tratamiento para la disposición del agua de producción tratada en riego a cultivos agroenergéticos.

REFERENCIAS

- [1] J. O. Robertson, and G. V. Chilingar, *Environmental aspects of oil and gas production*. John Wiley & Sons, 2017.
- [2] Water Environment Federation. "Oil and gas terminology glossary". *Monthly Energy Review*, 91, 2018.
- [3] J. García, M. Cabarcas, y S. Herrera. "Manejo del agua de producción para proyectos de gas en aguas profundas y ultraprofundas del caribe colombiano". *El Reventón Energético*, 15(2), 89-105, 2017. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/7686/8698> DOI: <https://doi.org/10.18273/revfue.v15n2-2017008>
- [4] L. Nabzar, and J. Duplan. "Water in fuel production: Oil production and refining". *Panorama 2011*, IFP Energies, 2011.
- [5] A. Fakhru'l-Razi, A. Pendashteh, L. C. Abdullah, D. R. A. Biak, S. S. Madaeni, and Z. Z. Abidin. "Review of technologies for oil and gas produced water treatment". *Journal of Hazardous Materials*, 170(2-3), 530-551, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.044>
- [6] E. F. Almansa-Manrique, J. G. Velásquez-Penagos, y G. A. Rodríguez-Yzquierdo. "Efecto del uso de aguas provenientes de la producción petrolera en actividades agrícolas y pecuarias". *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(2), 403-420, 2018. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:1016
- [7] Ecopetrol. *Reporte Integrado de Gestión Sostenible 2019*.

- <http://dev.isgood.com.co/ecopetrol/informe-2019/es/>
- [8] BNamericas. "Colombia's 20 highest producing oil fields". *BNamericas*, 2019. <https://www.bnamericas.com/en/news/colombias-20-highest-producing-oilfields>.
- [9] C. Gil y B. Mendoza. "Diseño de un modelo de ingeniería para la gestión del agua excedente del campo Castilla a fin de disponerla en cultivos que generan biocombustibles, según la Resolución 1207 de 2014", Trabajo de grado, Universidad de América, 2019.
- [10] E. Igunnu, and G. Z. Chen. "Produced water treatment technologies". *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(3), 157-177, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1093/ijlct/cts049>
- [11] T. Hayes, and D. Arthur. *Overview of emerging produced water treatment technologies*. The 11th Annual International Petroleum Environmental Conference, Albuquerque, NM, October 12-15, 2004. <https://www.yumpu.com/en/document/read/33648850/overview-of-emerging-produced-water-treatment-technologies-ipecc>
- [12] S. Jiménez, M. Micó, F. Medina, M. Arnaldos, and S. Contreras. "State of art of produced water treatment". *Chemosphere*, 192, 186-208, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517317241> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.139>
- [13] J. Neff. "Produced water". In *Bioaccumulation in marine organisms: Effect of contaminants from oil well produced water*. Elsevier, 1-35, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-043716-3.X5000-3>
- [14] M. Stewart, and K. Arnold. Part 1 – "Produced water treating systems". In *Produced water field manual*. Gulf Professional Publishing, 1-134, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-984-3.00001-8>
- [15] S. L. Mesa, J. M. Orjuela, A. T. Ortega Ramírez y J. Sandoval. "Revisión del panorama actual del manejo de agua de producción en la industria petrolera colombiana". *Gestión y Ambiente*, 21(1), 87-98. 2018. DOI: <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.69792>
- [16] A. Ortega. "Estrategia para el uso sostenible de agua de producción para riego de suelos, adaptada de la experiencia del desierto de Omán a un patrón de pozos en un campo colombiano". Tesis de Maestría. Universidad de América, 2019.
- [16] A. Ortega. "Estrategia para el uso sostenible de agua de producción para riego de suelos, adaptada de la experiencia del desierto de Omán a un patrón de pozos en un campo colombiano". Tesis de Maestría. Universidad de América, 2019.
- [17] N. Lusinier, I. Seyssiecq, C. Sambusiti, M. Jacob, N. Lesage, and N. Roche. "Biological treatments of oilfield produced water: A comprehensive review". *Society of Petroleum Engineers Journal*, 24(5), 2135-2147, 2019. DOI: 10.2118/195677-PA
- [18] M. Srijata, and R. Pranab. "BTEX: A serious ground-water contaminant". *Research Journal of Environmental Sciences*, 5(5), 394-398, 2011. DOI: 10.3923/rjes.2011.394.398
- [19] Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe ACIPET. "Disposición y tratamiento del agua producida". Guía Ambiental No. 1, 2006. <http://www.ingenieroambiental.com/4000/GUIA%2001%20-%20OK.pdf>
- [20] D. A. Puentes Álvarez y J. S. Velasco García. "Evaluación de la viabilidad de aplicación de la tecnología radio corto para la perforación de un pozo en el campo Rubiales". Trabajo de grado. Universidad de América, 2018.
- [21] Schlumberger. "FWKO". *Oilfield Glossary*, 2020. <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/fwko>
- [22] P. Grill, and F. Linde. "Oil skimming: Business potential, and strategic options facing a marginalized business segment at Sandvik Process Systems". Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, 2013. Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:644788/FULLTEXT01>
- [23] M. V. Madriz. "Estudio técnico, económico y financiero de la implementación de plantas modularizadas de tratamiento de aguas aceitosas como producto de la extracción de petróleo para una

