



# AVANCES Y PERSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA





# AVANCES Y PERSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA 4.0

CENTRO DE INVESTIGACIONES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA



1 a Edición: Septiembre 2020 Risaralda, Colombia  
AVANCES Y PERSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA 4.0  
© Corporación Universidad Libre - Pereira  
465 páginas  
ISBN 978-958-8859-60-6

Universidad Libre Seccional Pereira  
Centro de Investigaciones Facultad de Ingeniería  
Corporación Universidad Libre Seccional Pereira  
Pereira, Colombia

Editores:

© Daniel Aristizábal Torres  
© Alejandro Alzate Buitrago  
© Jesús David Valencia Salazar  
© César Augusto Peñuela Meneses  
daniel.aristizabalt@unilibre.edu.co  
340 1043  
Campus Universidad Libre Belmonte Avenida Las Américas  
www.unilibrepereira.edu.co/portal/  
Diseño y Diagramación: Daniel Aristizábal Torres

Este libro es resultado de los trabajos finales presentados en el I Congreso Internacional de Ingeniería 4.0 realizado los días 24 y 25 de octubre de 2019 organizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre Seccional Pereira.

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.



## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente Nacional: Jorge Orlando Alarcón Niño

Vicepresidente Nacional: Jorge Gaviria Liévano

Rector Nacional: Fernando Enrique Dejanón Rodríguez

Censor Nacional: Ricardo Zopó Méndez

Secretario General: Floro Hermes Gómez Pineda

Director Nacional de Planeación: Alejandro Muñoz Ariza

Directora Nacional de Investigaciones: Elizabeth Villarreal Correcha

Presidente Seccional: Miguel González Rodríguez

Rector Seccional: Fernando Uribe de los Ríos

Director Seccional de Investigación: Luis Alfonso Sandoval Perdomo

Decano Facultad de Ingeniería: Jorge Enrique Ramírez Rincón

Director Centro de Investigaciones Ingeniería: Daniel Aristizábal Torres



## ***Tabla de Contenido***

<b><i>Muretes no estructurales en bloques de tierra comprimida (BTC) de cenizas volcánicas, como material alternativo para construcciones sostenibles</i></b>	<b>7</b>
<b><i>Implementación de un sistema de iluminación con paneles solares en un barrio de Pereira como parte de un proyecto de aula ABP</i></b>	<b>23</b>
<b><i>Determinación del nivel de riesgo de material particulado respirable en biciusuarios: reto de la movilidad sostenible en bicicleta en Bogotá</i></b>	<b>34</b>
<b><i>Diseño de un sistema para la medición de los niveles de CO, CO<sub>2</sub> y gases tóxicos en los parqueaderos a subnivel de las Grandes superficies existentes en el municipio de Villavicencio Meta</i></b>	<b>59</b>
<b><i>Estudio preliminar de la actividad degradadora de hidrocarburos mediante hongos aislados de petróleo crudo adsorbido en fibras vegetales</i></b>	<b>75</b>
<b><i>Herramienta diagnóstica de la gestión y madurez de la seguridad y salud en el trabajo en organizaciones colombianas</i></b>	<b>96</b>
<b><i>Prototipo Aeropónico Automatizado: un Camino hacia la Producción Agrícola y Desarrollo Sostenible</i></b>	<b>113</b>
<b><i>Fibroina de seda como biomaterial para ser usado en medicina regenerativa basada en ingeniería de tejidos</i></b>	<b>132</b>
<b><i>Estrategia pedagógica para la formación de Ingenieros para el siglo XXI basada en STEAMRW</i></b>	<b>159</b>
<b><i>Aplicación de modelos de competitividad empresarial para una empresa del sector de la remodelación en la ciudad de Pereira</i></b>	<b>175</b>
<b><i>Las ferias comerciales como modelo de innovación empresarial para las nuevas empresas y emprendedores: Caso La Feria Pereira</i></b>	<b>204</b>
<b><i>Diagnóstico y evolución de la oferta de crowdfunding en Colombia</i></b>	<b>218</b>

<i>El fenómeno del crowdfunding no financiero en las economías emergentes de México, Chile y Colombia</i>	237
<i>El financiamiento de las PYMEs en México a través del Crowdfunding Financiero: un caso de estudio</i>	258
<i>Diseño y construcción de un sistema de pasteurización artesanal automático y controlable remotamente con capacidad hasta de 20 litros</i>	283
<i>Guía Interactiva basada en el Modelo de Gestión De La I+D+i de acuerdo a la Serie NTC 5800</i>	307
<i>Algoritmo de solución multiobjetivo para el problema ruteo de vehículos considerando múltiples depósitos y restricción de precedencia</i>	325
<i>Análisis de eficiencia de los centros comerciales de la ciudad de Pereira a través de Data Envelopment Analysis (DEA)</i>	344
<i>Actualización e implementación de sistema electromecánico para caracterización óhmica y electromagnética de un electroimán Phylatex</i>	365
<i>Un algoritmo eficiente para la programación de turnos de trabajo en la operación de un sistema de transporte masivo</i>	380
<i>Oculus Rift una herramienta virtual para desarrollar habilidades creativas</i>	404
<i>Aplicación de femtoceldas para soportar el tráfico de redes celulares en ambientes indoor</i>	424
<i>Análisis comparativo entre plataformas multipaíses y plataformas nacionales de crowdfunding</i>	450

# *1*

## ***Muretes no estructurales en bloques de tierra comprimida (BTC) de cenizas volcánicas, como material alternativo para construcciones sostenibles***

### ***Non-structural walls in compressed earth blocks (BEC) of volcanic ash, as an alternative material for sustainable constructions***

Alejandro Alzate Buitrago<sup>1</sup>, Gloria Milena Molina Vinasco<sup>2</sup>

#### ***Resumen***

La fabricación de muretes en bloques de tierra comprimida (BTC) se constituye en una alternativa de la ingeniería sustentable, toda vez que en la actualidad la ejecución de obras civiles demanda grandes volúmenes de agregados pétreos y concretos, con los consecuentes impactos sobre el medio paisajístico natural. Adicionalmente, las tendencias constructivas de la modernidad urbana exigen nuevas técnicas, eficiencia energética y materiales alternativos, conducentes todas ellas a la protección y cuidado del medio ambiente. Es un hecho incuestionable que el actual mercado comercial de la construcción demanda optimización de los recursos utilizados, sostenibilidad y buena calidad constructiva, con un especial énfasis sobre el carácter y sentido ecológico que exigen los nuevos

---

<sup>1</sup>Candidato a doctor en desarrollo sostenible. Universidad Libre Seccional Pereira, [alejandro.alzateb@unilibre.edu.co](mailto:alejandro.alzateb@unilibre.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniera Civil. Magíster en Ingeniería Civil.

desarrollos constructivos, en procura del mejoramiento y protección del medio ambiente y la calidad de vida y seguridad de los pobladores. En tal sentido, los bloques de tierra comprimida (BTC) utilizados para la elaboración de muretes, se convierten en un material alternativo y de bajo costo, interesante en aquellos territorios donde la presencia de suelos derivados de cenizas volcánicas, como es el caso particular de las ciudades localizadas en la “zona andina suramericana”, es abundante, de fácil acceso y aprovechamiento y que, adversamente, en la generalidad de los desarrollos urbanos es considerado un material estéril, cuya disposición final representa una carga económica onerosa para los promotores y ejecutores de proyectos urbanísticos. La evaluación de las propiedades mecánicas de muretes no estructurales elaborados con BTC, cobra interés en el contexto de aquellos “territorios circunvecinos a zonas de actividad volcánica”, debido a la presencia de volcanosedimentos (residuales de cenizas volcánicas). El proyecto investigativo, a partir de la caracterización físico-mecánica de los suelos residuales de cenizas volcánicas, la búsqueda de dosificaciones ideales de dichos materiales con cal-arcilla-escombros de concreto y la posterior definición de las propiedades mecánicas de los muretes elaborados con la mejor dosificación encontrada, posibilitó definir que, no obstante los suelos derivados de cenizas volcánicas no presentar buenas propiedades mecánicas debido a su baja cohesión, la adición de materiales como cal, arcilla y escombros de concreto generó un incremento significativo en la resistencia de los BTC. Además, se encontró que la resistencia de BTC con porcentajes de cal al 4.5%, arcilla al 20% y escombros de concreto al 10%, alcanzó los mínimos exigidos por la Norma NTC-5324. Ahora bien, los muretes fabricados con los BTC de mejor resistencia no alcanzaron los mínimos de resistencia establecidos por la Norma, resultado éste que pudo estar asociado a las características de la pega o a las dimensiones de los BTC utilizados.

***Palabras clave:*** Bloques de tierra comprimida (BTC), muretes, escombros de concreto, vivienda sostenible

### ***Abstract***

*The manufacture of low walls in compressed earth blocks (BTC) constitutes an alternative to sustainable engineering, given that currently the execution of civil works demands large volumes of stone and concrete aggregates, with the consequent impacts on the landscape environment. Additionally, the constructive tendencies of urban modernity demand new techniques, energy efficiency and alternative materials, all of them conducive to the protection and care of the environment. It is an unquestionable fact that the current commercial construction market demands optimization of the resources used, sustainability and good construction quality, with a special emphasis on the character and ecological sense that new construction developments require, seeking to improve and protect*

*the environment. environment and the quality of life and safety of the inhabitants. In this sense, the compressed earth blocks (BTC) used for the elaboration of low walls, become an alternative and low-cost material, interesting in those territories where the presence of soils derived from volcanic ash, as is the particular case of The cities located in the "South American Andean zone" are abundant, easy to access and take advantage of and, adversely, in most urban developments it is considered a sterile material, whose final disposal represents an onerous economic burden for developers and executors. of urban projects. The evaluation of the mechanical properties of non-structural low walls made with BTC is of interest in the context of those "territories surrounding volcanic activity areas", due to the presence of volcano sediments (residual volcanic ash). The research project, based on the physical-mechanical characterization of the residual soils of volcanic ash, the search for ideal dosages of these materials with lime-clay-concrete rubble and the subsequent definition of the mechanical properties of the walls made with the Better dosage found, made it possible to define that, despite the soils derived from volcanic ash, they did not present good mechanical properties due to their low cohesion, the addition of materials such as lime, clay and concrete rubble generated a significant increase in the resistance of the BTC. In addition, it was found that the resistance of BTC with percentages of lime at 4.5%, clay at 20% and concrete rubble at 10%, reached the minimum required by the NTC-5324 Standard. However, the walls made with the best resistance BTCs did not reach the resistance minimums established by the Standard, a result that could have been associated with the characteristics of the glue or the dimensions of the BTC used.*

**Keywords:** *Compressed Earth Blocks (BEC), low walls, concrete rubble, sustainable housing*

## ***Introducción***

Jacobo & Vedoya (2004) plantean que el mercado comercial de la construcción demanda optimización de los recursos económicos y buena calidad constructiva. Enfatizan sobre el carácter y sentido ecológico que exigen los nuevos desarrollos constructivos, mejorando con ello la protección del medio ambiente y la calidad de vida y seguridad de los pobladores. En tal sentido los bloques de tierra comprimida (BTC) utilizados para la elaboración de muretes, se convierten en un material alternativo y de bajo costo, interesante en aquellos territorios donde la presencia de suelos derivados de cenizas volcánicas, como es el caso particular de las ciudades localizadas en la “zona andina colombiana”, es abundante, de fácil acceso y aprovechamiento y que, adversamente, en la generalidad de los desarrollos urbanos es considerado un material estéril, cuya disposición final representa una carga económica onerosa para los promotores y ejecutores de proyectos urbanísticos. Lizcano *et al.* (2006) estudiaron las propiedades físicas, geotécnicas, químicas, térmicas, eléctricas y

mecánicas que poseen los suelos residuales derivados de cenizas volcánicas y su importancia y aplicaciones en la ingeniería, además de entender su proceso evolutivo y de meteorización.

A raíz de que, en los últimos años, muchos investigadores en el sector de la construcción se han dedicado a buscar métodos o materiales que sean sostenibles y amigables con el medio ambiente, autores como Martínez (2012) sostienen que a los materiales de tierra cruda se les ha concedido la categoría de ecológicos, limpios y sustentables. El mismo autor, en alguno de sus trabajos investigativos, concluye que “el desarrollo tecnológico tan simple como es el BTC, permite incrementar considerablemente las capacidades constructivas de la tierra, conservando su capacidad de integración arquitectónica en distintos entornos con gran libertad para el diseño” (Martínez 2012, p. 256). Defiende también la tesis que los límites de la construcción con tierra son más de orden cultural que técnico.

En este mismo sentido, y fruto de la problemática ambiental y agotamiento de recursos que padece el planeta, autores como Cid *et al.* (2011); Carcedo (2012); Hernández *et al.* (2015); Calderón (2013); Martínez (2012); Roux *et al.* (2015); Siller *et al.* (2012); Yepes & Bedoya (2012), entre otros, han destacado la importancia de la tierra cruda (suelos residuales) como material de construcción. Adicionalmente, relievan su fácil disponibilidad, bajo costo y cantidad del recurso como materia prima fundamental para las viviendas de ciertas poblaciones en el mundo.

Vásquez *et al.* (2015), en su trabajo investigativo,

sugieren la posibilidad de entender los residuos como materia prima de nuevos procesos, disminuyendo a su vez la extracción de materiales. Para ello, proponen la fabricación de bloques de tierra comprimida a partir de la utilización de la tierra resultante del proceso de excavación y la adición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como agregado, sustituyendo la totalidad del agregado tradicionalmente utilizado (p. 197)

Galíndez (2009), en sus investigaciones de fabricación de BTC sin cemento como aditivo principal, demostró que los mampuestos con predominio de suelos areno-arcillosos con plasticidades moderadas, debidamente compactados y utilizando aceite usado de vehículos como impermeabilizante, se constituyen en materiales confiables para la construcción.

Para otros autores, como en el caso de Martínez (2012), los procesos constructivos con tierra cruda representan una gran oportunidad, pues los procesos de transformación son mínimos, minimizando impactos ambientales, y en la generalidad de los casos se puede hacer

uso de los materiales in situ. Claro está, sugiere el autor, tales procedimientos demandan una evaluación rigurosa para darles aplicación universal y puedan tener todo el soporte normativo requerido.

Es importante señalar que una de las variables de mayor interés en las investigaciones sobre BTC, es la resistencia a la compresión. En tal sentido Morel *et al.* (2007) destacan que no obstante el interés de la resistencia, es necesario también considerar la geometría (relación de aspecto) del bloque producido, pues la misma condiciona en gran medida su comportamiento mecánico.

Para Sitton, Zeinali, Heidarian, & Story (2018) la resistencia a la compresión de los BTC depende en esencia de las características del suelo y del diseño de la mezcla. Manifiestan, a partir de sus diferentes ensayos, que la resistencia aumenta con la humedad y el contenido de aditivo (en este caso cemento). Obtuvieron como resultado significativo un incremento promedio de la resistencia de los BTC, hasta 15,15 Mpa, con una dosificación óptima de 10,91% de cemento y un 11,40% de agua.

Danso, Martinson, Ali & Williams (2015); Lejano, Gabaldon, Go, Juan & Wong (2019), investigaron las propiedades mecánicas de BTC fabricados con mezclas de fibras naturales y animales. Los primeros autores utilizaron tres tipos de fibras naturales y dos tipos de suelos, encontrando que el mejor comportamiento mecánico se obtuvo con BTC con altos contenidos de arcilla y fibras naturales al 0,5 wt %. Inferen que se obtiene un incremento de la resistencia de los BTC entre el 16% y el 57% y que las fibras de coco y aceite palma son las más efectivas en la mejora de las condiciones de resistencia de los BTC. Los segundos, utilizaron fibras de pelo de cerdo (PHF), que son materiales de desecho y que pueden utilizarse como refuerzo de fibra para mejorar el rendimiento de los BTC contra el agrietamiento, en virtud de la baja resistencia a la tracción de los BTC.

La investigación muretes no estructurales en bloques de tierra comprimida (BTC) de volcanosedimentos, como material alternativo para construcciones sostenibles, pretende, a partir de la adición de materiales como cal y escombros de concreto y un adecuado control de calidad, fabricar BTC derivados de suelos de cenizas volcánicas y convertirse en una alternativa concreta en reemplazo de los materiales convencionales. En general, la técnica de los BTC es perfectamente aplicable en aquellas zonas rurales en donde, por las condiciones de acceso y los costos de transporte de materiales convencionales, los desarrollos constructivos son de alto costo y complejidad técnica, limitando con ello el mejoramiento de la calidad de vida de los sectores rurales de algunas zonas de la región andina colombiana.



## ***Metodología***

La fabricación de los BTC se realizó mediante la máquina de tracción manual CINVA-RAM, la cual es producto de las investigaciones del Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento (CINVA), llevado a cabo en Colombia en los años cincuenta, acorde con Hernández, Botero & Carvajal (2015). El proceso de fabricación de los bloques inicia con la preparación de la mezcla. Se limpia y lubrica el recipiente de la CINVA-RAM, se vierte la mezcla en tres capas, entre las cuales se tiene el cuidado de ejercer presión en las esquinas y el centro para la obtención de un llenado uniforme y evitar la presencia de espacios de aire. La última capa se enrasa y se homogeniza la superficie, evitando la presencia de huecos (vacíos). Finalmente, se cierra el recipiente y se aplica presión sobre el material y se conforma el bloque.

Una vez agotado este proceso se retira el bloque tomándolo por las caras laterales para evitar daños. El bodegaje de los BTC debe evitar el contacto directo con el suelo y posibles transferencias de humedad. El lugar de almacenaje debe ser aireado, fresco y protegido de la intemperie. Posteriormente se adelanta el curado de los BTC (rociado con agua en todas las caras), durante la primera semana y a los 28 días se realizan los ensayos de laboratorio, según normatividad vigente.

El proceso metodológico se centró en la evaluación de la resistencia de los BTC fabricados con suelos volcanosedimentarios del municipio de Pereira, y distintas dosificaciones de cal, arcilla y escombros de concreto. Para tales efectos, se determinaron inicialmente las propiedades mecánicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas con el objeto de obtener los parámetros de referencia. En segunda instancia, se realizaron ensayos de resistencia de BTC con mezclas suelo-cal y suelo-cal-arcilla, respectivamente, con el propósito de mejorar las condiciones mecánicas de los suelos volcanosedimentarios, mediante el procedimiento establecido en la norma INVIAS 152. Finalmente, y a partir de los mejores resultados de resistencia de las mezclas suelo-cal y suelo-cal-arcilla, se sometieron a pruebas de resistencia BTC fabricados con mezclas suelo-cal-escombros de concreto, con porcentajes de escombros de concreto que variaron entre 5%, 10%, 15% y 20%. Para la fabricación de los BTC finales, se utilizó la bloquera CINVA RAM, la cual produjo bloques estándar de dimensiones 30 cm de largo, 15 cm de ancho y 10 cm de alto. Los BTC se sometieron a un periodo de curado de 30 días calendario, antes de ser probada su resistencia. A partir de los resultados de resistencia, se construye un murete con los BTC: 3 bloques en línea a soga y apoyados sobre su sección bruta (compuesta por el largo y ancho del bloque). Su cara de apoyo se humedece previamente como lo establece la norma antes

de pegarlos con mortero de pega 3:1. La Figura 1 sintetiza el proceso metodológico implementado durante el desarrollo de la investigación.