- empresa de proyectos de Ingeniería Procura y Construcción (IPC)". Trabajo de grado. Universidad Católica Andrés Bello, 2014. <https://1library.co/document/y654407z-aas.html>
- J. Forero, J. Diaz, y V. Blandón. "Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales". *CTF – Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 67-75, 1999. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100006&lng=en&lng=es
- [24] D. García y P. Vivas. (2016). "Ampliación de la capacidad del sistema de tratamiento de agua de producción mediante el dimensionamiento conceptual de los nuevos equipos en la estación Jaguar ubicada en el bloque Caracara". Trabajo de grado. Universidad de América, 2016.
- [25] J. Cantos. "Diseño de una planta para el tratamiento de agua de formación para su reinyección en el campo Sacha". Trabajo de grado. Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [26] Ecopetrol. Filosofía de operación filtros de cáscara de nuez estación Apiay y Suria, 2010.
- [27] E. Piñeiro, R. Fonseca y J. Ruiz. "Diseño, construcción e instalación de un reactor para depurar aceites vegetales usados para ser reutilizados en calderas y hornos". Trabajo de grado. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, 2013.
- [28] D. Hincapié y S. Verján. "Evaluación técnica de la inyección cíclica de agua en la formación K1 inferior del campo Castilla mediante simulación numérica". Trabajo de grado. Universidad de América, 2019.
- [29] C. Quintero Gómez. "Alternativas de producción más limpia en la estación de recolección y tratamiento Castilla II Superintendencia de Operaciones Apiay – Soa. Departamento del Meta. Ecopetrol S. A.". Trabajo de grado. Universidad de la Salle, 2007.
- [30] J. Torres y D. Tosi. "Diseño y elaboración de un prototipo para trampa de grasa, aplicable al sector comercial de la ciudad de Cuenca". Trabajo de grado. Universidad del Azuay, 2019.
- [31] R. Mastouri, S. M. Borghei, F. Nadim, and E. Roayaei. "The investigation of induced gas flotation (IGF) performance at elevated temperatures and high total dissolved solids (TDS) produced water". *Petroleum Science and Technology*, 28, 1415-1426, 2009. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228504759_THE_INVESTIGATION_OF_INDUCED_GAS_FLOTATION_IGF_PERFORMANCE_AT_ELEVATED_TEMPERATURES_AND_HIGH_TOTAL DISSOLVED SOLIDS_TDS
- [32] Process Group. "Induced Gas Flotation D.04", 2012. Disponible en: http://www.processgroupintl.com/media/downloads/D04_Gas_Flotation_rev_11-12.pdf
- [33] R. Hoseinzadeh, A. Hossein, M. Omidkhah, and M. Sharifzadeh. "An economical comparative study of different methods for decrease towers makeup cost in oil refineries". *World Applied Sciences Journal*, 12(7), 2011. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/268380429_An_Economical_Comparative_Study_of_Different_Methods_for_Decrease_Cooling_Towers_Makeup_Cost_in_Oil_Refineries
- [34] J. Winpenny, I. Heinz y S. Koo-Oshima. "Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?" *Informe sobre Temas Hídricos* FAO 35, 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i1629s.pdf>
- [35] R. Arnold, D. Burnett, J. Elphick, T. Feely, M. Galbrun, M. Hightower, Z. Jiang, M. Khan, M. Lavery, F. Luffey y P. Verbeek. "Manejo de la producción de agua: De residuo a recurso". *Oilfield Review*, 2004. Disponible en: https://www.academia.edu/33018242/Manejo_de_la_produccion_de_agua_De_residuo_a_recurso
- [36] E. Salamanca. "Tratamiento de aguas para el consumo humano". *Módulo Arquitectura CUC*, 17(1), 29-48, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17981/moducuc.17.1.2016.02>
- [37] E. Worch. "Adsorption technology in water treatment: Fundamentals, processes and modeling." Walter de Gruyter, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110240238>
- [38] M. A. Al-Ghouti, M. A. Al-Kaabi, M. Y. Ashfaq, and D. A. Da'na. "Produced water characteristics, treatment

- and reuse: A review". *Journal of Water Process Engineering*, 28, 222-239, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>
- [40] C. Rawlins, "Experimental study on oil and solids removal in nutshell filters for produced water treatment". In SPE Western Regional Meeting, Garden Grove, California, USA, April 2018. DOI: 10.2118/190108-ms
- [41] M. Nasiri, and I. Jafari. "Produced water from oil-gas plants: A short review on challenges and opportunities". *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 61(2), 2017. DOI: 10.3311/ppch.8786
- [42] A. Heydari, R. Duraisamy, and A. Henni. "State of the art treatment of produced water". *Water Treatment*. 2013. DOI: 10.5772/53478
- [43] T. Pankratz. "Evaporation: A wastewater treatment alternative: Wastewater Treatment". Roads & Bridges, December 28, 2000. Disponible en: <https://www.roadsbridges.com/evaporation-wastewater-treatment-alt>
- [44] A. Azevedo, H. A. Oliveira, and J. Rubio. "Treatment and water reuse of lead-zinc sulphide ore mill wastewaters by high-rate dissolved air flotation". *Minerals Engineering*, 127, 114-121, 2018. DOI: 10.1016/j.mineng.2018.07.011
- [45] A. Al-Shamrani, A. James, and H. Xiao. "Separation of oil from water by dissolved air flotation". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 209(1), 15-26, 2002. doi:10.1016/s0927-7757(02)00208-x
- [46] M. Nasiri, I. Jafari, and B. Parniankhoy. "Oil and gas produced water management: A review of treatment technologies, challenges, and opportunities". *Chemical Engineering Communications*, 204(8), 990-1005, 2017. DOI: 10.1080/00986445.2017.1330747
- [47] T. Xu, and C. Huang. "Electrodialysis-based separation technologies: A critical review". *AIChE Journal*, 54(12), 3147-3159, 2008. DOI: 10.1002/aic.11643
- [48] L. K. Wang, D. Vaccari, Y. Li y N. K. Shamma. "Chemical precipitation". In: L. K. Wang, Y. T. Hung, and N. K. Shamma (eds.) *Physicochemical treatment processes. Handbook of Environmental Engineering*, vol 3. Humana Press, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1385/1-59259-820-x:141>
- [49] M. S. Oncel, A. Muhcu, E. Demirbas, and M. Kobya. "A comparative study of chemical precipitation and electrocoagulation for treatment of coal acid drainage wastewater". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4), 989-995, 2013. DOI: 10.1016/j.jece.2013.08.008
- [50] T. Muddemann, D. Haupt, M. Sievers, and U. Kunz. "Electrochemical reactors for wastewater treatment". *ChemBioEng Reviews*, 6(5), 142-156, 2019 DOI: 10.1002/cben.201900021
- [51] E. Gilpavas, E. Arbeláez, L. Sierra, C. White, C. Oviedo y P. Restrepo. "Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales". *Cuadernos de Investigación*. Universidad EAFIT, 2008.
- [52] A. M. Al-Sabagh, N. Kandile, and M. R. Noor El-Din. "Functions of demulsifiers in the petroleum industry". *Separation Science and Technology*, 46(7), 1144-1163, 2011. DOI: :10.1080/01496395.2010.550595
- [53] H. N. Abdurahman, M. Y. Rosli, and J. Zulkifly. "Chemical demulsification of water-in-crude oil emulsions". *Journal of Applied Sciences*, 7: 196-201, 2007. DOI: 10.3923/jas.2007.196.201
- [54] T. Luo, S. Abdu, and M. Wessling. "Selectivity of ion exchange membranes: A review". *Journal of Membrane Science*, 555, 429-454, 2018. DOI: 10.1016/j.memsci.2018.03.051
- [55] S. Renou, J. G. Givaudan, S. Poulain, F. Dirassouyan, and P. Moulin. "Landfill leachate treatment: Review and opportunity". *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468-493, 2008. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.077 9
- [56] N. K. Shamma, J. Y. Yang, P. C. Yuan, and Y. T. Hung. "Chemical oxidation". *Physicochemical Treatment Processes*, 229-270, 2005. DOI: 10.1385/1-59259-820-x:229
- [57] S. Shokrollahzadeh, F. Golmohammad, N. Naseri, H. Shokouhi, and M. Arman-Mehr. "Chemical oxidation for removal of hydrocarbons from gas-field produced water". *Procedia Engineering*, 42, 942-947, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.487>