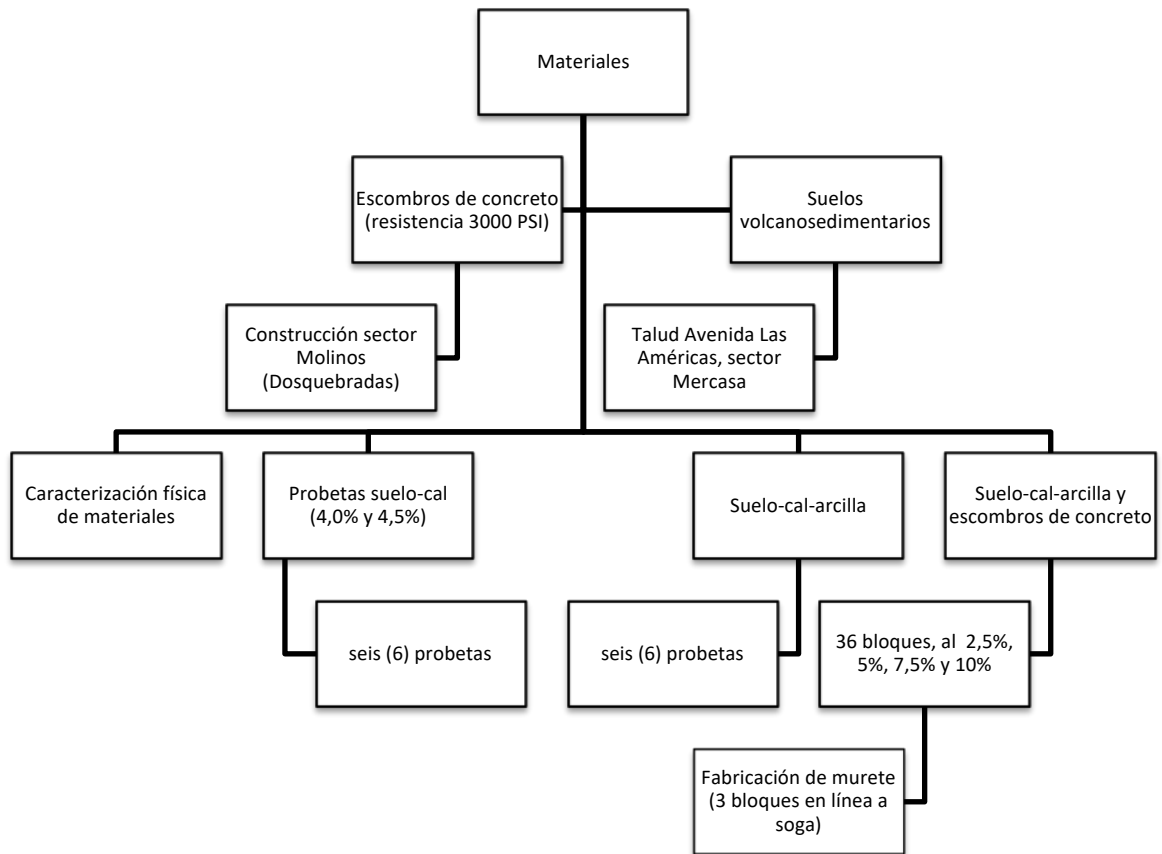


Figura 1. Esquema metodológico del protocolo utilizado para el desarrollo investigativo, con los diferentes materiales utilizados

Para dar mayor claridad en torno a los materiales y las distintas mezclas utilizadas, se define a continuación las distintas etapas del proceso:

#### Etapa 1: Propiedades físicas evaluadas de materiales utilizados

- Descripción e identificación de suelos: procedimiento visual y manual. Norma I.N.V.E. 102
- Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición. Norma I.N.V.E. 121
- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Norma I.N.V.E. 122

- Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Norma I.N.V.E. 123
- Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (materiales)
- Determinación del límite líquido de los suelos. Norma I.N.V.E. 125
- Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. Norma I.N.V.E. 126

- Etapa 2:        Probetas suelo-cal  
                   3 probetas suelo-cal (cal al 4,0%)  
                   3 probetas suelo-cal (cal al 4,5%)
- Etapa 3:        Probetas suelo-cal-arcilla  
                   3 probetas suelo-cal-arcilla (arcilla al 10,0%)  
                   3 probetas suelo-cal-arcilla (arcilla al 20,0%)
- Etapa 4:        Probetas suelo-cal-arcilla-escombros de concreto  
                   9 bloques: (escombros 2,5%)  
                   9 bloques: (escombros 5,0%)  
                   9 bloques: (escombros 7,5%)  
                   9 bloques: (escombros 10,0%)

Una vez obtenidos los mejores resultados de resistencia de los BTC fabricados con mezcla suelo-cal-arcilla-escombros de concreto, se procedió a fabricar el murete y someterlo a prueba de carga (resistencia), con el propósito de evaluar su comportamiento mecánico y poder determinar su potencial utilización como muro estructural.

## ***Resultados y discusión***

Una vez definido el diseño metodológico (Figura 1), se procedió a realizar la caracterización y control de los materiales utilizados. Las Tablas 1, 2 y 3 presentan los resultados de la caracterización técnica de los materiales utilizados, acorde con las normas establecidas en Colombia.

Tabla 1. Resultado de ensayos aplicados al suelo (volcanosedimentos)

Norma	Descripción	Observaciones
I.N.V. E – 102	Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)	Suelo café amarillento, no plástico, con un contenido de humedad considerable, pero sin agua visible. Compuesto de partículas cohesivas muy finas de consistencia firme y una cementación moderada. Su estructura es homogénea no presenta impurezas.
I.N.V. E – 121	Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición	8.74 % de M.O.
I.N.V. E – 122	Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado	$\omega = 37.35 \%$
I.N.V. E – 125	Determinación del límite líquido de los suelos	51.60 %
I.N.V. E – 126	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	L.P. = 43.18 %; $I_p = 8.42 \%$
I.N.V. E – 128	Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua	2.52
I.N.V. E – 142	Relaciones de humedad-peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	10.00 % de humedad optima
I.N.V. E – 181	Sistema unificado de clasificación de suelos	MH
I.N.V. E – 214	Determinación de la cantidad que pasa el tamiz de 75 $\mu\text{m}$ (N°200) en los agregados pétreos mediante lavado	72.13 %

De igual forma, al material aglomerante utilizado, le fueron realizados cuatro ensayos de caracterización, cuyos resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultado de ensayos aplicados a la arcilla

Norma	Descripción	Aplicados a la arcilla
I.N.V. E – 102	Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)	Suelo de color rojizo, con alta plasticidad y un contenido de humedad alto, pero sin agua visible. Compuesto de partículas cohesivas, muy finas, de consistencia firme y una cementación fuerte.
I.N.V. E – 125	Determinación del límite líquido de los suelos	L.L. = 43.28 %
I.N.V. E – 126	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	L.P. = 25.97 %; Ip = 17.31 %
I.N.V. E – 181	Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería	CL

Así mismo, los resultados de la caracterización del escombros de concreto utilizado, se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultado de ensayos aplicados al escombros de concreto

Norma	Descripción	Aplicados al escombros de concreto
		% que pasa tamiz 1" = 91.65 %
		% que pasa tamiz 3/4" = 72.91 %
		% que pasa tamiz 1/2" = 60.51 %
		% que pasa tamiz 3/8" = 33.60 %
I.N.V. E – 123	Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	% que pasa tamiz N°4 = 19.93 %
		% que pasa tamiz N°10 = 12.43 %
		% que pasa tamiz N°30 = 7.12 %
		% que pasa tamiz N°50 = 3.26 %
		% que pasa tamiz N°100 = 0.91 %
		% que pasa tamiz N°200 = 0 %
I.N.V. E – 223	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	Gravedad relativa en condición SH = 1.75 Gravedad relativa en condición SSS = 2.01 Gravedad relativa aparente = 2.37

A partir de la caracterización de los materiales base utilizados, se procedió a la fabricación y ensayos de los BTC con el propósito de verificar las mejores condiciones de resistencia, en cada una de las dosificaciones implementadas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia mecánica a la compresión inconfínada realizados a partir de la mezcla suelo-cal (Tabla 4) y suelo-cal-arcilla (Tabla 5).

Tabla 4. Resultado probetas suelo-cal al 4,0% y 4,5% de cal

Contenido de Cal	Número de muestra	Contenido de humedad durante el ensayo	Carga de rotura (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Desviación estándar
4.0%	1	50,53 %	2,63	0,66	0,127
	2	53,27 %	2,77	0,66	
	3	51,80 %	2,19	0,44	
	<i>Promedio</i>	<i>51,87 %</i>	<i>2,53</i>	<i>0,59</i>	
4.5% 3)	1	53,53 %	5,11	1,30	0,492
	2	49,04 %	1,77	0,42	
	3	54,00 %	4,85	1,24	
	<i>Promedio</i>	<i>52,19 %</i>	<i>3,91</i>	<i>0,99</i>	

Tabla 5. Resultado probetas suelo-cal-arcilla al 10,0% y 20% de arcilla

Contenido de arcilla	Número de muestra	Contenido de humedad durante el ensayo	Carga de rotura (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Desviación estándar
10%	1	44,10 %	3,88	1,00	0,150
	2	46,50 %	2,88	0,73	
	3	45,69 %	3,81	0,98	
	<i>Promedio</i>	<i>45,43 %</i>	<i>3,52</i>	<i>0,90</i>	
20%	1	40,58 %	7,11	1,86	0,236
	2	41,95 %	6,72	1,72	
	3	44,51 %	5,54	1,40	
	<i>Promedio</i>	<i>42,35 %</i>	<i>6,46</i>	<i>1,66</i>	

Con la dosificación adecuada de cal y arcilla obtenidas, se realizaron pruebas a compresión tanto de bloques individuales (Tabla 6) como de muretes (Tabla 7), según las normas NTC 5324, y NTC 4017 respectivamente.

Tabla 6. Resultados probetas suelo-cal-arcilla-escombros de concreto

Porcentaje de escombros	Número de muestra	Carga de rotura (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Desviación estándar
2.5%	1	67,54	1,5	0,058
	2	67,22	1,5	
	3	71,74	1,6	
	<i>Promedio</i>		1,53	
5%	1	89,30	2,0	0,058
	2	84,50	1,9	
	3	84,83	1,9	
	<i>Promedio</i>		1,93	
7.5%	1	149,94	3,3	0,208
	2	167,88	3,7	
	3	151,86	3,4	
	<i>Promedio</i>		3,47	
10%	1	177,46	3,9	0,058
	2	180,16	4,0	
	3	181,28	4,0	
	<i>Promedio</i>		3,97	



Figura 2. BTC fabricado con la mezcla suelo-cal-arcilla-escombros de concreto

Tabla 7. Resultados pruebas de resistencia muretes fabricados con BTC de mayor resistencia

Porcentaje de escombros	Número de muestra	Carga de rotura (KN)	Resistencia a la compresión (MPa)	Desviación estándar
2.5%	1	9,94	0,2	0,000
	2	8,33	0,2	
	Promedio		0,2	
5%	1	17,36	0,4	0,000
	2	16,25	0,4	
	Promedio		0,4	
7.5%	1	25,71	0,6	0,000
	2	27,29	0,6	
	Promedio		0,6	
10%	1	31,06	0,7	0,000
	2	30,60	0,7	
	Promedio		0,7	



Figura 3. Murete fabricado con los BTC de mayor resistencia



## ***Conclusiones***

A pesar de que el suelo derivado de cenizas volcánicas no tiene buenas características mecánicas debido a su baja cohesión, la adición de materiales alternativos como cal, arcilla y escombro de concreto, incrementa su resistencia y los BTC fabricados pueden ser utilizados para la elaboración de muros no estructurales.

Según la norma INVIAS 152 (compresión inconfiada en muestras de suelos), las probetas suelo-cal obtuvieron resultados aceptables, considerando que la resistencia más baja obtenida fue de 0.44 MPa, y según la norma, está clasificado entre el rango de “Muy Firme” (de 200 a 400 KPa), llegando la mayoría de probetas a una clasificación de “Dura”.

A medida que se aumenta el porcentaje de todos los materiales adicionados al suelo, se aumenta la resistencia de los bloques. Los porcentajes que arrojaron mejores resultados fueron: cal (4.5%), arcilla (20%) y escombro de concreto (10%).

La resistencia a la compresión de los bloques elaborados con la dosificación cal (4.5%), arcilla (20%) y escombro de concreto (10%), alcanzó la mínima exigida por la norma NTC 5324, con un valor promedio de 3,97 Mpa, lo que los acerca a una clasificación intermedia BSC 40 según la norma. Sin embargo, los muretes no tuvieron resultados favorables, alcanzando una resistencia a la compresión de 0.7 MPa, razón por la cual no pueden ser utilizados como muros estructurales.

Los muretes fallados a compresión tuvieron resultados de resistencia menores a la de los bloques fallados individualmente, razón por la cual se sugiere que es necesario modificar las dimensiones de los BTC y/o mejorar la técnica de fabricación de los mismos y/o mejorar las condiciones de pega para que los muretes cumplan con la resistencia adecuada y puedan ser utilizados como muros estructurales.

Los BTC pueden llegar a ser un sistema constructivo no estructural seguro, ecológico y económico si se siguen adelantando investigaciones que busquen aumentar sus características de resistencia y facilidad de elaboración.

## Referencias

- Calderón Peñafiel, J. C. (2013). *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia (Master's thesis, Universitat Politecnica de Catalunya).*
- Carcedo Fernández, M. (2012). *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula (Doctoral dissertation, Arquitectura Técnica).*
- Cid Falceto, J., Ruiz Mazarrón, F., & Cañas Guerrero, I. (2011). *Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Informes de la construcción revista de información técnica, 63(523), 159-169.*
- Danso, H., Martinson, D. B., Ali, M., & Williams, J. B. (2015). *Physical, mechanical and durability properties of soil building blocks reinforced with natural fibres. Construction and Building Materials, 101, 797-809.*
- Galíndez, Fernando. "Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento (BTC). Aportación al ahorro energético." *Seguridad y medio ambiente 29.115 (2009): 62-73.*
- Gaviria, Y. & Nallive, O. *El bloque de suelo cemento (BSC) al bloque de suelo geopolimerizado (BSG) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín).*
- González-López, J. R., Juárez-Alvarado, C. A., Ayub-Francis, B., & Mendoza-Rangel, J. M. (2018). *Compaction effect on the compressive strength and durability of stabilized earth blocks. Construction and Building Materials, 163, 179-188*
- Hernández, V; Botero, L. F; Carvajal Arango, D. 2015. *Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. p. 197-220.*
- Jacobo, G. J., & Bedoya, D. E. (2004). *Construcción de viviendas de madera como política de estado.*
- Lejano, B. A., Gabaldon, R. J., Go, P. J., Juan, C. G., & Wong, M. (2019). *Compressed earth blocks with powdered green mussel shell as partial binder and pig hair as fiber reinforcement. International Journal, 16(57), 137-143.*
- Lizcano, A., Herrera, M. C., & Santamarina, J. C. (2006). *Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura, 155(6), 2.*
- Martínez Gaytán, I. (2012). *Hacia la determinación de la viabilidad ambiental de los sistemas constructivos: el caso de los BTC en la zona central de la República mexicana. Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies, 25(2), 248-257.*

- Morel, J. C., Pkla, A., & Walker, P. (2007). *Compressive strength testing of compressed earth blocks*. *Construction and Building Materials*, 21(2), 303-309.
- Roux Gutierrez, R. S., Izaguirre, G., Manuel, V., & Espuna Mujica, J. A. (2015). *Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental*. *Nova scientia*, 7(13), 243-266.
- Siller, M. A., Cárdenas Martínez, Á. I., Arista González, G. J., & Rodríguez Hernández, J. A. (2012). *Diseño de bloques de suelo estabilizado para uso urbano en San Luis Potosí*. *Celaya. Academia Journals*, 4(3), 83-87.
- Sitton, J. D., Zeinali, Y., Heidarian, W. H., & Story, B. A. (2018). *Effect of mix design on compressed earth block strength*. *Construction and Building Materials*, 158, 124-131.
- Vásquez, Alejandro; Botero, Luis Fernando; Carvajal, David. 2015. *Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional*. *Ing. Cienc.* vol. 11. p. 197.

# 2

## ***Implementación de un sistema de iluminación con paneles solares en un barrio de Pereira como parte de un proyecto de aula ABP***

## ***Implementation of a lighting system with solar panels in a Pereira neighborhood as part of an ABP classroom project***

Jonatan García Castro<sup>1</sup>, Giovanni García Castro<sup>2</sup>

### ***Resumen***

Tradicionalmente las instituciones de educación media han enfocado la enseñanza de la física centrándose principalmente en el abordaje de los fenómenos de manera teórica, es decir, los docentes se enfocan en mostrar ecuaciones en las que los estudiantes remplazan valores y formulas, obviando en muchas ocasiones, la aplicabilidad en la vida cotidiana o su relación con el contexto. Este proyecto propone un cambio en dichos modelos, buscando que los estudiantes apliquen sus conocimientos en física e ingeniería básica en la resolución de problemas relevantes y socialmente motivantes. Los estudiantes de una institución educativa de la ciudad de Pereira reconocieron en la falta de iluminación de escenarios deportivos de su comunidad, un problema de tipo social en vista del aumento de la inseguridad y la pobre utilización de dichos recursos.

---

<sup>1</sup> Ingeniero electricista, maestría en enseñanza de la física, Universidad Tecnológica de Pereira, jonatan.garcia.castro@gmail.com

<sup>2</sup> Médico, magister en educación, doctorado en didáctica, Universidad Tecnológica de Pereira giovalinore@utp.edu.co

Se tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de iluminación con paneles solares en escenarios deportivos de un barrio de Pereira utilizando la estrategia de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en clase de física.

Se llevó a cabo el diseño de un sistema de iluminación con paneles solares en el marco de un proyecto de aula de estudiantes de grado decimo de un colegio público de Pereira. Los conceptos, las prácticas y las técnicas fueron abordadas por medio de la estrategia ABP, cumpliendo con sus características de planeación, ejecución y evaluación.

El diseño del sistema tiene en cuenta elementos de circuito tales como transistores, módulos de carga y banco de baterías. Para el montaje de los dispositivos se utilizaron paneles solares de 15W y 20V a la salida, se redujo el voltaje utilizando un transistor 1m7805 y de esta manera se logró obtener 12V los cuales se transmitieron a un modulador de carga tp4056; posteriormente se utilizaron baterías 18650 para en banco de baterías a implementar. Para las luminarias se utilizarán botellas tipo PET de 1.5L a 2L las cuales se llenarán con agua y electrolitos para provocar así, mejor difracción de la luz y de esta manera generar mayor cantidad de lúmenes; se utilizará cinta led blanca para generar la fuente lumínica.

Además de lograr la iluminación de los escenarios deportivos, Se pretende aportar tanto al campo de la enseñanza de la física, como a las demás esferas de desarrollo de los estudiantes teniendo en cuenta su contexto social. Se espera lograr la comprensión de un fenómeno educativo en el marco de los contenidos propios de campos conceptuales de las ciencias naturales y exactas y de temáticas relevantes y actuales como la electricidad y las nuevas fuentes de energía.

**Palabras clave:** *Aprendizaje basado en problemas, Enseñanza de la física, Electricidad, Fuentes de energía sostenible.*

## ***Abstract***

*Traditionally, institutions of secondary education have approached the teaching of physics focusing mainly on the approach of phenomena in a theoretical way, that is, teachers focus on showing equations in which students replace values and formulas, obviating in many occasions, the applicability in daily life or its relationship with the context. This project proposes a change in these models, seeking that students apply their knowledge in physics and basic engineering in solving relevant and socially motivating problems. The students of an educational institution in the city of Pereira recognized in the lack of illumination of sports settings in their community, a social problem in view of the increase in insecurity and the poor use of these resources.*

*Design and implement a lighting system with solar panels in sports venues in a neighborhood of Pereira using the Problem Based Learning (ABP) strategy in physics class.*

*The design of a lighting system with solar panels was carried out within the framework of a classroom project of tenth grade students of a public school in Pereira. The concepts, practices and techniques were addressed through the ABP strategy, complying with its planning, execution and evaluation characteristics.*

*The system design takes into account circuit elements such as transistors, charge modules and battery bank. The operation of the solar panels to be used will be 15W and 20V at the output, it is intended to reduce the voltage using an lm7805 transistor and thus obtain 12V which will be transmitted to the tp4056 load modulator; subsequently 18650 batteries will be used for the battery bank to be printed. For the luminaires, 1.5L to 2L PET bottles will be used, which will be filled with water and electrolytes to cause better light diffraction and thus generate more lumens; white led tape will be used to generate the light source.*

*In addition to achieving the illumination of sports settings, it is intended to contribute both to the field of physics education, as well as to the other areas of student development taking into account their social context. It is hoped to achieve the compression of an educational phenomenon within the framework of the contents of conceptual fields of natural and exact sciences and of relevant and current topics such as electricity and new energy sources.*

**Keywords:** *Problem-based learning, Physics education, Electricity, Sustainable energy sources*

## ***Introducción***

La enseñanza de las ciencias naturales y en especial de la física se ha sustentado tradicionalmente en la transmisión de conocimientos de maestros a discípulos, es decir, desde expertos temáticos a aprendices, donde por medio de la interacción con los conceptos propios de la ciencia, se pretende que los estudiantes comprendan los fenómenos del mundo (Izquierdo, 2007; Von Aufschnaiter, Erduran, Osborne, & Simon, 2008).

El método tradicional de enseñanza continúa siendo la práctica docente transmisora de tipo memorístico, mecánico y de repetición de contenidos, en el cual los docentes siguen ejerciendo su posición privilegiada como expertos y utilizan modelos basados en la exposición, más que en la construcción de actividades participativas que propicien el razonamiento científico por medio de la argumentación, buscando la apropiación de los conceptos específicos y comprender la racionalidad de la ciencia, facilitando de este modo el pensamiento crítico (Sardá & Sanmartí, 2000; Tamayo, 2014). En el caso de la física es bastante frecuente que el docente haga amplias disertaciones basadas en formulas y teorías

complejas, alejándose de manera gradual de los fenómenos simples de la vida cotidiana y que el estudiante no logre relacionar los contenidos con su verdadera utilidad práctica (Chevallard, 1998; Chamizo & Izquierdo, 2007; Aragón, Oliva, & Navarrete, 2012).

Para el Ministerio de Educación Nacional en sus metas de la formación en ciencias para la educación básica y media se deja claro que:

*El propósito más alto de la educación es preparar a las personas para llevar vidas responsables cuyas actuaciones estén a favor de sí mismos y de la sociedad en su conjunto. La educación en ciencias tiene en ello un papel fundamental al aportar a la formación de seres humanos solidarios, capaces de pensar de manera autónoma, de actuar de manera propositiva y responsable en los diferentes contextos en los que se encuentran (MinEducación, 2015).*

Siendo así, y considerando la importancia del desarrollo de competencias integrales y formadoras del ser humano (Gómez & Alzate, 2014); la física, como parte de las ciencias de la naturaleza, debería aportar en el proceso de construcción, no solo de conocimiento científico, sino también en el de habilidades del pensamiento, tales como la argumentación, la metacognición y la resolución de problemas (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009).

Actualmente y dado el marcado desarrollo del conocimiento en física, se están haciendo cambios en los planes de estudio, en los cuales el nuevo currículo se apoya en el modelo pedagógico cognitivo con enfoque constructivista (Pozo, 1999). Las unidades temáticas deben integrar diferentes campos del saber tanto en lo conceptual como en lo práctico, con una organización interdisciplinaria que articule los objetos del conocimiento en núcleos temáticos que reflejen las necesidades formativas de cada área, y que concuerden con los intereses y el contexto de los estudiantes (Adúriz-Bravo, 2017). Estos núcleos deben formar una red coherente y no una estructura donde los contenidos se aíslen o se marginen dependiendo de cada bloque temático (Torres, 2010). Lo anterior permite una apropiación adecuada del conocimiento que busca enfrentar las futuras situaciones, en las que la comprensión de los fenómenos de la física, privilegia un buen desarrollo cognitivo y una aplicación de habilidades y destrezas propias de los pensadores críticos (Izquierdo, 2007; Tamayo, 2014).

Con los cambios inherentes a la sociedad informática y más precisamente con las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, ha surgido la necesidad de transformar la práctica educativa en todos los campos, incluido el de las ciencias naturales y exactas, donde el docente debe adaptar su metodología a las nuevas tendencias y recursos, que a su vez reflejan las diversas maneras que los estudiantes tienen de abordar los conceptos (Aragón, Oliva, & Navarrete, 2012; Gómez & Alzate, 2014) Así mismo, las nuevas

propuestas didácticas privilegian la construcción de conocimiento y la evolución conceptual de los estudiantes, por encima del aprendizaje mecánico y memorístico, lo cual permite la comprensión de los fenómenos, la aplicación de los conocimientos en diferentes contextos y la progresión de su desarrollo formativo (Ruiz, Tamayo, & Marquez, 2014).

En los últimos años se ha cuestionado seriamente la efectividad y la eficacia del modelo tradicional de enseñanza de las ciencias naturales y se han generado múltiples debates en torno a su pertinencia (Torres, 2010). Producto de estas discusiones, algunas instituciones de educación han propuesto interesantes innovaciones curriculares, tanto en los aspectos filosóficos y psicológicos que fundamentan el proceso educativo, como en la expresión práctica y metodológica del trabajo directo de docentes y estudiantes en el aula. Entre diversos modelos de instrucción diseñados, se destacan el Aprendizaje basado en proyectos, el uso de múltiples medios y la multimodalidad, la promoción de la argumentación por medio de casos y el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) (Parodi & Nuñez, 1999; Barrows, 2000; Weston, 2006; Kress, 2010) Este tipo de metodologías se han constituido como una innovación significativa en la educación de las ciencias naturales, ya que promueve la argumentación en torno a temas de interés y facilita la apropiación de conocimientos científicos relevantes para el estudiante (García & Ruiz, 2016).

En esta investigación se busca Establecer posibles vínculos entre el ABP y el cambio de los modelos explicativos, sobre el concepto de electricidad en estudiantes de grado decimo de un colegio público de Pereira.

## ***Metodología***

### **Investigación desde el paradigma cualitativo en enseñanza de la física**

Esta investigación se enmarca en el paradigma comprensivo cualitativo, aunque en algunos momentos del proceso se han llevado a cabo análisis mixto de la información.

En este caso se tiene en cuenta que la investigación educativa debe ser un proceso heurístico que busca, entre otras cosas, la comprensión de la relación existente entre la construcción de la realidad propia de la ciencia y los diferentes actores que participan en este proceso, entendiendo el fenómeno educativo como el producto de diversas concepciones de orden teórico que están influidas por las relaciones humanas y el contexto en el que se desarrollan (Coffey & Atkinson, 2003).

El presente estudio se basa en decisiones y tareas interactivas, que determinan los procedimientos de selección de los sujetos de estudio, los roles del investigador, las



estrategias de recolección de datos y los procedimientos de análisis e interpretación. La investigación cualitativa en educación busca aportar datos descriptivos de los contextos, actividades y concepciones de los participantes naturales de los procesos formativos; a la luz de los sistemas conceptuales, los marcos teóricos y las orientaciones filosóficas en las que el investigador enmarca el estudio (Goetz & LeCompte 1988).

### **Obtención de información**

El grupo de estudio está conformado por estudiantes de grado noveno de un colegio público de Pereira, a los cuales se les realiza análisis de sus concepciones sobre electricidad, definiciones, utilidad y aplicación práctica. El estudio tiene una duración de un semestre, durante el cual los estudiantes están siendo expuestos al aprendizaje basado en problemas (ABP), como estrategia metodológica de abordaje al tema propuesto (Lermanda, 2007).

### **Momento 1 de intervención y recolección de datos**

Inicialmente se diseñó un caso de aplicación práctica que se enfocó desde la estrategia ABP cumpliendo con sus características de planeación, ejecución y evaluación. Durante este proceso los estudiantes organizados en grupos, delimitaron problemas sociales susceptibles de ser intervenidos, entre los cuales se eligió la falta de iluminación de espacios deportivos de su comunidad y por medio de debates organizados y regulados por el docente, se plantearon posibles soluciones contemplando la posibilidad de usar energías sustentables, limpias y materiales reciclables y de bajo impacto ambiental. (Figura 1.)

### **Momento 2 de intervención y recolección de datos**

Pasadas ocho semanas del inicio del ejercicio se propondrá un nuevo caso con un enfoque similar al utilizado en el primer momento de recolección de datos, aunque con una mayor complejidad y profundización de los temas; siempre conservando los componentes y las estrategias propias del ABP. En esta fase, los trabajos individuales y colectivos, así como la puesta en común del ejercicio se extenderán por tres semanas más, luego de las cuales, se recolectará de nuevo su producción textual, con ayuda de un nuevo caso problema y sus respectivas preguntas orientadoras (López, 2002).

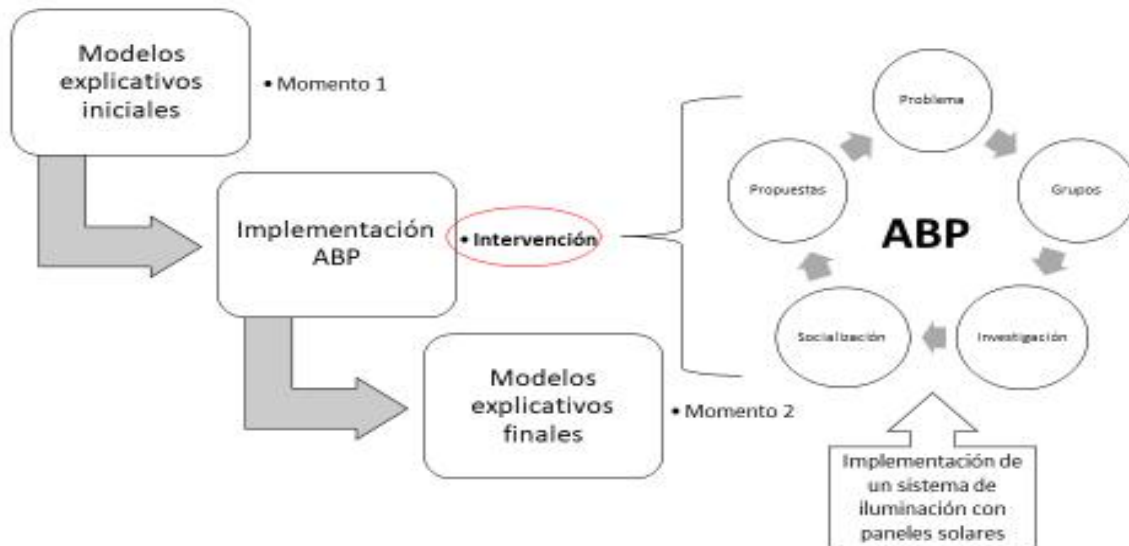


Figura 1. Diseño metodológico de la investigación

### **Estrategias de análisis de la información**

Según lo descrito al inicio de este apartado, el análisis de los datos se dará en dos fases: la primera será una fase descriptiva-comprensiva en la cual se buscará determinar su concepto sobre electricidad por medio de la caracterización de sus modelos explicativos lo cual se realizará comparando los datos de cada estudiante en los momentos 1 y 2 por medio de lo registrado en el instrumento de análisis. La segunda será una fase de análisis comprensiva-interpretativa en la cual se buscará identificar en los estudiantes los cambios conceptuales en torno al tema de trabajo, por medio del análisis de sus modelos explicativos, tratando de comprender como llegaron a evolucionar entre las categorías emergentes. (Ruiz Olabuénaga, 1996; Coffey & Atkinson, 2003).

### **Resultados**

Durante esta fase, se diseñaron diferentes estrategias de iluminación, escogiendo la opción de paneles solares y luminarias led. El diseño del sistema tiene en cuenta elementos de circuito tales como transistores, módulos de carga y banco de baterías. El funcionamiento de los paneles solares de 15W y 20V a la salida, reducción de voltaje utilizando un transistor lm7805 y de esta manera obtener 12V los cuales son transmitidos al modulador de carga

tp4056; posteriormente se utilizarán baterías 18650 para en banco de baterías. Para las luminarias se utilizan botellas tipo PET de 1.5L a 2L las cuales se llenarán con agua y electrolitos para provocar así, mejor difracción de la luz y de esta manera generar mayor cantidad de lúmenes; se utiliza cinta led blanca para generar la fuente lumínica. (Figura 2 y 3).



Figura 2. Construcción de prototipo de luminarias con paneles solares y luces led



Figura 3. Prospectiva de implementación de luminarias solares con botellas pet  
(Tomado de diario El Comercio, 2016)

## ***Discusión***

La enseñanza de la física puesta en contexto podría estar vinculada a mejorar el aprendizaje de conceptos científicos, por lo cual este tipo de experiencias científicas, donde se resuelven problemas de la vida cotidiana y se aplican los conocimientos vistos en el aula, podrían estar implicados en el mejoramiento de la comprensión de los fenómenos propiamente dichos y de la dinámica de las ciencias de la naturaleza (Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2003).

El ABP es una estrategia de aula que promueve el trabajo colaborativo y la resolución de problemas, mientras se construye ciencia en el aula y se constituye en una innovación en el acercamiento de los estudiantes a los conceptos científicos en ingeniería.

Los nuevos retos de la didáctica de las ciencias naturales, parten la comprensión de la intencionalidad de los saberes y su aplicación en la vida cotidiana, así como de la exploración de aspectos como la motivación, la autorregulación y la argumentación por medio de múltiples lenguajes.

## ***Conclusiones***

El aprendizaje basado en problemas permite el diálogo y la concertación de ideas que buscan dar solución a las situaciones motivantes presentadas como problemas para los estudiantes. Durante estos ejercicios de aula se generan espacios que propician encuentros que motivan la exposición de diferentes posturas y puntos de vista, lo cual promueve el debate de conceptos bajo una perspectiva dialógica, que permite el reconocimiento del otro y la comprensión más profunda de los conceptos científicos.

Con este proyecto se pretende aportar tanto al campo de la enseñanza de la física, como a las demás esferas de desarrollo de los estudiantes teniendo en cuenta su contexto social. Se espera lograr la comprensión de un fenómeno educativo en el marco de los contenidos propios de campos conceptuales de las ciencias naturales y exactas, y de temáticas relevantes y actuales como la electricidad y las nuevas fuentes de energía.

Se espera lograr la caracterización de los modelos explicativos sobre electricidad de los estudiantes participantes, lo cual se logrará implementando la fase del estudio cualitativa-comprensiva con análisis textual, con codificación abierta y axial y producción de categorías emergentes.

## Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2017). Puentes entre la argumentación y la modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 4491-4496.
- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo, M. (2009). A model of scientific model for science teaching. *Revista electronica de investigación en educación en ciencias*, 1-10. Obtenido de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-66662009000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-66662009000100004&script=sci_arttext)
- Aragón, M. d., Oliva, J. M., & Navarrete, A. (2012). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 9-30.
- Barrows, H. (2000). *Problem-Based Learning Applied to Medical Education*. Southern, Illinois: Southern Illinois University.
- Camacho, J. P., Jara, N., Morales, C., Rubio Garcia, N., Muñoz, T., & Rodriguez, G. (2012). Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 196-212.
- Carlino, P. (2013). Alfabetización académica diez años después. *Revista mexicana de investigación educativa*, 18(57), 355-383.
- Chamizo, J. A., & Izquierdo, M. (2007). Evaluación de las competencias de pensamiento científico. *Alambique*, 9-19.
- Chevallard, Y. (1998). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos aires: Aique.
- Coffey, A., & Atkinson, P. (2003). *Encontrar el sentido a los datos cualitativos*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Díaz Barriga, A. (2005). El enfoque de competencias en la educación. ¿Una alternativa o un disfraz de cambio? *Perfiles educativos*, XXVIII(11), 7-36.
- García, C. G., & Ruiz, O. F. (2016). El aprendizaje basado en problemas y el desarrollo de capacidades argumentativas. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED, ext*, 956-963.
- García, C. G., & Ruiz, O. F. (2017). Modelos explicativos de infarto agudo de miocardio y su relación con el ABP. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas.*, 4413-4419.
- Goetz, J., & LeCompte, M. (1988). *Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa*. Madrid: Morata.
- Gómez, M. M., & Alzate, P. V. (2014). La enseñanza y su relación con el saber en los estudiantes colombianos. *Education and research*, 1-16.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las ciencias sociales*, 6, 125-138.

- Izquierdo, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). *Epistemological foundations of school science*. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Kress, G. (2010). *Multimodality: A Social Semiotic Approach to Contemporary Communication*. New York: Routledge.
- Lermanda, C. (2007). *Aprendizaje basado en problemas: Una experiencia pedagógica en medicina*. *Revista de estudios y experiencias en Educación*, num 11, 127-143.
- López, F. (2002). *El análisis de contenido como método de investigación*. (U. d. Huelva, Ed.) *Revista de educación*, 4, 167-179.
- MinEducación. (2015). *Estandares básicos de competencias en ciencias sociales y ciencias naturales: La formación en ciencias: ¡El desafío!* Bogotá: Ministerio de Educación de Colombia.
- Parodi, G., & Nuñez, P. (1999). *En búsqueda de un modelo cognitivo textual para la evaluación del texto escrito*. Cali : Cátedra UNESCO para la lectura y la escritura.
- Pozo, J. I. (1999). *Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional*. *Enseñanza de las ciencias* vol 17 nro 3, 513-520.
- Ruiz Olabuénaga, J. (1996). *Metodología de la investigación cualitativa*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- Ruiz, F. J., Tamayo, O., & Marquez, C. (2014). *Cambio en las concepciones de los docentes sobre la argumentación y su desarrollo en clase de ciencias*. *Enseñanza de las ciencias*, 53-70 vol 32 nro 3.
- Sardá, j., & Sanmartí, N. (2000). *Enseñar a argumentar científicamente, un reto en clase de ciencias*. *Enseñanza de las ciencias*, 405- 422.
- Tamayo, A. O. (2014). *Pensamiento crítico dominio específico en la didáctica de las ciencias*. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 36, 25-45.
- Torres, M. I. (2010). *La enseñanza tradicional de las ciencias versus las nuevas tendencias educativas*. *Revista Electrónica Educare*, vol. XIV, núm. 1, 131-142.
- Von Aufschnaiter, C., Erduran, S., Osborne, J., & Simon, S. (2008). *Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge*. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 102-131.
- Weston, A. (2006). *A rulebook for argument*, 3rd ed.

# 3

## ***Determinación del nivel de riesgo de material particulado respirable en biciusuarios: reto de la movilidad sostenible en bicicleta en Bogotá***

## ***Determination of the level of risk of breathable particulate material in bike users: challenge of sustainable mobility by bicycle in Bogotá***

Sonia Meneses Velosa<sup>1</sup>, Astrid del Socorro Altamar<sup>2</sup>

### ***Resumen***

Como consecuencia de que el 55% de la población mundial vive en ciudades, es el uso del suelo en las ciudades, donde la movilidad es un reto a superar. En el caso de Bogotá, la inversión en infraestructura se centra en vías de dedicación exclusiva para vehículos motorizados, pero desde hace 20 años se vienen desarrollando políticas públicas para incentivar el uso de la bicicleta como medio de movilidad alternativa sostenible. Frente a los múltiples beneficios del uso de la bicicleta como modo de transporte, se han analizado las externalidades negativas generadas al compartir el sistema de movilidad actual. Se han estudiado los aspectos de infraestructura (ciclo rutas, ciclo vías, vías

---

<sup>1</sup>Maestría en Prevención y Protección de riesgos laborales, Docente Investigador Universidad Libre, [sonial.menesesv@unilibre.edu.co](mailto:sonial.menesesv@unilibre.edu.co)

<sup>2</sup> Doctor en Ingeniería Química con énfasis en energías alternativas, Docente Jornada Completa Universidad Libre, [astridd.altamarc@unilibre.edu.co](mailto:astridd.altamarc@unilibre.edu.co)

compartidas etc), aspectos propios del Biciusuarios (edad, género, localidad de origen, ruta etc), pero en tema del entorno, los estudios se han centrado en los riesgos de accidentalidad y riesgo derivados de la infraestructura (falta de conectividad, estado de la ciclo vía, falta de señalización), estudiando parcialmente aspectos que son relevantes por el incremento de efectos sobre la salud derivadas del cambio climático. Es decir, del riesgo del Material Particulado respirable sobre el Biciusuarios. Bogotá que busca ser considerada la capital mundial de la bicicleta, avanza cada día para convertirse en un ejemplo de movilidad sostenible, sin embargo, los biciusuarios de la ciudad que a diario realizan más de 850.000 viajes están expuestos a una deficiente calidad del aire. La ciudad apuesta por la movilidad sostenible basada en el uso de la bicicleta, pero los biciusuarios están expuestos a riesgos derivados de los problemas ambientales, donde la calidad del aire ocupa un importante lugar. La exposición a problemas de contaminación atmosférica, ha traído como consecuencia un alto nivel de infecciones respiratorias agudas y problemas cardiovasculares. Su importancia es cada vez mayor por que el 8% de los viajes/día se hacen por este medio. Esta investigación determina los riesgos propios de factores del entorno ambiental, como lo es el nivel de material particulado respirable. Para tal efecto mide el nivel de material particulado respirable en el proceso de movilidad en bicicleta en condiciones controladas (muestra homogénea, igual tiempo de viaje, ruta, hora y equipos de medición), con métodos de higiene industrial aplicada, de una muestra de los biciusuarios en su proceso de movilidad diariamente sobre dos rutas en la Localidad de Engativá, con un tamaño de muestra representativo. Se busca medir el material particulado (PM 10), teniendo en cuenta los métodos OSHA, y ACGIH, se aplica la norma NIOSH 600, se usan los protocolos de laboratorio y muestreo, identificando y evitando el impacto de las variables perturbadoras. Se aplicaron tres modelos estadísticos para identificar el comportamiento del riesgo material particulado respirable en los biciusuarios en su ruta: el primero, fue un modelo lineal con 6 variables, el cual tuvo un ajuste del 50% identificando como variables significativas la estación de clima y el viento. El segundo Modelo fue el de regresión logística con pruebas de chi-cuadrado mostrando un ajuste mayor al modelo lineal y una mejora de la capacidad de pronóstico de probabilidad de riesgo de exposición a material particulado respirable por encima de los límites permitidos. Por último, se usaron cartas de control con el límite de control del riesgo de exposición a dosis de material particulado respirable, así se identificaron variaciones, sus causas y tendencias frente al límite de riesgo establecido. Finalmente, se identificaron patrones de ocurrencia del riesgo asociados a la ruta específica, a variables climática y a variables topográficas. Estos resultados desde la perspectiva de riesgo son un aporte a la gestión de la gobernanza de la calidad del aire desde la movilidad en bicicleta.