- [58] United States Environmental Protection Agency EPA. "Ozone disinfection" *Wastewater Technology Fact Sheet*, 1999. Disponible en: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/ozon.pdf>
- [59] Y. Gong, and D. Zhao. "Effects of oil dispersant on ozone oxidation of phenanthrene and pyrene in marine water". *Chemosphere*, 172, 468–475, 2017. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.01.007
- [60] A. B. C. Alvares, C. Diaper, and S. A. Parsons. "Partial oxidation by ozone to remove recalcitrance from wastewaters: A review". *Environmental Technology*, 22(4), 409–427, 2001. DOI: 10.1080/09593332208618273
- [61] Y. Deng, and R. Zhao. "Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment". *Current Pollution Reports*, 1(3), 167–176, 2015. DOI: 10.1007/s40726-015-0015-z
- [62] Y. Barash. "Biological treatment of produced water". AWE Magazine, October 3, 2010. Disponible en: <https://www.aweimagazine.com/article/biological-treatment-of-produced-water-237/>
- [63] H. T. Madsen. "Membrane filtration in water treatment: Removal of micropollutants". In *Chemistry of advanced environmental purification processes of water*, Elsevier, 199–248, 2014. DOI: 10.1016/b978-0-444-53178-0.00006-7
- [64] C. A. Solís, C. A. Vélez y J. S. Ramírez-Navas. "Tecnología de membranas: Ultrafiltración". *Entre Ciencia e Ingeniería*, 11(22), 26-36, 2017. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.3546>
- [65] C. Charcosset. "Some perspectives". *Membrane Processes in Biotechnology and Pharmaceuticals*, 295–321, 2012. DOI: 10.1016/b978-0-444-56334-7.00008-3
- [66] Y. Mikhak, M. M. A. Torabi, and A. Fouladitajar. "Refinery and petrochemical wastewater treatment". *Sustainable Water and Wastewater Processing*, 55–91, 2019. DOI: 10.1016/b978-0-12-816170-8.00003-x
- [67] E. Vicuña, S. Ara y J. Loayza. "Sistemas híbridos de tratamiento de aguas residuales". *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*,

CRITERIOS GENERALES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, SECCIONAL SOGAMOSO

La Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo I2+D, es una publicación que se edita semestralmente y maneja una convocatoria permanente, financiada por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Sogamoso-Boyacá, Colombia, creada en el año 2005. Tiene como misión publicar y divulgar artículos científicos, productos de una investigación, en todos los campos de la ingeniería y tecnología: Industrial, electrónica y comunicaciones, ciencias de la tierra, sistemas y computación, ingeniería de los materiales, ingeniería electromecánica, Ambiental, transporte y vías, y otras afines.

Ingeniería, Investigación y Desarrollo invita a toda la comunidad académica e investigativa de instituciones públicas y privadas, regionales, nacionales e internacionales, tales como investigadores, grupos y semilleros de investigación, docentes, estudiantes, directivos de ingeniería y demás interesados en temáticas relacionadas con las diferentes áreas de la Ingeniería, para que presenten sus contribuciones y trabajos inéditos, en español o inglés. Podrán publicarse artículos originales, de investigación y/o innovación tecnológica.

Los artículos sometidos serán evaluados previamente por el comité editorial, y por pares evaluadores externos o internos antes de su publicación, que se reservan el derecho de decidir sobre su publicación. Los pares revisores emitirán un concepto sobre el contenido del artículo desde la calidad y el rigor científico, en el formato de evaluación establecido por la revista. Las observaciones y sugerencias manifestadas por los evaluadores serán enviadas a los autores para que realicen los respectivos ajustes, con el fin de decidir si el artículo cumple con las condiciones para ser publicable o no. La Revista siempre utilizará el sistema de “par doble ciego” En este proceso se da un espacio de correspondencia entre el editor y los autores para los ajustes necesarios. Los tiempos de publicación de un artículo dependerán en gran medida de la oportuna respuesta que los autores den a cada requerimiento del editor, los trabajos enviados a “Ingeniería, Investigación y Desarrollo” no podrán ser sometidos simultáneamente a evaluación por otro medio de publicación. La aceptación de un artículo por parte del comité editorial, no implica que vaya a ser publicado, el contenido de los trabajos es responsabilidad exclusiva de sus autores. No se devolverán los originales de los trabajos.