***Palabras clave:*** *movilidad sostenible, bicicleta, material particulado respirable, riesgo*



## ***Abstract***

*As a consequence, that 55% of the world's population lives in cities, it is the use of land in cities, where mobility is a challenge to overcome. In the case of Bogotá, the investment in infrastructure is focused on roads dedicated exclusively to motorized vehicles, but since 20 years ago, public policies have been developed to encourage the use of bicycles as a means of sustainable alternative mobility. In view of the multiple benefits of using the bicycle as a mode of transport, the negative externalities generated by sharing the current mobility system have been analyzed. The aspects of infrastructure (bike paths, bike paths, shared roads, etc.), aspects of the Bikeshare (age, gender, locality of origin, route, etc.) have been studied, but on the subject of the environment the studies have focused on the risks of accident and infrastructure-derived risk (lack of connectivity, cycle state via, lack of signaling), partially studying aspects that are made relevant by the increase in health effects of climate change. That is, of the risk on the Bike user of the breathable Particulate Material. Bogotá, which seeks to be considered the bicycle's world capital, advances every day to become an example of sustainable mobility, however, the city's bikes that make more than 850,000 trips every day are exposed to poor air quality. The city is committed to sustainable mobility based on the use of the bicycle, but bikes are exposed to risks derived from environmental problems, where air quality occupies an important place. Exposure to air quality deficiencies has resulted in a high level of acute respiratory infections and cardiovascular problems. Its importance is increasing because 8% of trips / day are made by this means. This research measures the risks of environmental factors, such as the level of respirable particulate matter. For this purpose, it measures the level of particulate material that is responsible for the mobility process by bicycle under controlled conditions (homogeneous sample, equal travel time, route, time and measuring equipment), with applied industrial hygiene methods, of a sample of the biciusuarios in their mobility process daily on two routes in the Town of Engativá, with a representative sample size. It is sought to measure the particulate material (PM 10), taking into account the Osha methods, and ACGIH, the NIOSH 600 standard is applied, laboratory and sampling protocols are used, identifying and avoiding the impact of the disturbing variables. Three statistical models were applied to identify the behavior of the breathable particulate material risk in the bicyclists in their route: the first was a linear model with 6 variables, which had an adjustment of 50%, identifying as significant variables the climate season and the wind. The second logical model with chi-square tests showing a greater fit to the linear model and an improvement in the probability forecasting capacity of the risk of exposure to respirable particulate matter above the permitted limits. Finally, control charts were used with the control limit of the risk of exposure to doses of breathable particulate material, thus identifying variations, their causes and trends against the established risk limit. Finally, patterns of risk occurrence*

*associated with the specific route, climatic variables and topographic variables were identified. These results from the risk perspective are a contribution to the management of air quality governance from bicycle mobility.*

**Keywords:** *sustainable mobility, bicycle, breathable particles material, risk*

## ***Introducción***

En la formulación de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (PNUD, 2019), la dinámica y crecimiento de la ciudades es fundamental. Se tiene que más del 50% de la población mundial vive hoy en zonas urbanas (Banco Mundial, 2019). Las consecuencias sobre el cambio climático son importantes, ya que consumen cerca de dos tercios de la energía del mundo, y son responsables de más del 70 % (Banco Mundial, 2019) de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Por ello proyectos que tengan como objetivo el uso de medios de transporte sostenibles (Meneses S. E., 2018), como la bicicleta, y el impacto ambiental de las ciudades, como la calidad del aire y la dosis respirable son pertinentes.

El 91% de la población vive en ciudades que irrespetan las directrices sobre la calidad del aire (Franco, 2007), lo que trae como consecuencia indirecta, 4.2 millones de muertes prematuras al año por enfermedades cardiovasculares y respiratorias debido a la contaminación atmosférica y la exposición a material particulado (PM 2.5). (Organización mundial de la Salud, Calidad del aire, (2018). Sobre los antecedentes en la medición de material particulado respirable en ciudades de Colombia y en procesos de movilidad se encontraron pocos estudios que determinen la dosis de partículas que respiran.

La Universidad de Antioquia en el 2015 (Ramírez, Lenis, & Agudelo, 2013), midió el material particulado en motociclistas de la zona centro de Medellín, concluyó que se presenta concentraciones superiores a los límites recomendados por la OMS para los contaminantes PM10 (partículas de tamaño de 10 micrómetros) y PM2,5 (partículas de tamaño menor o igual a 2.5 micrómetros) para una muestra de 20 motociclistas (Martínez, Angel, & matinez, 2018). En este trabajo usaron métodos gravimétricos.

En estudio realizado en el 2018 por la Universidad Nacional (Segura, 2016) sobre movilidad motorizada, concluyó que los biciusuarios y moto usuarios se exponen a materiales altamente contaminantes del aire que respiran (Martínez-Ángel, 2018), tales como hidrocarburos no quemados (HC), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el material

particulado (PM), entre otros, por que las ciclo rutas son paralelas a los principales ejes viales de la ciudad.

La universidad EAN medió la concentración de Material Particulado Fino (PM2.5) y Black Carbón (BC) conocido comúnmente como hollín, mediante la adaptación de una bicicleta con dos equipos que monitorearon la calidad del aire en tiempo real (José Alejandro Martínez, 2016). Se realizaron durante tres días a la semana y los domingos durante cinco meses en diferentes ciclo rutas de la ciudad: avenida Boyacá, entre calles 13 y 80; calle 26, entre carreras 96 y 50; avenida 19, entre calles 100 y 146 y carrera 11 entre calles 63 y 100. Concluyó que los niveles a los que se enfrentan los ciclistas estuvieron en un rango entre los 70 y 135  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (unidad de masa del Sistema Internacional que equivale a la millonésima parte de un gramo) para los días entre semana, y entre los 28 y 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para un día de fin de semana. Esto significa que los ciclistas se encuentran expuestos a valores instantáneos de concentración que superan ampliamente los valores considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como perjudiciales para la salud de las personas.

El Doctor Luis Jorge Hernández, Director del Grupo de Salud Pública de la Facultad de Medicina de la Universidad de los Andes, en boletín de calidad del aire (Ramos, 2006), en medición en tiempo real el día del no carro del 2018, concluyó que “El impacto del Día sin carro no es disminuir los niveles de contaminación del aire por Material Particulado. Al contrario, ese día aumentan porque circula prioritariamente transporte con combustible diésel”, afirma.

Por lo anterior se requiere medir los riesgos de efectos sobre la salud del cambio climático en el biciusuarios. Es decir, el riesgo sobre el Biciusuario del Material Particulado respirable. Su importancia es cada vez mayor porque el 8% de los viajes/día (Díaz, Jiménez, & Meneses, 2017) se hacen por este medio.

En Bogotá, el grupo de investigación ‘Atmospheric Pollution’ de la Universidad de Huelva (España), describió por primera vez las fuentes de la contaminación del aire en la ciudad (Omar Ramírez, 2018). Concluyó que el polvo vial de las zonas industriales de la capital colombiana tiene una mayor cantidad de PM10 en comparación con el polvo de áreas comerciales y residenciales debido al tránsito de vehículos pesados, emisiones industriales y el deteriorado pavimento. Para los investigadores, los niveles de PM10 en la ciudad podrían reducirse con medidas simples como evitar la acumulación de polvo en las vías y mantener el pavimento de la malla vial en buen estado.

Por lo tanto, se deben tomar medidas para mejorar el tráfico en la ciudad pues el estudio halló que el PM10 surge de eventos asociados a los trancones, que en consecuencia generan desgaste mecánico de piezas de los vehículos como los frenos y los neumáticos, así como las emisiones de tubos de escape.

Este capítulo muestra los resultados de medición de material particulado respirable en Biciusuarios, con métodos de higiene industrial aplicada, de una muestra de los biciusuarios en su proceso de movilidad diariamente sobre rutas en la Localidad de Engativá, con un tamaño de muestra representativo. Se busca medir el material particulado (PM 10), teniendo en cuenta los métodos ACGIH y toma de muestras con la norma NIOSH 600, se usan los protocolos de laboratorio y muestreo, identificando y evitando el impacto de las variables perturbadoras. Para poder medir si se está en riesgo o no en su viaje en bicicleta frente al riesgo del entorno del respirar material particulado respirable, por encima de la dosis establecida como límite.

Se usaron equipos que consisten de bombas de muestreo portátiles utilizadas por 6 biciusuarios en su viaje diario en bicicleta de lunes a viernes, con duración promedio de 1 hora y realizadas en 2 rutas diferentes.

## ***Metodología***

El tipo de investigación a realizar es de tipo exploratoria, debido a que se determinará la concentración diaria de material particulado en los corredores viales definidos, en los cuales no se conoce el nivel de exposición a este contaminante y que servirá como base para futuros planteamientos que se realicen sobre el tema. Lo inicial fue la determinación del método de medición, definición de las muestras y metodología de preparación, toma y análisis de las mismas.

**Método aplicado de medición:** Se utilizó el método de análisis físico clásico de análisis gravimétrico (Rojas, 2004) de las muestras de material particulado, el cual permite conocer la cantidad total del contaminante por diferencia de peso. Este método es específico para material particulado en forma de polvo (Espinosa, 2005). Las gravimetrías permiten conocer la cantidad total de contaminante recogido mediante dos pesadas mínimas, una previa al muestreo y otra después. Consiste en determinar la masa total de la muestra recogida sobre un filtro de membrana de masa neta, por diferencia de peso del filtro antes y después de su captación.

**Definición de Muestra:** Como referencia de estudio participaron 6 estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre que utilizan la bicicleta (Duarte D, 2018) diariamente como medio de transporte para desplazarse desde sus casas hasta las instalaciones de la Universidad Libre Sede Bosque Popular (biciusuarios activos). Todos en edades entre los 19 y 23 años, tres mujeres y tres hombres, sin antecedentes de enfermedades de tipo respiratorio o circulatorio o hábitos de tabaquismo.

**Número y tipo de muestras a tomar:** Se toma como criterio la norma UNE-EN 689, validada sólo para exposiciones uniformes, la cual se fundamenta en obtener un número de mediciones que abarquen un mínimo del 25% del tiempo de exposición, según la Tabla 1.

Tabla 1. Mínimo Número de Mediciones por jornada según el tipo de Medición

Duración muestra	Ejemplos según el tipo de medición	No. Muestras para 8 horas (al 25%)	No. Mínimo de Muestras recomendados UNE-EN 689
1 minuto	Tubos detectores de corta duración (Tubos colorimétricos)	120	20
5 minutos	Tubos detectores de corta duración	24	12
15 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activado, gel)	8	4
30 minutos	Tubos adsorbentes (carbón activado, gel). Filtros de Muestreo	4	3
1 hora	Filtros para muestreo de aerosoles	2	2

Fuente: Norma UNE-EN.689.

Para la investigación se tomó como base el número mínimo de tres (3) muestras por puestos de trabajo, en este caso sería una ruta de Biciusuario, el cual corresponde al área sombreada del cuadro. Se toman muestras por ciclos: consiste en tomar diversas muestras, en este caso tres por ruta de Biciusuario con duración del recorrido de 45 minutos cada una, donde cada una representa un ciclo completo de trabajo, en este caso un viaje completo de origen-destino del Biciusuario en las rutas a analizar.

**Duración de cada muestra:** Se define en función de la concentración esperada, existiendo un tiempo máximo con base a una posible sobrecarga o saturación de los filtros, para lo cual se usa la fórmula dada en la Ecuación 1:

$$T = \frac{A}{a} \times \frac{L}{C_e} \times \frac{1}{r} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo:

T: Duración de las muestras

L: carga del filtro requerido en fibras/campo

A: Área efectiva del filtro en  $\text{mm}^2$

a: Área de retícula en  $\text{mm}^2$

r: caudal en  $\text{cm}^3/\text{min}$

Ce: Concentración esperada

Si se usa un filtro de PVC de 37 mm, y un tamaño de poro de  $0,5 \mu\text{m}$ , un caudal de bombeo de 2 L/minuto para 8 horas de exposición se obtiene que el tiempo de muestra es:  $t=2,25$  horas que equivale a 129 minutos, que si se reparten en las 3 muestras definidas como admisibles para este proyecto, entonces cada muestra debe ser mínimo de 43 minutos.

**Metodología de medición preparación, toma y análisis de muestras:** En ambas rutas de medición, con el fin de evitar errores y ambigüedades en el análisis se realizaron protocolos de laboratorio que listan las instrucciones necesarias para realizar la medición desde el laboratorio, hasta el trabajo de campo y medición final de la muestra. Estos protocolos son:

- Protocolo de alistamiento de muestras.
- Protocolo de alistamiento de máquinas y procesos para el experimento.
- Protocolo de toma de muestras.
- Protocolo de custodia y no contaminación de muestras.
- Protocolo de registro e identificación de aspectos disturbadores.
- Protocolo de registro de datos iniciales (pesos, bitácoras, variables meteorológicas)

Para garantizar la calidad de las mediciones, se verificó la calibración de equipos, el cumplimiento de la norma técnica NIOSH 600 (Niosh, 1998) para material particulado respirable y se verificó la precisión y exactitud de los instrumentos de pesaje con uso de equipos digitales. Se definió medir 3 meses en días hábiles de lunes a viernes de 6 a 7 am, en rutas de Bicicleta hacia Engativá.

### **Ubicación de las zonas de estudio**

Se seleccionaron dos(2) rutas (transporte, 2016) de recorrido de Biciusuarios (Meneses S. , 2018) para realizar este estudio, que corresponden a los más altamente frecuentados por estudiantes de la Universidad Libre Sede Bosque Popular para desplazarse desde sus casas hasta su lugar de estudio. Ellos son: Avenida Medellín (Calle 80) – Avenida

Rojas – Universidad Libre denominada Ruta A (Gráfica 5) y Avenida Ciudad de Cali- Avenida Calle 63 – Avenida Boyacá – Universidad Libre denominada Ruta B (Gráfica 6). Gráfica No. 5. Identificación de la ruta Avenida Medellín (Calle 80)-Avenida Rojas-Universidad Libre (Ruta 1).

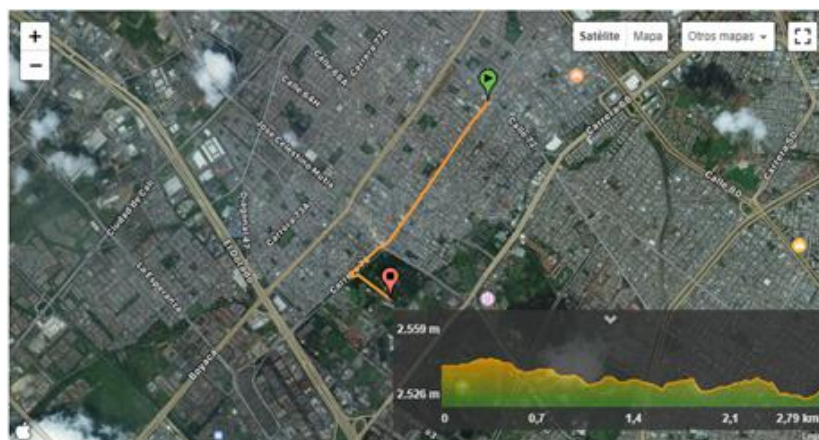


Figura 1. Ruta No. 1 de muestreo



Figura 2. Identificación de la ruta Avenida Ciudad de Cali- Avenida Calle 63 – Avenida Boyacá – Universidad Libre (Ruta 2).

### Variables

Medición de la concentración: se determinó el nivel de exposición a material particulado PM10 en los dos corredores viales seleccionados. Se registrarán las variables externas como temperatura, humedad, lluvia, temporada seca o de lluvia. Todos los aspectos que se consideren perturbadores de la medición se registran en una bitácora diaria.

El tiempo de muestreo fue inferior a 8 horas y por lo tanto se ajustó el valor de la norma mediante la aplicación de un factor de corrección, para así determinar un valor promedio de la exposición (Ecuación 2).

$$\text{Factor corrección} = \frac{8 \text{ horas}}{\text{Número horas reales}} * \left( \frac{[24 \text{ horas} - \text{Número horas reales}]}{16} \right)$$

(Ecuación 2)

El límite de exposición según OSHA es de 5000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De tal manera que para comparar los datos de las concentraciones de material particulado con la normatividad de exposición ocupacional correspondiente se utiliza la siguiente expresión:

**Valor real norma = Factor corrección \* Límite de exposición Norma (OSHA ó ACGIH).**

En el caso de la concentración de material particulado PM10 se ajustó para las horas reales de exposición como se muestra en la Ecuación 3:

$$\text{Concentración promedio PM10} = \frac{\text{Concentración PM10} * \text{Número horas reales}}{8}$$

(Ecuación 3)

En algunos casos es aceptable comparar las concentraciones de las sustancias teniendo en cuenta el 30% del límite de exposición, para de esta manera calcular el índice de la sustancia.

**Equipos y Calibración:** Los equipos utilizados consistieron de una bomba personal de muestreo con succión de aire constante GilAir que trabajó a caudal de 2 litros/min, un calibrador de flujo que garantizó la representatividad del experimento manteniendo el mismo caudal durante el muestreo, una balanza analítica con sensibilidad 0.01mg, filtros de poli cloruro de vinilo con diámetro de 37 mm, portafiltros, un desecador utilizado para retirar la humedad de los filtros antes y después del pesaje y adicionalmente el equipo contaba con un ciclón, dispositivo que mediante la acción de fuerza centrífuga separa las partículas PM10 de aquellas partículas suspendidas totales con su respectivo recipiente de calibración.

Los muestreos se realizaron en días de semana en el período comprendido entre el mes de abril y mayo de 2019, el inicio del experimento se fijó a las 6.30 a.m. y tuvo una duración de 90 minutos para el corredor Avenida Medellín (Calle 80) – Avenida Rojas –



Universidad Libre y 135 minutos para el corredor Avenida Ciudad de Cali- Avenida Calle 63 – Avenida Boyacá – Universidad Libre.

Para garantizar la calidad de los datos es indispensable calibrar diariamente la bomba de muestreo al caudal de aire de la norma a aplicar, según se muestra a continuación:



Figura 3. Equipo de calibración, bomba de muestreo, filtros, portafiltros y cassetes de muestreo

**Ubicación de las bombas de muestreo:** a nivel de la cintura de cada uno de los estudiantes, un tubo de plástico que conecta la bomba con la línea de muestreo (que incluye el ciclón y los portafiltros) se mantuvo de manera que no se doblara y afectara el caudal de aire. Los dispositivos se colocaron de manera adecuada en la zona respiratoria del individuo.



Figura 4. Ubicación de bombas de muestreo en Biciusuarios.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las rutas de los Biciusuarios analizados.

## **Resultados o hallazgos**

Las variables que se incluyen en este análisis son: Concentración de Material Particulado con  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (CMP), promedio porcentual de la humedad en % (HUM), la temperatura en  $^{\circ}\text{C}$  (TEMP), promedio de precipitaciones en el mes en mm (PREC), velocidad del viento en km/h (VV), Estación climática (EC) con invierno y verano, acotando que las mediciones por la ruta 1 y ruta 2 fueron realizadas 35 veces tanto en invierno como en verano. El Riesgo de exposición, definido por los valores de concentración de material particulado superiores a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , fue del 41%. En la ruta 1, 40 estudiantes presentarían altos riesgos de exposición y en la ruta 2 solo 3 estudiantes presentarían esta condición. Ver tabla 2.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las variables

<b>Variable</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Q1</b>	<b>Mediana</b>	<b>Media</b>	<b>Q3</b>	<b>Máximo</b>
Humedad	74	76	83	82	85	97
Temperatura	9	11	12	11.73	13	15
Precipitación	35	54	120	98.86	135	135
Velocidad del viento	5	5.2	6	6.15	7	7.8
Concentración de Material Particulado	0	1.898	3.738	5.422	7.345	30.145

Fuente: Meneses Sonia, Astrid del Socorro Altamar, Universidad Libre, 2019.

La Tabla 2 muestra que se alcanzan en promedio concentraciones por encima del nivel máximo permitido a exposición, un 75% de las concentraciones superan los  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un valor máximo de  $30.145 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , considerado un valor muy alto. A continuación, se presentan los modelos que pretenden explicar los valores de material particulado respirable de los biciusuarios.

### **Modelos Explicativos de los resultados de Material Particulado respirable obtenidos:**

Se inicia con la propuesta de explicar los resultados con un modelo lineal, luego con modelos no lineales y por último un modelo Logic.