Todos los artículos deben matricularse en la plataforma OJS, accesible desde el sitio web www.uptc.edu.co/enlaces/ringinvedesa, junto con la carta de presentación, firmada por los autores, para realizar el proceso de matrícula del manuscrito el autor debe compilar previamente un formulario de registro, escogiendo la opción de autor, donde le será asignado un usuario y contraseña para que pueda realizar el envío del documento. Por medio de este mismo enlace podrá ser consultada y descargada la plantilla de presentación de artículos y el modelo de la carta de cesión de derechos de autores estipulado por la revista.

Extensión del artículo: Los artículos se presentan en hojas tamaño carta con márgenes superior: 3 cm, derecho: 2 cm, izquierdo: 3 cm e inferior: 2 cm, a espacio sencillo, doble columna, letra calibri y un contenido de máximo 10 páginas.



Estructura: Secciones: título, resumen, palabras clave, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimiento (si procede) y referencias. Para las tres primeras secciones se requiere, además, su traducción al inglés (title, abstract y keywords), que se colocará inmediatamente debajo de la versión en español.

Título: se sugiere no exceder de 15 palabras.

Resumen: máximo 250 palabras, el propósito del trabajo, los métodos empleados, resultados más significativos y conclusiones más importantes. Se redactará en un solo párrafo, en tiempo presente y modo impersonal. No incluirá abreviaturas, siglas, citas bibliográficas ni referencias a tablas o figuras.

Palabras clave: en orden alfabético, 4 o 5 términos relacionados con el contenido del artículo.

Introducción: tratará el tema específico del trabajo e informará sobre el propósito, importancia, aplicación práctica de la investigación y conocimiento actual del tema.

Materiales y métodos: proveerá suficiente información para que el experimento pueda repetirse bajo las mismas condiciones. Cuando los métodos, técnicas y procedimientos empleados sean muy conocidos, bastará con mencionarlos. Si se modifica un método de otro investigador deberá aportarse la cita y explicar detalladamente la modificación; pero si el método es nuevo, se describirá en detalle. Cuando se trate de investigaciones de campo, deberán aparecer las características del área de estudio y del muestreo.

Resultados: se expondrán mediante texto, figuras, tablas, cuidando no repetir una misma información en más de una forma, en esta sección se deben presentar los resultados hallados en la investigación.

Discusión: se explicarán los datos experimentales y se compararán con los resultados obtenidos por otros investigadores.

Las secciones de Resultados y Discusión podrán presentarse de forma independiente o combinada, según preferencia del autor.

Agradecimientos: será el lugar para reconocer la ayuda de personas e instituciones que aportaron significativamente al desarrollo de la investigación.

Referencias: Las referencias bibliográficas y citas, deben atender al estilo IEEE, se registrarán solamente los trabajos citados en el texto, que deberán tener un nivel adecuado de actualización, las referencias deben hacerse por orden de aparición en el artículo. Téngase en cuenta que la actualidad de las referencias es un elemento de gran peso en la evaluación de la calidad de los artículos, se debe adicionar el DOI a las referencias bibliográficas que lo tengan.

Para obtener la plantilla de presentación de artículos, por favor diríjase al correo: revistaiid@uptc.edu.co o al enlace: www.uptc.edu.co/enlaces/ringinvedesa, a la sección Acerca de.

**REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
SECCIONAL SOGAMOSO
SUSCRIPCIÓN / SUBSCRIPTIONS**

Nombre/Name: _____ C.C. _____
Apellidos/Last Name: _____
Profesión/Profession: _____
Departamento académico/Academic department: _____
Dirección de Envío/Address: _____
Teléfono/Telephone Number: _____ ext: _____ Fax: _____
Oficina/: _____
Ciudad/City: _____
País/Country: _____
Correo Electrónico/Email: _____
Suscripción a partir del número/ Subscription from number : _____
Firma: _____

Envíe este formato totalmente diligenciado a: revistaid@uptc.edu.co; a vuelta de correo recibirá el ejemplar solicitado de la revista I2+D. La suscripción a la Revista I2+D es totalmente gratuita.

Correspondencia, Canje y Suscripciones

REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO I2+D
Calle 4 Sur N° 15-134 Tels.: (57+8) 7705450, 770 6896, 770 7721 Ext. 2606
Uptc Sogamoso-Boyacá, Colombia
E-mail: revistaid@uptc.edu.co
www.uptc.edu.co/enlaces/ringinvedesa
DOI: <http://dx.doi.org/10.19053/issn.1900-771X>