### **Modelo de regresión lineal múltiple:**

Inicialmente se planea un modelo teórico en el que las variables (Pérez, 2007) antes descritas suponen algún tipo de relación con la concentración del material particulado (SUÁREZ, 2012).

### Modelo teórico

$$CMP = \beta_0 + \beta_1 RUTA + \beta_2 EC + \beta_3 HUM + \beta_4 TEMP + \beta_5 PREC + \beta_6 VV + e$$

donde se tiene que:

RUTA: Ruta uno o dos

EC: Estación climática (I: Invierno, E: Verano)

HUM: Humedad Relativa

TEMP: Temperatura a la hora del muestreo en °C

PREC: cantidad de Precipitaciones en mm

VV: Velocidad del Viento

Inicialmente se evalúa la correlación directa entre cada variable y el valor de Material Particulado Respirable obtenida de los Biciusuarios. El resultado del modelo estimado (Méndez Espinosa, 2017) es:

### Modelo estimado

$$CMP = -6.247 + (3.452)ECV + (1.707)VV$$

(-1.308) (1.962) (1.985)  
(0.193) (0.052) (0.049)

El modelo estimado indica que la concentración de material particulado se explica por la estación climatológica en presencia de verano y la velocidad del viento. Es importante señalar que estas variables fueron las que resultaron significativas al 95%. Un caso particular ocurre con el intercepto que genera un valor no interpretable por su naturaleza negativa, y la estación climática en verano puede considerarse marginalmente significativa a este nivel de confianza. En términos del ajuste del modelo, no se logra superar el 50%, y no se logró validar el supuesto de normalidad. Razón por la cual, este modelo tiene utilidad en términos descriptivos y no inferenciales. Lo que sí es posible definir es el sentido de la relación de estas variables con la variable respuesta.

De aquí que, en la estación verano la concentración de material particulado aumentará en 3.452  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  más que en invierno. Y por cada unidad que se incremente la velocidad del viento, la concentración de material particulado aumentará en 1.707  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Este análisis muestra que las únicas variables significativas que explican el valor del Material Particulado Respirable son la estación climática y la velocidad del viento, aunque el ajuste no es el mejor. Esto se debe a que la correlación de las variables de la medición y

el resultado es variada. El Siguiendo cuadro, muestra el resultado de estas correlaciones, en la Figura 5.

Debido a que la relación de cada variable se asocia de manera diferente al resultado, el análisis de estimado es de gran ayuda para definir cuáles de estas variables son significativas frente a la variable resultado.

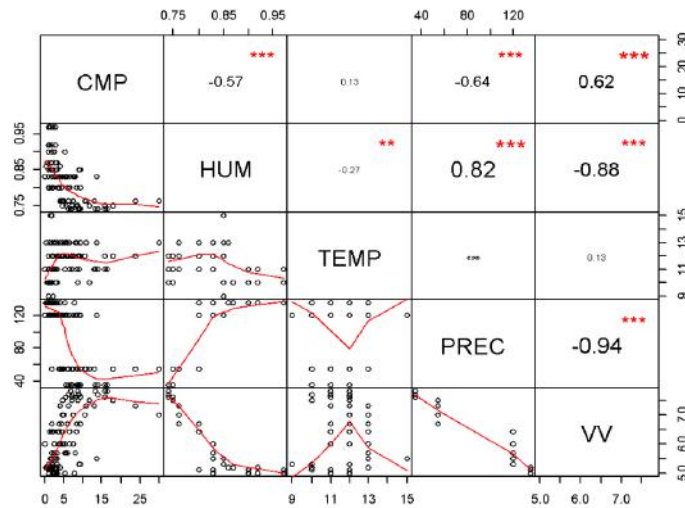


Figura 5. Correlación entre las variables del muestreo

Análisis de residuos del modelo de regresión múltiple: en la Figura 6, los resultados del análisis de residuos, mostrando que los resultados de la medición están en un escenario de alta incertidumbre dada la poca estabilidad de los datos resultado, y las variables meteorológicas evidencian tendencias del clima que no varían de manera significativa de un día a otro.

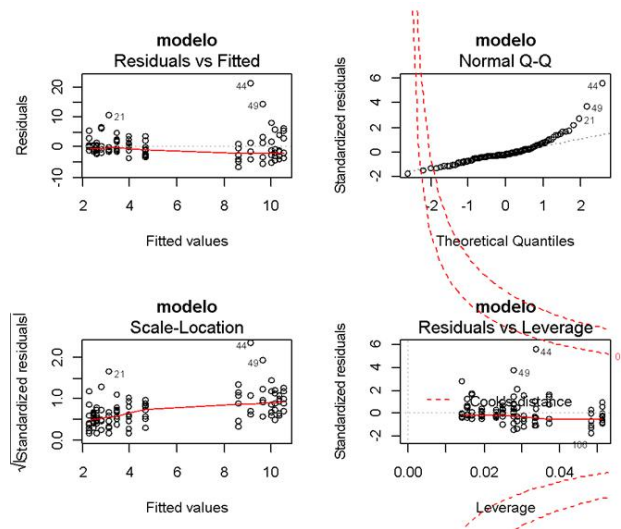


Figura 6. Análisis de residuos de del modelo de regresión múltiple

La gran dispersión que presenta la variable resultado, significa que los Biciusuarios en su recorrido se encuentran expuestos a valores instantáneos de concentración que superan ampliamente los valores considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como perjudiciales para la salud de las personas. En cada ruta es diferente este aspecto.

### Modelo de regresión Logística

Inicialmente se plantea un modelo teórico en el que las variables antes descritas suponen algún tipo de relación con la concentración del material particulado.

Modelo teórico propuesto:

$$P(\text{RIESGO} = 1/X_i) = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \text{RUTA} + \beta_2 \text{EC} + \beta_3 \text{HUM} + \beta_4 \text{TEMP} + \beta_5 \text{PREC} + \beta_6 \text{VV} + e)}$$

Modelo estimado:

$$P(\text{RIESGO} = 1/X_i) = \frac{1}{1 + \exp(15.8605 - 7.5467 \text{ECV} - 0.1392 \text{PREC})}$$

Un aspecto importante antes de la interpretación del modelo es la verificación de la bondad de ajuste del mismo. En primer lugar, se tiene la prueba Chi-cuadrado para la desviación del modelo que presenta un valor de 50.4872, dado que es un valor positivo quiere decir que la desviación del modelo es menor que la desviación nula, por lo que las variables mejoran la capacidad predictora del modelo; y el p-valor= 0.000 menor que 0.05 indica que con una confianza del 95% el efecto general del modelo es estadísticamente significativo.

Con esto antes expuesto lo que sigue es la interpretación de los coeficientes estimados, para lo cual es necesario obtener la exponencial de los logaritmos generados por el modelo. Podemos decir que, al estar en verano la probabilidad de riesgo disminuye en un 99% con respecto a estar en invierno. Y el aumento en la precipitación disminuye el riesgo de exposición al 99,9%.

**Análisis desde el nivel del Riesgo:** Se realizaron cartas de control (ICONTEC, Gestión del Riesgo, 2016) de los datos obtenidos por cada ruta y se compararon con el nivel (ICONTEC, NTC-IEC/ISO 31010 Técnicas de Valoración de Riesgos, 2016) de material particulado respirable establecido como límite de exposición correspondiente a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas para exposiciones máximas de 8 horas. Los resultados por cada ruta son las siguientes cartas de control (Gutierrez, 2009).

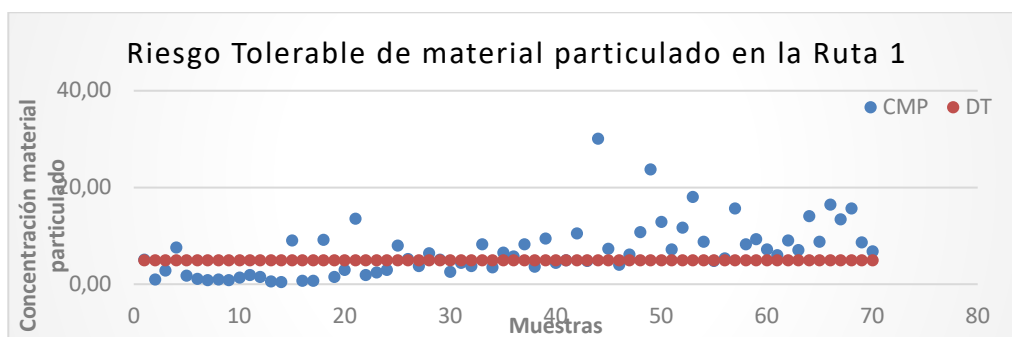


Figura 7. Carta de control de Riesgo para la ruta No. 1

Tabla 3. Cálculo del Nivel de riesgo de la ruta 1

Nivel de riesgo ruta 1	%
Sin Riesgo	43%
En riesgo ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3 < x < 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	13%
En alto riesgo $> 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$	44%

Mientras que para la ruta No. 2 se obtuvieron los siguientes resultados que se presentan en la siguiente gráfica de control.

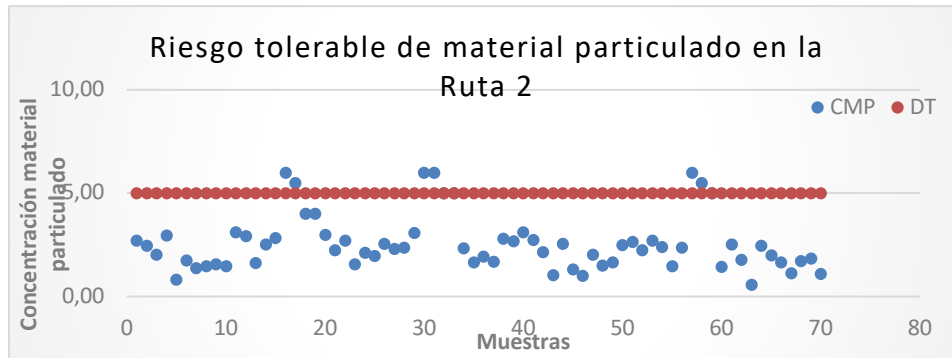


Figura 8. Carta de Control de Riesgo para la ruta No. 2

Tabla 4. Cálculo del Nivel de riesgo de la ruta 1

Nivel de Riesgo Ruta 2	%
Sin riesgo	85%
En riesgo ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3 < x < 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15%
En alto riesgo $> 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0%

Como se observa, a pesar de estar en la misma ciudad y realizar la toma de muestras en las mismas condiciones y de manera homogénea, el análisis de las variables meteorológicas por si solas no explican en su totalidad el nivel de material particulado respirable. Lo cual no lleva a presentar los siguientes aspectos de discusión.

## ***Discusión***

Los datos meteorológicos de las muestras no explican con suficiencia en conjunto, el valor del material particulado respirable. La variable de Ruta es la más significativa y ésta por si misma involucra aspectos muy importantes de analizar como la significancia de aspectos Topográficos. Por ejemplo, en esta medición es evidente este comportamiento como se observa en la Figura 9.



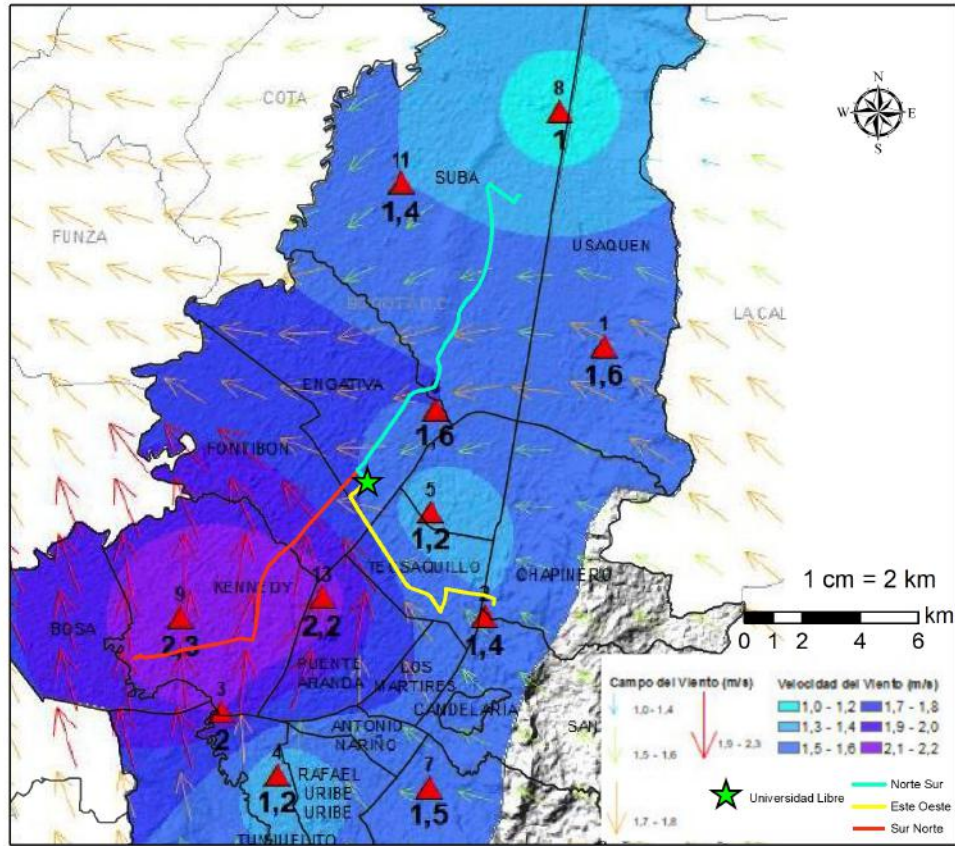


Figura 9. Mapa de Rutas y dirección del Viento del Muestreo.  
Fuente: Gabriel Sánchez Puin, datos del proyecto, Universidad Libre, 2019

Como se observa la ruta dos que es paralela a la Calle 26 presenta en todas las mediciones valores por debajo del límite, sin riesgo, lo cual es coherente con la forma urbanística de la vía que ayuda a que el viento se lleve el material particulado y no se quede atrapado por edificios que hagan fácil la respiración de este contaminante por los Biciusuarios. En el caso de la ruta No. 1 es opuesta y como se observa es perpendicular a dicha vía, el valor medido de material particulado respirable está en un 43% en riesgo, sobre la totalidad de las mediciones.

Una explicación a este comportamiento está en los estudios de modelamiento de Calidad del aire, donde el investigador PJH Builtjes (Builtjes, 2001), expone que los Modelos de Calidad del aire, presentan procesos relevantes para identificar la relación entre emisiones y concentraciones. En tal sentido, tanto el tamaño de la partícula y su composición son el resultado de procesos de condensación, evaporización y coagulación. Estos aspectos se ven afectados por el movimiento browniano generado por aspectos hidrodinámicos, el peso y propiedades eléctricas de las partículas. Por este comportamiento del material particulado en



el aire, su efecto en la dosis respirable y la exposición a dosis altas, dan como resultado que la determinación del nivel de riesgo de material particulado respirable debe abordarse desde los conceptos de incertidumbre, dada la variación instantánea y complejidad de las variables que definen el nivel de dosis respirable.

Según investigación de la Universidad Nacional sobre la composición del Material Particulado en la Ciudad de Bogotá (Freddy A. Vargas, 2010), se determinó que por localidades es diferente, donde el polvo suspendido representa entre el 37 al 42%. Este aspecto explicaría por qué las mediciones de dosis respirable en dos rutas en la misma localidad de Engativá varían y tienen niveles de riesgo diferentes.

Por lo tanto, para poder explicar los datos obtenidos se debe realizar un análisis desde la perspectiva de escenarios de riesgo. Por tal motivo se analizaron los datos por día de la semana de las muestras.

**Análisis por escenarios de Días de la Muestras:** para realizar el análisis de los resultados de la variable resultado con respecto a los días de la semana se observa una tendencia (Gutierrez Pulido, 2009) creciente desde el día lunes a aumentar el material particulado respirable y en todos los escenarios se coincide que los tres primeros meses de lluvia, los valores de material particulado son menores con respecto a los tres de periodo de verano. Pero varía la intensidad de este comportamiento de la ruta No. 1 a la ruta No. 2.



Figura 10. Datos tomados en día lunes

Como se ve en la Figura 10, para los datos de los días lunes se observa un leve crecimiento en los últimos tres meses en la ruta 1. La ruta 2 es estable todo el muestreo.

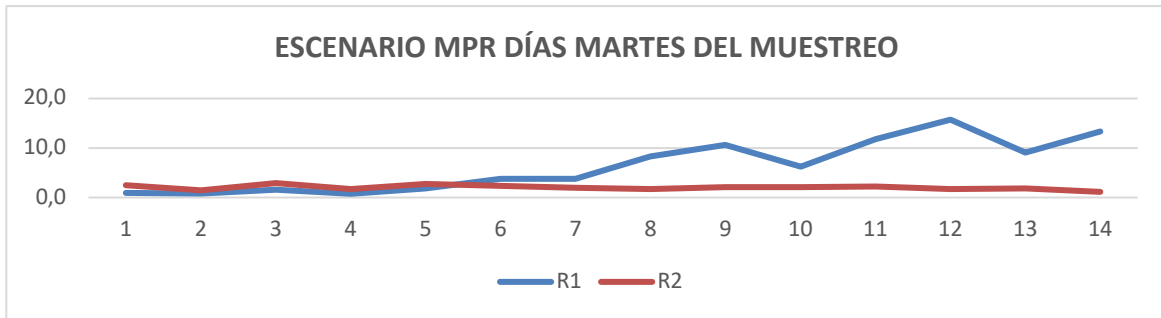


Figura 11. Datos tomados en día martes

Como se ve en la Figura 11, para los datos de los días martes se observa un mayor crecimiento en los últimos tres meses en la ruta 1. La ruta 2 es estable todo el muestreo.

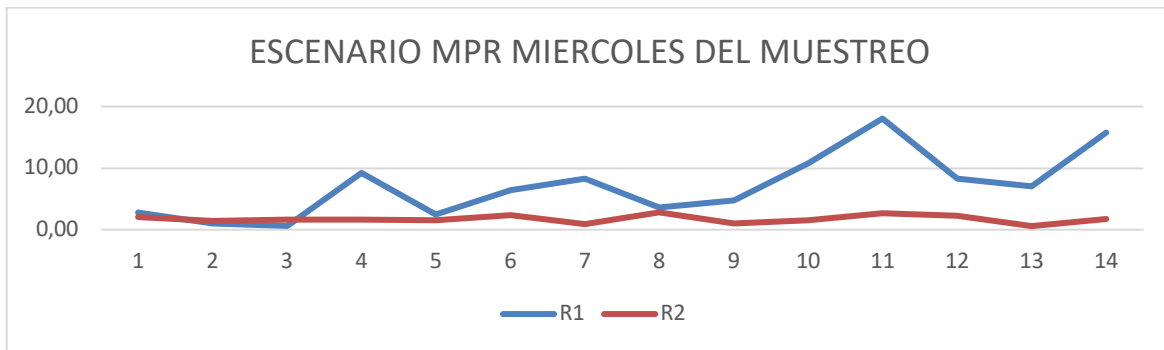


Figura 12. Datos tomados en día miércoles

Como se observa en la Figura 12, para los datos de los días miércoles se observa una mayor incertidumbre en los valores de la medición y un crecimiento en los últimos tres meses en la ruta 1. La ruta 2 es estable todo el muestreo. Este comportamiento es coherente con los informes de contaminación y niveles de dosis respirable debido a que en este día se tienen estadísticas de presencia de la mayor cantidad de fuentes móviles (vehículos de carga y transporte) en los ejes viales de la ciudad.

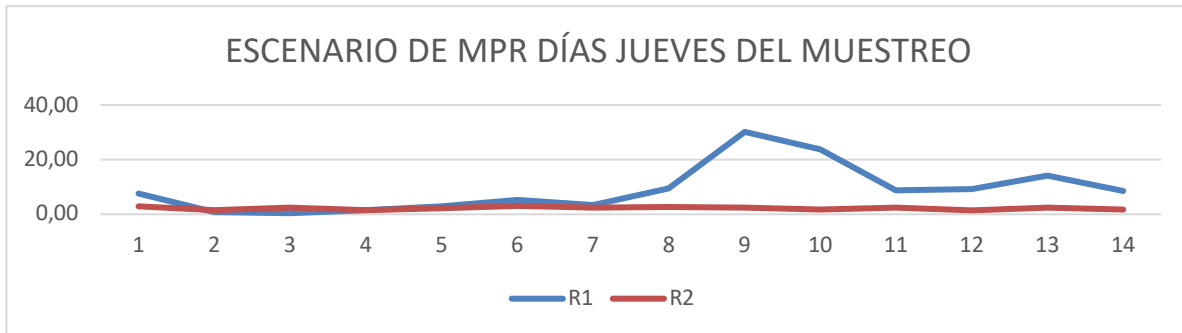


Figura 13. Datos tomados en día jueves

Como se observa en la Figura 13, para los datos de los días jueves se aprecia un aumento de material particulado en un rango muy específico del periodo de muestreo, en la ruta 1. La ruta 2 es estable todo el muestreo.

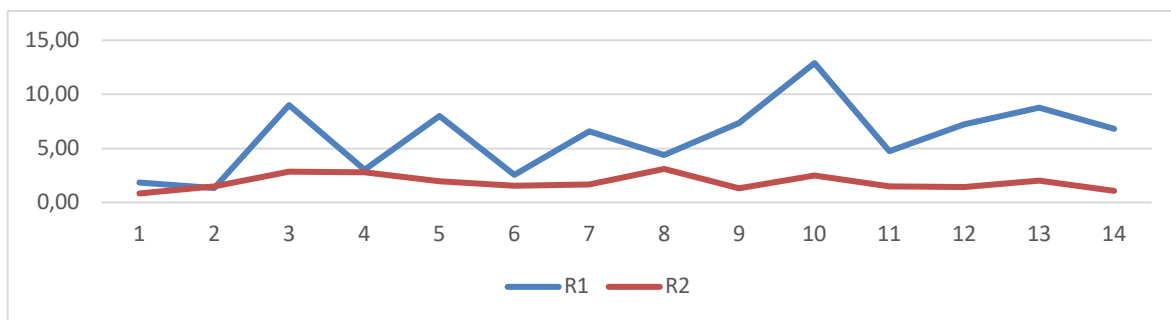


Figura 14. Datos del día viernes

Como se observa en la Figura 14, el día viernes presenta un comportamiento inestable desde la semana 2 en adelante, esto se debe a la gran variación de presencia de fuentes móviles en la ruta inherentes al tráfico vehicular de la zona, que corresponde a una mezcla de vehículos de carga, transporte y familiares en la ruta No. 1. La ruta No. 2 sigue estable.

El escenario de riesgo analizado por día muestra que el nivel de Material particulado va aumentando desde el día lunes, donde está el nivel de riesgo dentro de los rangos aceptables, pero a medida que avanza la semana se incrementa el valor de Material particulado hasta el día miércoles y baja los días jueves y viernes, pero en valor de riesgo.

Esta tendencia está asociada al comportamiento del tráfico vehicular en la ciudad, acorde con la afirmación del estudio de la Universidad de Huelva (Omar Ramírez, 2018) que concluye que el “polvo vial es fuente principal de contaminación del aire en Bogotá”, afectando así la dosis de material particulado respirable medida en este estudio.

En ambas rutas, el recorrido en bicicleta es paralelo al eje vial, como lo es el 90% de las ciclo rutas de Bogotá. Lo que genera exposición a dosis instantáneas elevadas de material particulado respirable (Martínez-Ángel, 2018) producto de las emisiones de camiones, buses y volquetas sin control de emisiones. En especial en los semáforos. Esto es coherente con lo afirmado en estudio de la EAN del 2018.

Por lo tanto, el patrón de ocurrencia del riesgo de exposición a dosis de material particulado respirable está asociada a los siguientes patrones:

- a- Efecto de la estación de lluvias y temporada seca. Los primeros 3 meses de muestreo, en todos los días de la semana, el valor del material particulado respirable estuvo porcentualmente más días de medición dentro de los niveles aceptables de riesgo y solo en casos de dosis instantáneas su valor fue alto. Opuesto a la temporada seca donde la mayoría de muestras dieron con riesgo.
- b- Las diferencias entre la ruta 1 y 2 se centran en patrones de tráfico en la ruta asociado al eje vial, tales como:

- Cantidad de semáforos
- Estado de la vía
- Estado de los andenes

- c- Número de edificios con altura considerable de obstrucción y retención de material particulado respirable.
- d- Cantidad de fuentes de emisión en la ruta diferente a la vehicular.

## ***Conclusiones***

Con base en los resultados obtenidos en las dos rutas en condiciones de muestreo homogéneo, tanto en periodo de lluvias como de verano, nos evidencian que el riesgo de bicisuarios de respirar dosis de material particulado fuera de los rangos establecidos por la OMS y normas asociadas, es el resultado de múltiples variables que interactúan de manera distinta en cada ruta y no es generalizado, para la ciudad.

Sobre el nivel de riesgo: Las rutas impactan el nivel de riesgo. Esto evidencia que temas como el tráfico en la vía en el momento del recorrido, son vitales para definir el riesgo exposición a dosis de material particulado respirable en bicisuarios.

Sumado a lo anterior, los aspectos topográficos propios de la ruta, que no están incluidos en el modelo de medición actual, evidencian una influencia, que debería ser tenida en cuenta en la definición del nivel de Material Particulado Respirable.

En los modelos planteados, en el presente estudio, para explicar el nivel del Material Particulado Respirable y su riesgo, se obtuvo que, además de la ruta, las variables meteorológicas más significativas son la temporada climática y velocidad del viento, estos en temporada seca y a menores velocidades de viento existe mayor concentración de material particulado, lo cual predice un mayor nivel de riesgo, el cual se sustenta por el experimento y la literatura especializada.

El incremento súbito en algunas mediciones de material particulado en las muestras de la primera y segunda ruta, evidencian que los biciusuarios se exponen a dosis respirables instantáneas por encima de los niveles considerados seguros, por estar cerca de fuentes móviles como los buses y camiones en la vía.

Debido a que la principal aportante al material particulado en el aire son las emisiones vehiculares generadas en el tráfico vehicular, el cual comparte el biciusuarios al tener ciclo rutas paralelas a los ejes viales, se considera una medida clave para reducir la contaminación del aire en Bogotá, la renovación de la flota del transporte público, así como las volquetas y los camiones de carga pesada.

Dado que el riesgo de material particulado respirable en biciusuarios se puede determinar en mediciones instantáneas o en periodos de tiempo continuo corto, se deben incorporar a los modelos variables que expliquen su comportamiento y por lo tanto permitan desarrollar modelos de pronósticos para realizar recomendaciones a los biciusuarios y así mitigar la exposición a dosis respirable.

## ***Referencias***

- Builtjes, P. J. (2001). Major Twentieth Century Milestones in Air Pollution Modelling and Its Application. En N. C. Series., Air Pollution Modeling and Its Application (Vol. 1, págs. 3-17). New York, New York, USA: Kluwer Academic Publishers.*
- Banco Mundial, e. a. (01 de abril de 2019). Banco Mundial, entendien a la pobreza. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#2>*
- Díaz, T., Jiménez, J. D., & Meneses, S. (2017). Caracterización de variables de riesgos de movilidad en bicicletas. Revista Avances: Investigación en Ingeniería, 14(issn: 1794-4953 (impreso) issn: 2619-6581 (en línea)), 47-72.*

- Duarte D, L. k. (2018). *caracterización de riesgos en la accidentalidad de biciusuarios. Ingeniería Industrial., actualidad y nuevas tendencias, 11(21), 93-108.*
- Espinosa, M. (2005). *caracterización del material particulado en vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá. Revista de Ingeniería de Universidad de los andes, , 50-81.*
- Franco, j. f. (2007). *contaminación atmosférica en centros urbanos. desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. Bogotá : Banco Mundial.*
- Gutierrez, H. (2009). *Cartas de Control para Variables . En gutierr, & H. Gutierrez Pulido, Control estadístico de Calidad y seis sigma (págs. 186-219). Mejico : McGrawHill.*
- Gutierrez Pulido, H. (2009). *Calidad de Procesos, Estadística descriptiva. En H. Gutierrez Pulido, Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma (págs. 18-29). Mejico: MacGrawHill.*
- Icontec. (2016). *Gestión del Riesgo. Bogotá: ICONTEC.*
- Icontec. (2016). *NTC-IEC/ISO 31010 Técnicas de Valoración de Riesgos. Bogotá: Icontec.*
- Icontec. (2016). *GTC 137 Gestión del Riesgo - Vocabulario. Bogotá: Icontec.*
- José Alejandro Martínez, J. F. (7 de 12 de 2016). *Contaminación del aire junto con senderos para bicicletas en Bogotá-Colombia. (U. EAN, Ed.)* pág. 301.
- Julián Felipe Segura-Contreras, J. F. (2016). *Exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular en bogota. (U. N. Colombia, Ed.) Revista de Salud Pública ISSN 0124-0064, 18(2), p. 179-187. doi:http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v18n2.49237*
- Martínez-Ángel, J. D. (2018). *Movilidad motorizada, impacto ambiental, alternativas y perspectivas futuras: consideraciones para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (u. N. Colombia, Ed.) Revista de Salud Publica, Universidad Nacional de Colombia , 20(1), 126-131. doi:https://doi.org/10.15446/rsap.v20n1.57038*
- Méndez Espinosa, J. F. (2017). *Estimación de factores de emisión de material particulado resuspendido antes, durante y después de la pavimentación de una vía en Bogotá. Ciencia y Tecnología Neogranadina, 27(1), 43-60.*
- Meneses, S. E. (scientia et technica año xxiii de 2018). *Exploración de relaciones causales entre accidentalidad vial y productividad empresarial usando dinámica de sistemas. (U. PEREIRA, Ed.) scienti, 13(2), 17-31.*
- Meneses, S. (2018). *Cartilla el biciusuario seguro. Bogotá: Universidad Libre.*
- Ministerio de Transporte, M. d. (2016). *Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas (Vol. 1). Bogotá.*
- Niosh. (1998). *method 0600 «particulates not otherwise regulated, respirable». 1-6.*
- Pérez, J. A. (2007). *Las variables en el método científico. Rev. Soc. Quím. Perú, 73(3), 171-177.*
- Suárez, C. A. (junio de 2012). *Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. Luna Azul, 1(34), 195-213.*
- PNUD, o. (02 de 07 de 2019). *PNUD - Objetivos de desarrollo sostenible. Obtenido de Plan de nacione unidas para el desarrollo: https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html#targets*

- Ramírez, A. M., Lenis, J. F., & Agudelo, R. M. (mayo de 2013). Prueba piloto para determinar la posible exposición a material particulado respirable en motociclistas de la zona centro de Medellín. (U. d. Antioquia, Ed.) *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*, 32(2), 310. doi:1689390609
- Ramírez, Omar, A. S. ,12 de octubre de 2018. Chemical composition and source apportionment of PM10 at an urban background site in a highaltitude Latin American megacity (Bogota, Colombia). *Environmental Pollution*, 1(233), 142-155.
- Ramos, C. F. (2006). Caracterización del material particulado en las principales vías del transporte público colectivo y masivo del centro de bogotá. Universidad de los Andes, cundinamarca. Bogotá : Universidad de los Andes . Recuperado el enero de 2019, de [http://oab2.ambientebogota.gov.co/apcfiles/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Materialparticulado%20\\_transporte.pdf](http://oab2.ambientebogota.gov.co/apcfiles/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Materialparticulado%20_transporte.pdf)
- Rojas, N. Y. (23 de diciembre de 2005). El aire de Bogotá. (e. tiempo, Ed.) *el tiempo*, pág. 23. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1868521>
- Rodriguez, K. P., & Duarte, D. (s.f.).
- Rojas, N. Y. (2004). Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel. *revista de ingeniería. universidad de los andes.* , 50-72.
- Segura, J. F. (2016). Exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular en Bogotá (doi: <http://dx.doi.org/10.15> ed., Vol. 18). Bogotá: *Revista de Salud Pública UN*.
- Vargas, Freddy A., N. Y. ,junio de 15 de 2010. Composición química y reconstrucción másica del material particulado suspendido en el aire de Bogotá. *Ingeniería e Investigación*, 30(2), 105-115.

# 4

## ***Diseño de un sistema para la medición de los niveles de CO, CO<sub>2</sub> y gases tóxicos en los parqueaderos a subnivel de las Grandes superficies existentes en el municipio de Villavicencio Meta***

### ***Design of a system to measure the levels of CO, CO<sub>2</sub> and toxic gases in the sub-level parking lots of the large existing surfaces in the municipality of Villavicencio Meta***

Juan Chica<sup>1</sup>, Ángel Rodríguez<sup>2</sup>, John Figueredo<sup>3</sup>, Ramiro Polanco<sup>4</sup>

#### ***Resumen***

El uso de combustibles fósiles en los automóviles genera emisiones de gases en los procesos de combustión, algunos de los gases resultado de estos procesos son el CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, que en cantidades considerables >10 mg/m<sup>3</sup>, normalmente con altas concentraciones en espacios cerrados como parqueaderos de uso masivo en centros comerciales, puede llegar a

---

<sup>1</sup> Esp. Alta Gerencia, UNAD, [juan.chica@unad.edu.co](mailto:juan.chica@unad.edu.co)

<sup>2</sup> MSc en Desarrollo Sostenible, UNAD, [angel.rodriguez@unad.edu.co](mailto:angel.rodriguez@unad.edu.co)

<sup>3</sup> MSc en Educación, UNAD, [john.figueredo@unad.edu.co](mailto:john.figueredo@unad.edu.co)

<sup>4</sup> MSc Relaciones Internacionales, UNAD, [ramiro.polanco@unad.edu.co](mailto:ramiro.polanco@unad.edu.co)



ser nocivo para la salud humana, debido a que al ingresar por vía respiratoria en el organismo pueden provocar una disminución de la capacidad de transporte de oxígeno a la sangre, y esto, a su vez puede desencadenar un detrimento en la oxigenación de órganos y tejidos, provocando en algunos casos leves, dolor de cabeza, mareos, fatiga, en exposiciones prolongadas puede provocar diversas patologías asociadas a enfermedades respiratorias, intoxicaciones y en algunos casos extremos la muerte. Por ser espacios cerrados, de baja ventilación, es necesario medir las concentraciones de estos gases y determinar los niveles a los que se ven expuestos no solo los usuarios ocasionales de los parqueaderos subterráneos si no también aquellas personas que realizan labores en estos espacios de manera prolongada, como el personal de servicio y trabajadores en los locales ubicados en estas zonas, todo esto usando herramientas IoT, tecnología sensórica y opciones de visualización y entrega de información mediante aplicaciones móviles y web. La metodología trabajada en el desarrollo de este proyecto se dividió en tres fases. la primera se orientó a determinar las características que poseen los parqueaderos subterráneos de cinco centros comerciales, seleccionados como objeto de estudio en la ciudad de Villavicencio, en donde se implementaron los sistemas de medición. A continuación se hace el análisis de los datos generados en los puntos de ventilación y posibles puntos de mayor concentración, al igual que espacios de flujo y estadía tanto del personal itinerante como estacionario, finalmente, se realizara identificación y propuesta de las acciones de mejora para mitigar los impactos del proyecto con base en el análisis de los datos obtenidos, y como resultado de la investigación se compartirá a los centros comerciales participantes a fin que puedan adoptar las medidas necesarias de mitigación. Es en este contexto, se diseñó un sistema para la medición de los niveles de CO, CO<sub>2</sub>, gases tóxicos y material particulado, en parqueaderos a subnivel, usando herramientas IoT, aplicaciones móviles y web. Diseñado bajo dos sistemas de control, el primero basado en Arduino adicionando un módulo wifi y el segundo usando una tarjeta de desarrollo Wemos D1; para ambos casos se uso una base datos en un archivo plano trabajado en una microSD y almacenamiento en la nube, además, el uso de sensórica de bajo costo haciendo posible la replicación de varios prototipos. La información obtenida a través del uso de las herramientas mencionadas demostró concentraciones superiores a las recomendadas por la OMS de acumulación de estos gases en ppm, para los parqueaderos fue muy superior a 250 ppm, teniendo en cuenta que la concentración recomendada no debe exceder los 60 ppm, como resultado preliminar de este proceso se logro la rotación del personal de servicios en estas zonas logrando menor exposición al igual que el uso de mascarar en las horas pico por parte del personal en general.

**Palabras clave:** Emisiones de gas, IoT, Visualización, Sensórica, procesamiento, diseño electrónico.

## ***Abstract***

*The fossil fuels use in cars generates a lot of gases in combustion processes, some of them are CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and CO. Usually with high concentrations are in closed spaces as parking lots in a shopping centers, these can be harmful to human health, because when entering the body through the air it can cause a decrease in the blood ability to transport oxygen, that turn it can trigger a detriment in the oxygenation of organs and tissues, headache, dizziness, fatigue. In prolonged exposures it can cause respiratory pathologies, intoxications and death in a longer expositions. In a closed spaces, with low ventilation, is necessary to measure the gases concentrations to determine the levels to which they are exposed not only the occasional users of the underground parking lots but also those people who perform work in these spaces for a long time such as service personnel and workers in the premises located in these areas. The measure process has been supported in a sensors technology connected through IoT tools and delivering information using mobile applications and web pages. The applied methodology to development this research has three parts. The first one focused on describe the underground parking lots characteristics of the five Villavicencio shopping centers chosen as the object of study, the second action was turn on an equipment in a chousen places at mall basement. Some of important values to following the data analysis generated at the ventilation points and possible points of greatest gases concentration, finally, the research process identifies and proposal improvement actions to carried out for mitigate the impacts. As the research results was a system designed for the measurement of the levels of CO, CO<sub>2</sub>, toxic gases and particulate material, designed under two control systems, the first based on Arduino adding a wifi module and the second using a Wemos D1 development card; For both cases a database was used in a flat file worked on a microSD and cloud storage, in addition, the use of low-cost sensors making possible the replication of several prototypes. The information obtained through the use of the aforementioned tools showed concentrations higher than those recommended by the WHO for the accumulation of these gases in ppm*

**Keywords:** *Gas emissions, IoT, Visualization, Sensoric, processing, electronic design.*

## ***Introducción***

La medición de los niveles de gases nocivos para la salud humana es de gran interés en diferentes ramas del saber, ya sea como análisis de la información y efectos, como también en el diseño de sistemas, equipos y sensores para su detección, y es no solo como caso de

estudio científico, sino también como acto de responsabilidad social, ya que el desarrollo del conocimiento debe estar enfocado no hacia el imaginario de proyectos efímeros e inalcanzables, por el contrario, lo debe estar es hacia la búsqueda de soluciones a problemáticas sociales.

En el marco de las investigaciones base, realizadas entorno al tema tratado en este proyecto, se encuentran una base amplia esto debido a que las emisiones generadas por el parque automotor en los diferentes países productores, al igual que realizados por entes gubernamentales alrededor del mundo, todos estos estudios aportan en la construcción de los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en lo relacionado con mediciones de PM 1 hasta PM 10. En los últimos años se han realizado investigaciones en pro del mejoramiento de la calidad de vida, en la actualidad en un tema coyuntural en diferentes países del mundo y Colombia no es la excepción encontrando de capitales como Bogotá y Medellín presentan contantemente condiciones criticas al respecto.

Siguiendo con esta línea, se hace el desarrollo de este proyecto de investigación cuyo objetivo principal, es el desarrollo de un sistema de bajo costo con conectividad IoT, compuesto por un equipo electrónico y una aplicación móvil aunque todo esto más que encaminado a la búsqueda de resultados en el campo de la ciencia y la tecnología, se hace es para brindar una ventana de conocimiento y socialización a los niveles de exposición a estos gases de las personas que se encuentran tanto laborando como de paso en los parqueaderos a subnivel de algunos de los centros comerciales de la ciudad de Villavicencio.

Con este desarrollo se generarán alternativas de seguimiento en tiempo real de las condiciones de exposición en este material particulado, al igual que poder transferir y aplicar en estos espacios, algunas alternativas enfocadas en mitigar los niveles de exposición buscando el bajo costo y el beneficio tanto para los usuarios y trabajadores, como también para los operadores de las zonas de parqueo.

## ***Metodología***

La metodología con la que se desarrolló este proyecto es la metodología experimental (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010), esta metodología consiste en los investigadores controlan las variables que intervienen en el proyecto con el fin de delimitar las relaciones entre ellas y construir los pilares de la solución del problema, este método se fundamenta en el método científico el cual es propicio para llevar a cabo este tipo de proyectos que son de carácter experimental y social.

Se definieron entonces las siguientes fases de proyecto, determinación los parqueaderos subterráneos de la ciudad en donde se implementaron los sistemas de medición. haciendo hincapié en que la idea no es presentar cual es el parqueadero con menos o más índice de exposición a los gases tóxicos, sino que se hace como una opción de mejoramiento y con miras de realizar estudios y soluciones que permitan mejorar la calidad del espacio con el menor impacto a la salud de quien permanecen en estos.

Desarrollo del equipo para la medición, captura, almacenamiento y cargue de la información, será compuesto inicialmente un sistema embebido, al cual se configurarán una serie de sensores y unos elementos tanto de visualización como de comunicación con la nube para la presentación de la información, de forma ordenada y en tiempo real.

Análisis de los datos obtenidos para la presentación de informes a los interesados. Utilizando herramientas web para la captura de la información en cuanto a lo relacionado con el procesamiento de datos resultado del proceso de las variables, se establecerá un sistema de análisis web para cada variable y cada comportamiento el cual será realimentado por cada uno de los integrantes del equipo científico de trabajo.

Identificación y propuesta de las acciones de mejora, para mitigar los impactos de la presencia de gases como CO y CO<sub>2</sub> en los parqueaderos y el deterioro en salud de las personas con mayor exposición a los mismos como vigilantes, servicios generales y personal visitante de las grandes superficies.

## Diseño del equipo

La implementación del equipo se hizo utilizando elementos fácil y económica adquisición, entre ellos los mencionados a continuación.

Tabla 1. Elementos del sistema de medición

Elemento	Referencia
De entrada, sensores	MQ-7, MQ 135, mg 811
De control	Arduino nano
De salida	Shield SD card

En el desarrollo del prototipo inicial de medición se utilizaron sensores que se describirán a continuación:

Sensor MQ-7: es un sensor que mide monóxido de carbono CO, en partes por millón ppm entre 20 y 4000ppm, se hace su elección debido a su bajo costo inferior a 4 USD, al igual que a su oferta ya que puede ser encontrado en cualquier tienda de venta de elementos electrónicos (Encio, 2018).

Sensor MQ-135: es un sensor para la medición de calidad del aire, realizando la medición de concentraciones de amoniaco, sulfuro, veneno y humo, puede hacer la medición de concentraciones entre 10ppm y 1000ppm (Encio, 2018).

Sensor MG-811: este es un sensor para la medición de los niveles de CO<sub>2</sub>, su costo dentro de los sensores elegidos es el mayor, estimado en 30 USD, maneja un rango de operación entre 350ppm y 10000ppm (Encio, 2018).

El diseño básico del sistema consistía inicialmente en un sistema de entrada de tres sensores, el sistema de control y una salida generada en un archivo plano usando una SD card, según el diagrama de la Figura 1.

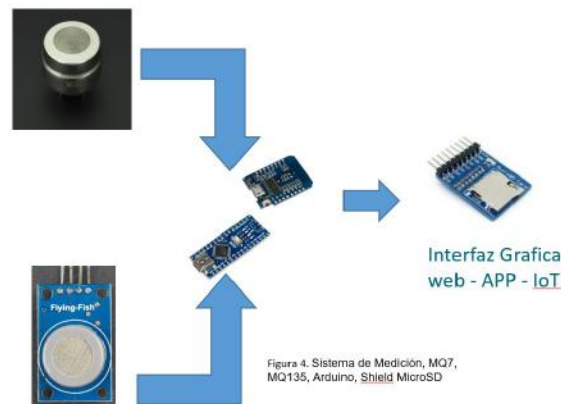


Figura 1. Diseño de sistema de medición inicial.

A continuación, se hace la presentación de la caracterización del sensor MQ-7, utilizado para la medición de la variable CO.

### Caracterización del sensor MQ-7

Este es un sensor fácil de usar para detección de Monóxido de Carbono (CO), ideal para detectar concentraciones de CO en el aire. puede detectar concentraciones en el rango de 20 a 2000ppm (Serrano, 2016).

En la Figura 2, se encuentra los gráficos presentados por el fabricante del sensor en donde hace la aclaración de los rangos de medición que, si bien podrían sugerir que llegan

hasta 4000ppm, se pudo comprobar que no superaban los 2000 a 2500 pm, aunque cabe aclarar que la presencia de estos valores en lugares cerrados sería muy peligrosa.

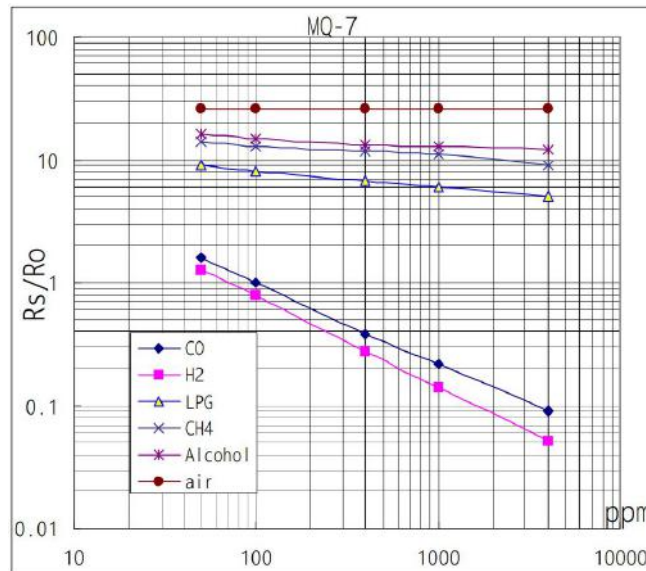


Figura 2. Sensibilidad del MQ-7 para varios

El módulo MQ-7 posee una salida analógica que proviene del divisor de voltaje que forma el sensor y una resistencia de carga, en la Figura 3, se presenta por parte del fabricante del sensor las especificaciones y requerimientos en temperatura y humedad necesarias para la correcta operación del sensor, basados en estas condiciones se realizó el diseño del experimento para la caracterización del sensor.

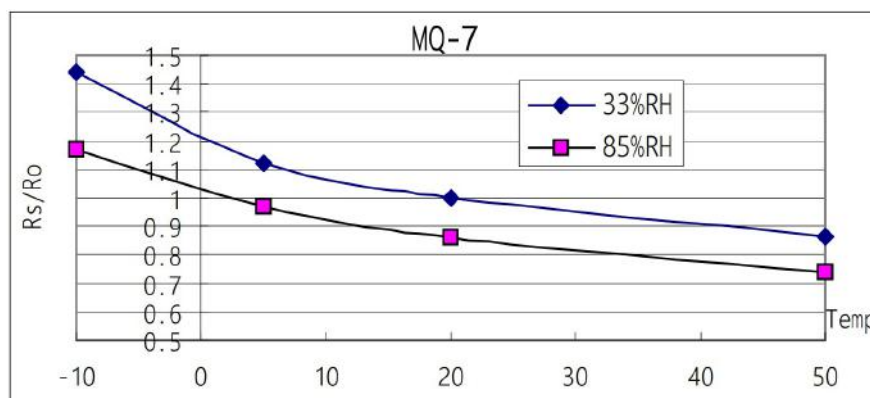


Figura 3. Dependencia típica del MQ-7 de la temperatura y la humedad.

La caracterización del sensor se hizo de forma independiente al resto de sensores y se realizó la comparación con medidor de CO de laboratorio controlado en un espacio de un

metro cubico aproximadamente, las condiciones de temperatura y humedad descritas por el fabricante buscan que su rango de operación se encuentre en 20°C y una humedad entre el 33% y 85% (Henao, 2010).

Los requerimientos del rango de operación tanto en laboratorio como en campo de la humedad no fue un factor que afectara el proceso de caracterización ya que el promedio se encuentra entre 60% a 65%, por el contrario, los rangos de temperatura en la ciudad si son muy variables por lo que fue necesaria la observación detalla de todos los sensores respecto del factor calor.

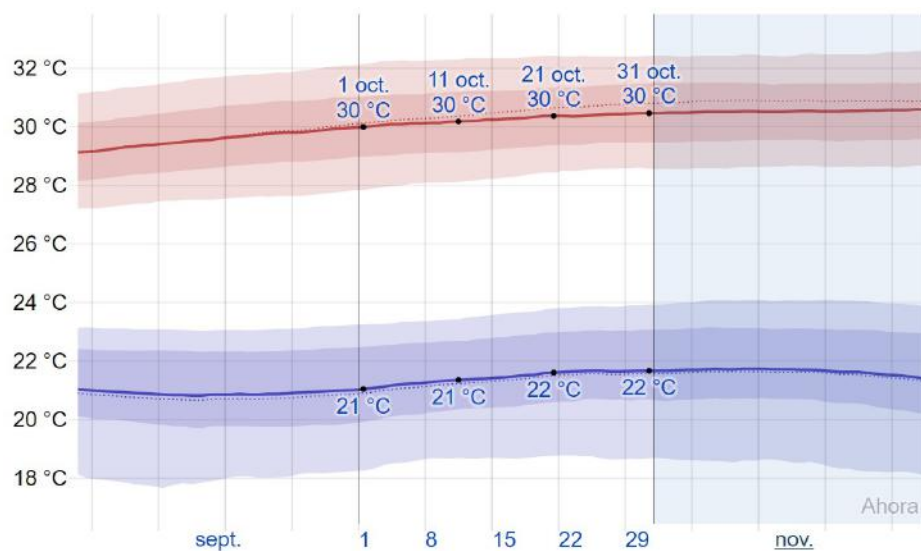


Figura 4. Rango de temperaturas para Villavicencio

Al realizar las mediciones y la excitación del sensor MQ-7 en lapsos de tiempos no superiores a 10 minutos con CO, en condiciones de humedad y temperatura controladas se obtuvo la Figura 5. En donde se hizo un ejercicio usando una fuente de CO, con la que se logró saturar el espacio de censado hasta un máximo de 675 ppm que a criterio propio de los investigadores del proyecto es un rango al que difícilmente en condiciones de operación normal se llegara en un parqueadero a subnivel.

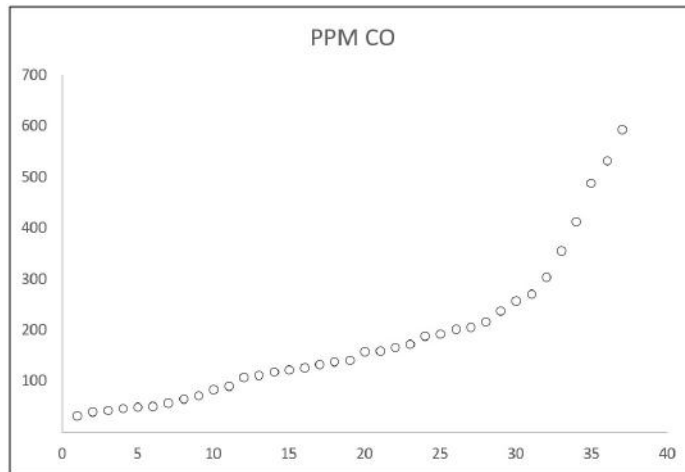


Figura 5. Medición de CO en ppm sensor MQ-7

Al mismo tiempo de la medición en condiciones de estrés del sensor MQ-7, se usó un equipo de medición de CO AQ-CO, existente en el laboratorio con el cual se buscaba establecer si los rangos de medición del MQ-7, eran acorde o satisfactorios con los valores del sensor, es de indicar que el experimento se replicó durante 10 veces, el resultado se puede apreciar en la Figura 6.

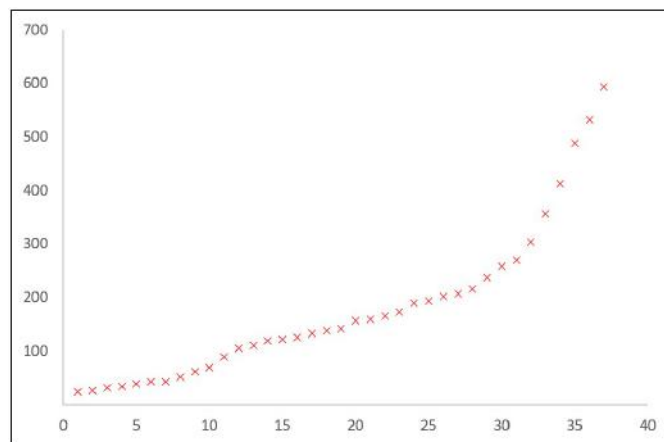


Figura 6. Medición de CO en ppm sensor AQ-CO

Al realizar la superposición de las gráficas de las mediciones obtenidas para los sensores en la Figura 7, se encuentra existe un punto en el que la medición del sensor MQ-7 se regulariza con el AQ-CO, y que esto lo hace a partir de los 110 ppm aproximadamente por lo que se abre una nueva necesidad en el proyecto y es conocer si los valores de medición bajos del sensor pueden afectar el desarrollo de algunas de las mediciones, esto haciendo



referencias que si los valores de presencia CO en los parqueaderos es baja se vería afectadas las mediciones pero si son altas como se espera, no lo sería.

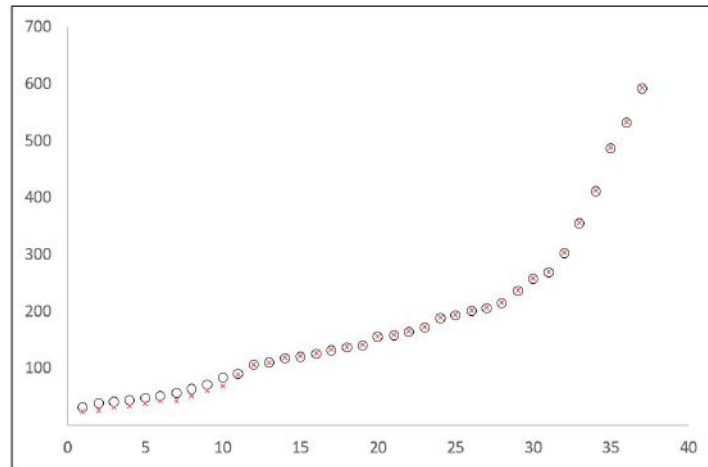


Figura 7. Comparación de mediciones MQ-7 y AQ-CO

Par los valores menores de 100 ppm se realizó el análisis de la información representado en la Figura 8, encontrando un índice de error aproximado de 18,42%, aunque es importante resaltar que no se espera tener un número significativo de mediciones dentro de estos rangos.

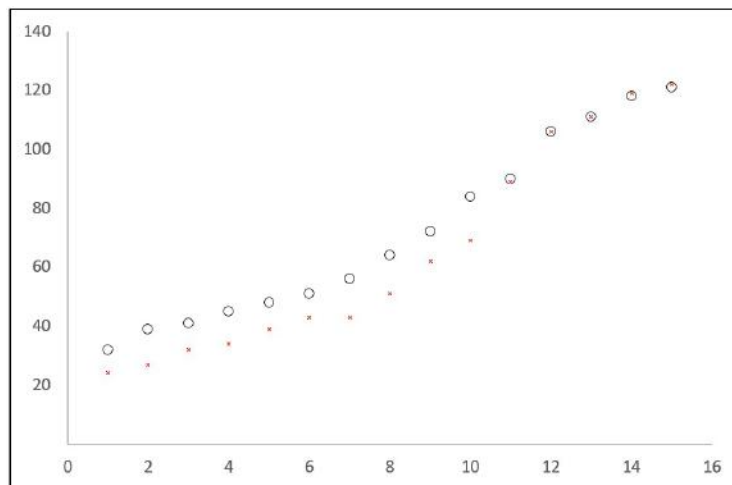


Figura 8. Comparación de registros menores a 120 ppm para MQ-7 y AQ-CO

Se tiene proyectado que para el análisis de estos valores menores a 100ppm de CO, se deberá realizar la adquisición de un sensor de mejor resolución al igual que costo ya que esto un factor relevante en el precio de compra.

Para los valores comprendidos entre 100ppm y 620ppm el error entre los equipos de medición MQ-7 y AQ-CO, fue de 4.77% por lo que es un error aceptable y que se encuentra por debajo del rango de 5% establecido por el fabricante del sensor.

## ***Resultados***

En la búsqueda de los puntos de interés para el desarrollo del proyecto de investigaciones se estableció la premisa de la necesidad de realizar el estudio en centros comerciales de grande superficie, para esto se hizo el análisis de aquellos que hacen presencia en la ciudad.

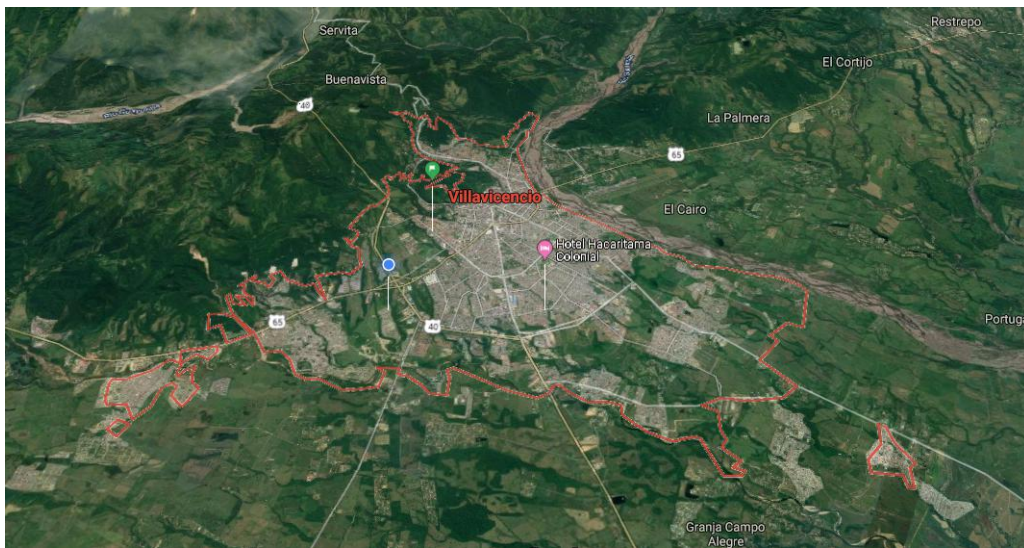


Figura 9. Municipio de Villavicencio, Google maps

El municipio de Villavicencio durante los últimos trece años realizo el salto de ser en habitantes la ciudad número 13 del país a la 8 con un estimado de 531.275 habitantes (El Tiempo, 2019), esto represento para la ciudad, el departamento y la región, la llegada también de comercio, almacenes de cadena, marcas, universidades y grandes superficies.

Estas últimas hacen presencia en la ciudad en más de 13 de los cuales por su importante comercio, al igual que interés demostrado en el proyecto se redujo para la investigación a cinco centros de los que en el presente escrito se analizaran los resultados parciales para uno de ellos, que corresponde al de mayor área general y mayor espacio de parqueo y que no será mencionado por manejo de datos.



Figura 10. Ubicación centros Comerciales en la ciudad, Google Maps

Además a la elección de los puntos de recolección de muestras del proyecto y del trámite de los permisos específicos para adelantar el proyecto, se venía realizando un ejercicio igual de exigente, que consistía en el desarrollo del equipo para la medición de las variables determinadas, CO, CO<sub>2</sub>, inicialmente y después NO<sub>x</sub>, material PM<sub>2,5</sub>.

Los espacios en los que se desarrollara el estudio son en general espacios muy similares para todos los puntos, corresponden a áreas amplias, subterráneas de uno o dos niveles, de baja ventilación, en donde generalmente están instaladas unidades de ventilación de aires acondicionado, para el punto de análisis inicial de este proyecto el espacio tiene una ventaja muy significativa respecto de los demás y esta consiste en que una de sus paredes está descubierta con amplios ventanales por lo que el intercambio y aireación es mucho mayor.

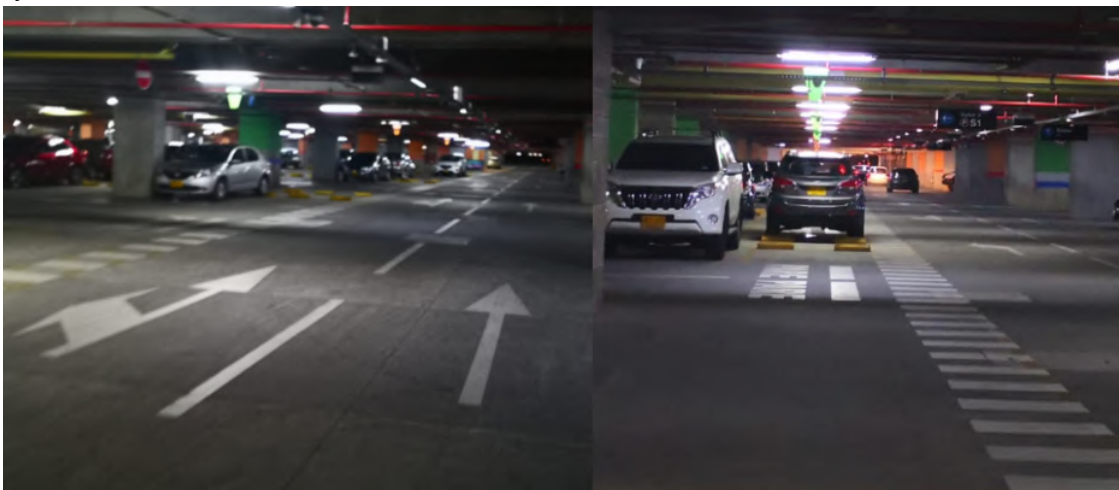


Figura 11. Espacios de parqueo analizados.

Para este diseño se inició con la caracterización y verificación de dos de los sensores usados en el proyecto, que, si bien son sensores de bajo costo, se comportaron de forma fiable en el desarrollo del experimento y se tiene la certeza que, realizando el adecuado manejo, instalación y mantenimiento de estos, son una solución muy económica al momento de realizar sistemas de medición y/o control en espacios cortos o medios de tiempo (Aya, 2018).

### Mediciones de CO

El parqueadero elegido como sitio de estudio inicial del proyecto fue el mas grande de la ciudad, con una capacidad aproximada de 1800 automóviles y 650 motocicletas, como característica principal de este espacio se encuentra que su costado sur- oriental tiene un corredor de 220 metros tanto en el primer sótano como en el segundo sótano abierto por el cual existe un intercambio y una salida de los gases objetos del presente estudio.

El resultado de la implementación del prototipo en este parqueadero arrojó resultados que si bien, en cierta medida se esperaban, no por eso dejan de ser sorprendentes o alarmantes estos pueden verse en la Figura a continuación.

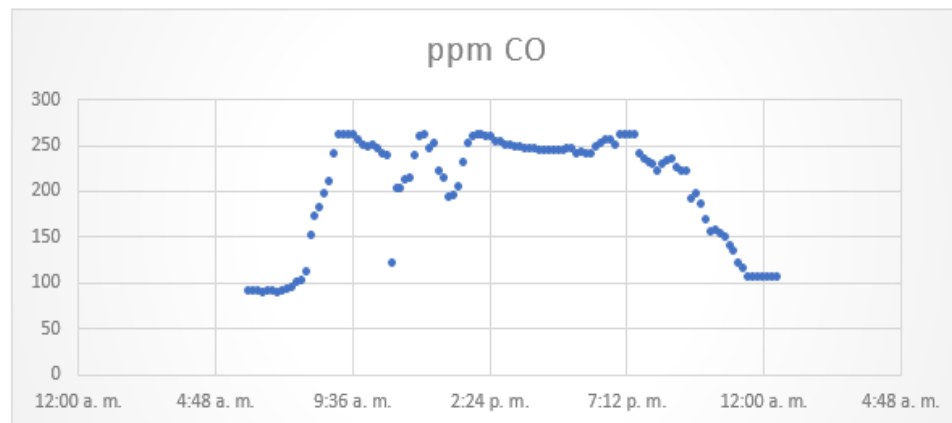


Figura 12. Medición de CO en un parqueadero a subnivel

Para la Organización Mundial de la Salud OMS, los niveles de concentración de CO deben estar por debajo de los 70ppm, y los niveles críticos de medición están por encima de las 120 ppm, ya que exposiciones prolongadas podrían generar dolores de cabeza, fatiga, respiración irregular, náusea y mareo, y en caso de que los niveles sean altos puede causar espacios de inconciencias, desmayos, accidentes cerebrovasculares (OECD, 2001).

Es de resaltar que el personal de vigilancia es uno de los mas expuestos al trabajo en estos puntos ya que tienen turnos que pueden variar entre 8 y 12 horas en estos espacios por los que dar una solución a estos casos debe ser prioritario para el centro comercial.

Se genera entonces una segunda modificación del sistema de medición, ya que en su primera fase solo permitía realizar la medición de las variables, pero no era posible tomar decisiones o alertar sobre picos de niveles altos.

El grupo de investigadores entonces tomo la decisión de mejorar el equipo y la solución fue realizar un cambio tecnológico para que la información de salida no solo se generara en una SD card, sino también usando herramienta IoT libres, se alojara en una aplicación móvil, y una pagina web simple usando Google sites.

## ***Discusión y Conclusiones***

Se encontró una imprecisión relativamente alta de los sensores de bajo costo utilizados en la medición de los niveles CO, sin embargo, por los rangos de medición del proyecto no fueron un factor que ejerciera considerables errores en la medición, además que es una fuente para el conocimiento del tema ya que no deben ser usados en espacios al aire libre, pero para espacios cerrados donde las concentraciones son mayores son una alternativa económica y fiable.

Los tiempos de mantenimiento de estos elementos son de gran importancia y su verificación de calibración en laboratorio ya que se ensucian con mucha frecuencia por el tipo de lugares y las altas concentraciones de humo de donde se encuentran, se recomienda realizar para estos mismos tipos de elementos limpiezas semanales y revisiones de calibración mensuales, realizando el cambio del sensor si se encuentran errores en las mediciones ya que por su costo no permite realizar modificaciones en el circuito de ajuste.

El uso de herramientas web libres para la implementación de internet de las cosas IoT, es de gran aporte no solo en el desarrollo de proyectos de investigación a muy bajo costo, sino también en la socialización de los resultados a la comunidad impactada y en la búsqueda de soluciones a los problemas, ya que estando esta información abierta al publico se pueden tomar decisiones de forma rápida y se pueden también establecer ideas y criterios de solución.

Los niveles PM 2,5 medidos por el equipo diseñado fueron alarmantemente altos en las zonas objeto de la investigación se encontró que aun incluso en el parqueadero que tiene los espacios de mayor aireación ya que una tercera parte del total de sus paredes son ventanales que permiten la aireación natural y esto disminuye considerablemente la carga en

material particulado. Para este caso particular se encontró que la zona de parqueo de las motocicletas corresponde al de mayor exposición al material particulado.

Establecer recomendaciones en esta etapa del proceso no ha sido fácil, sin embargo, se ha encontrado una voluntad por parte de los operadores, buscando en un inicio generar estrategias para el uso de tapabocas con filtros, al igual que disminuir los tiempos de exposición de los trabajadores.

En lo relacionado con la calibración y de los equipos se utilizó la comparación entre los datos presentados por el fabricante y los obtenidos en pruebas de laboratorio con los sensores y equipos propios del proyecto, para el análisis de esta información se utilizó el método de comparación basado en la tolerancia entregada por el fabricante para el sensor o equipo específico, en el caso puntual del proyecto se asegura un error en la medición menor al 5%, teniendo en cuenta que para estos sensores los errores esperados por el fabricante son también del mismo valor se establece que se está dentro del rango de tolerancia. Igualmente es de aclarar que este rango de error ocurre para valores por encima de los 100 ppm y que para valores superiores se encontró que el error disminuye considerablemente, teniendo en cuenta que el mayor porcentaje de las mediciones están muy por encima de estos valores de avala y recomienda el uso de estos elementos.

## ***Referencias***

- Aya, A. A. R., Luna, J. A. F., & García, J. A. C. (2018). Análisis del Potencial Energético Solar Basado en Mediciones in Situ en el Municipio de Acacias-Meta. KnE Engineering, 690-700.*
- CISCO. (24 de noviembre de 2017). Internet de las Cosas. Obtenido de CISCO: [https://www.cisco.com/c/es\\_co/solutions/internet-of-things/overview.html](https://www.cisco.com/c/es_co/solutions/internet-of-things/overview.html)*
- Encio, CAB., Garcia, JAC., Cifuentes, J. (2018, November). Influence of man on the meteorological conditions of the CORONCORO wetlands located in the city of Villavicencio using multiparameter data logger and IoT technology. In 2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI) (pp. 1-5). IEEE.*
- Grisales Soto, D., Henao Gutiérrez, J. J., Carvajal Orejuela, J. D., Cruz Bermúdez, C. D., & Aldana Otálora, P. A. (2018). Diseño de un parqueadero subterráneo en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana Cali.*

- Henao, S. A. F., Mosquera, J. D., & Mosquera, J. C. (2010). Análisis de emisiones de CO2 para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas. Scientia et technica, 2(45).*
- IAC. (24 de Julio de 2017). Ingeniería Asistida por Computador. Obtenido de ¿Que es el IoT?: <http://www.iac.com.co/que-es-iot/>*
- OECD (2001): OECD Environmental Outlook, OECD, Paris, disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/51/6/2088589.pdf>*
- Serrano Stampa, J. (2016). Análisis y cuantificación del carbono almacenado en los parques y jardines de la ciudad de Valladolid.*
- Tata Center Air Quality. (20 de agosto de 2018). Hawai'i Vog Network. Obtenido de Tata Center Air Quality: <https://tatacenter-airquality.mit.edu/hawaii-vog>*
- Tata Center Air Quality. (25 de agosto de 2018). Tata Center Air Quality. Obtenido de <https://tatacenter-airquality.mit.edu/about>*

# 5

## ***Estudio preliminar de la actividad degradadora de hidrocarburos mediante hongos aislados de petróleo crudo adsorbido en fibras vegetales***

### ***Preliminary study of the hydrocarbon degrading activity by fungi isolated from crude oil adsorbed on vegetable fibers***

*Laura Chaparro-Giraldo<sup>1</sup>, Pamela Zorro<sup>2</sup>, Sandra Campos-Alba<sup>3</sup>*

#### ***Resumen***

El petróleo y sus derivados causan diferentes problemáticas ambientales, desde su extracción y transporte que derivan en la remoción de cobertura vegetal, desplazamiento de hábitats naturales y contaminación por derrames; hasta su refinación para ser usado como materia prima en la elaboración de otros productos, lo que causa gases contaminantes, subproductos tóxicos y acumulación de residuos de difícil degradación, como los plásticos. Los tratamientos físico-químicos convencionales para la remediación del suelo contaminado con hidrocarburos pueden ser peligrosos para el medio ambiente porque afectan la biodiversidad del suelo, además son costosos y limitados para lugares de difícil acceso;

---

<sup>1</sup> *Ingeniera Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, laurab.chg@gmail.com*

<sup>2</sup> *M. Sc. Bioquímica, docente investigador Facultad de Ingeniería, Universidad Libre sede Bosque Popular, patriciap.zorrom@unilibre.edu.co*

<sup>3</sup> *M. Sc. Microbiología, instructor Servicio Nacional de Aprendizaje Centro de Desarrollo Agroindustrial, Turístico y Tecnológico del Guaviare, smcampos@sena.edu.co*



mientras que la remediación de tipo biológica suele ser una alternativa más económica, menos contaminante y laboriosa, que por la diversidad en los organismos biológicos que actúan, tiene la capacidad de desempeñar procesos de biorremediación en ambientes con características y contaminantes muy diferentes, dando como resultado una efectividad en la degradación de los contaminantes y menor cantidad de subproductos dañinos para el ambiente. Aunque los organismos más usados en esta técnica de remediación son las bacterias; los hongos ofrecen menor proliferación y mayor estabilidad genética. En esta investigación se estudió la capacidad de degradación de petróleo a partir de aislamientos fúngicos obtenidos de muestras de crudo adsorbidas en bagazo de caña y *Luffa cylindrica*. Además, se probó si estos hongos podían aprovechar otros materiales derivados del petróleo de difícil degradación, como el poliestireno expandido, estireno-butadieno, polietileno, polipropileno, poliuretano y poliamidas. Para esto, se sembraron muestras de fibras vegetales contaminadas con crudo y fibras libres de crudo, posteriormente se observó el crecimiento de especies fúngicas, se aislaron y se clasificaron macro y microscópicamente, a continuación se escogió seis aislamientos para realizar pruebas preliminares de degradación en un medio mínimo de sales con porcentajes de petróleo de 0%, 1%, 2%, 5%, 10% y 15%, como única fuente de carbono. De estas pruebas se obtuvo una mejor capacidad de adaptación de dos aislamientos del género *Aspergillus*, seguidos por uno del género *Mucor*, al obtener un mayor crecimiento micelar cuando se encontraban expuestos al 15% de crudo. Con los dos aislamientos del género *Aspergillus* se construyeron curvas de crecimiento en las que se encontró un comportamiento diaúxico, típico de los organismos cuando crecen en matrices complejas. Por último, se hicieron pruebas de degradación en materiales derivados del petróleo como icopor, neumáticos, pañal, nylon y espuma, con los tres aislamientos fúngicos que mejores resultados mostraron en las pruebas preliminares. Los resultados fueron validados con métodos estadísticos como el ANOVA y t de student. En este trabajo se encontraron siete aislamientos pertenecientes a cuatro géneros diferentes capaces de crecer en las matrices contaminadas con crudo, dos de estos pertenecientes al género *Aspergillus*, con una importante capacidad de degradación de petróleo, y uno al género *Mucor*, estos tres aislamientos también fueron capaces de degradar nylon; mostrando en cada prueba la capacidad de adaptación al medio contaminado para usarlo como sustrato y fuente de carbono para su desarrollo, además de su potencial uso como organismos biorremediadores.

**Palabras clave:** biodegradación de hidrocarburos, *Aspergillus sp.*, *Mucor sp.*, crecimiento diaúxico, nylon.

### ***Abstract***

*Crude and its derivatives cause different environmental problems, from their extraction and transportation - resulting in removal of vegetation cover, displacement of*

*natural habitats and spill pollution - to its refining for use as a raw material in the elaboration of other products, which causes polluting gases, toxic sub-products and accumulation of residues of difficult degradation, such as plastics. Conventional physical-chemical treatments for the remediation of soil contaminated with hydrocarbons can be dangerous for the environment, because these affect the soil biodiversity and are expensive, and limited for places of difficult access. Bioremediation is usually cheaper, less polluting and laborious alternative, that due to the diversity in the biological organisms that act, has the ability to perform bioremediation processes in environments with very different characteristics and contaminants, resulting in an effectiveness in the degradation of the contaminants and less amount of by-products harmful to the environment. Although the most commonly used organisms for this technique are bacteria, fungi offer less proliferation and greater genetic stability. In this research, was studied the crude degradation capacity from fungi, which were isolated from crude oil adsorbed on cane bagasse and *Luffa cylindric*. In addition, was tested if they could use, as a source of carbon, some petroleum-derived materials like expanded polystyrene, styrene-butadiene, polyethylene, polypropylene, polyurethane and polyamide, which are massively, used polymers. To do this, samples of vegetable fibers contaminated with crude and crude-free fibers were sown, later growth of fungal species was observed, they were isolated and classified macro and microscopically, then six isolates were chosen to do preliminary degradation test in a medium minimum of salts supplemented with crude at 0%, 1%, 2%, 5%, 10% and 15% w/v, as the only source of carbon. From these tests, better adaptability was obtained from two isolates of the *Aspergillus* genre, followed by one of the *Mucor* genre, by obtaining greater micellar growth when exposed at 15% w/v crude. With both isolates of the *Aspergillus* genre, it was built growth curves, in which was found a diauxic behavior; this is typical of organisms growing in complex matrices. Finally, degradation test were done in petroleum-derived materials such as expanded polystyrene, tires, diaper, nylon and foam, with the three fungal isolations that showed the best results in the preliminary tests. The results were validated with statistical methods such as ANOVA and t of student. In this work, it was found seven isolates belonging to four different genera capable of growing in matrices contaminated with crude oil, two of these belonging to the genre *Aspergillus*, with an important capacity for crude degradation, and one to the genre *Mucor*. These three isolations also were able to degrade nylon; showing in each case the ability to adapt to the contaminated medium to use it as a substrate and carbon source for its development and their potential to be used as bioremediatory organisms.*

**Keywords:** *hydrocarbons biodegradation, Aspergillus sp., Mucor sp., diauxic growing, nylon*

## ***Introducción***

El petróleo ha sido de gran importancia para el crecimiento económico de los países y en general, para el desarrollo de la vida humana. Sin embargo, desde las primeras etapas de explotación hasta su uso para la elaboración de subproductos se generan diversos impactos negativos al ambiente. Dentro de estos, se encuentran los derrames, tan solo en Colombia, se ha superado 11 veces el desastre del Exxon Valdez, en el cual se derramaron más de 37.000 toneladas de crudo (Prabowo & Bae, 2019). En los años siguientes, hubo 102 derrames de crudo, de los cuales 41 afectaron cuerpos hídricos, liberando 12.319,9 barriles a las fuentes hídricas en el año 2018 y 129 derrames, con 63 eventos de afectación a fuentes hídricas y la liberación de 29.723 barriles en el año 2017. Estos derrames afectan a su vez el suelo y la biota circundante (Ecopetrol , 2018).

Los derrames a los diversos ecosistemas pueden ocurrir por fallas en la infraestructura u operacionales, mal embalaje, accidentes y atentados terroristas. En el caso específico de Colombia, la mayoría de estos derrames han ocurrido por atentados terroristas, aumentando en gran medida las cantidades de barriles derramados y con esto, la magnitud de los impactos generados (Ecopetrol , 2018). La contaminación por el crudo genera tanto en los sistemas bióticos, afectación de la flora y la fauna, como en los sistemas abióticos, alteración de las propiedades, características y/o afección de las esferas del ambiente: suelo, aire y agua (Roy, y otros, 2014). Los impactos que los derrames de crudo pueden ocasionar en el ambiente dependen en gran medida de las características propias de la sustancia, del medio en el que se derrama y de las condiciones climáticas y topográficas del terreno (Chukwunonso, Ahmed, Hassan, & Shahul, 2020). Por otro lado, se generan grandes problemáticas debido a la acumulación de residuos derivados del petróleo, los cuales por su composición son denominados de difícil degradación debido a que de forma natural tardan un periodo de tiempo muy largo para alcanzar su descomposición (Lalucat, Cladera, & García, 2015).

Cada uno de estos impactos, las afecciones que causan, además de su tiempo de permanencia en los distintos ecosistemas, han mostrado la imperiosa necesidad de generar alternativas que puedan mitigar los efectos causados por esta sustancia y sus derivados. Por lo anterior, se desarrollaron diversas alternativas de remediación dentro de las cuales se encuentran la remediación física, química, eléctrica, térmica y biológica, cada una con sus respectivas ventajas y desventajas (Li, Li, Song, & Guo, 2018), frente a estas técnicas, es necesario escoger una alternativa que presente la menor afectación posible al ambiente mientras se logra la descomposición de las sustancias contaminantes (Jiménez, 2017), dicha condición se puede encontrar en la remediación de tipo biológica, que a comparación de otras técnicas de remediación es más amigable con el medio ambiente, emplea diversos

organismos co-ayudadores en la degradación, puede realizarse tanto *in situ* como *ex situ*, no requiere costos elevados (Quintella, Mata, & Lima, 2019),

permite la degradación de las sustancias contaminantes hasta compuestos inocuos sin necesidad de inducir agentes químicos o físicos que puedan alterar o producir perjuicios y, que a su vez, generen de forma colateral otras problemáticas residuales por el uso de agentes incompatibles con el ecosistema a remediar (Varjani, 2017) (Jiménez, 2017). Dentro de los hongos conocidos que pueden degradar derivados del petróleo se encuentran *Aspergillus* sp., *Botrytis* sp., *Penicillium* sp., y *Candida* sp., (Varjani, 2017). Además, se ha observado que los géneros *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., son capaces de degradar polietileno; *Monascus* sp., *Agaricus* sp., *Marasmius* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., pueden degradar poliuretano; *Gloeophyllum* sp., puede degradar poliestireno y *Fusarium* sp., *Phanerochaete* sp., *Bjerkandera* sp., son capaces de degradar poliamidas (Sánchez, 2019) (Tomasini & León-Santiesteban, 2015).

Esta investigación, se desarrolló a partir de hongos que crecieron accidentalmente en unos recipientes que contenían bagazo de caña y *Luffa cylindrica*, en las que se había adsorbido petróleo crudo en un estudio en el que fueron usadas como materiales adsorbentes biodegradables alternativos. La observación de crecimiento de estos organismos en estas muestras con un alto contenido de petróleo crudo, hizo que surgiera la pregunta de si podría estar relacionado con la capacidad que tenían estos hongos de adaptarse y aprovechar esta sustancia tóxica y recalcitrante que se encontraba en el medio para crecer, o si, por el contrario, el crecimiento observado se había debido a las fibras vegetales presentes en el medio. Por lo anterior, el objetivo de este proyecto fue conocer si los aislamientos fúngicos provenientes de los recipientes contaminados con petróleo crudo podrían crecer en un medio cuya única fuente de carbono fuese petróleo crudo, como prueba de su capacidad para degradarlo y luego probar si esta capacidad se podría extrapolar a algunos de sus derivados de difícil degradación.

## ***Metodología***

Para cumplir el objetivo propuesto y determinar si los aislamientos fúngicos provenientes de las muestras de petróleo adsorbido en bagazo de caña y *Luffa cylindrica* eran capaces de crecer en un medio de cultivo cuya única fuente de carbono era el petróleo crudo, como un acercamiento a su potencial uso como organismos biorremediadores de suelos contaminados con crudo y además, probar si esta capacidad también podía ser usada para la degradación de algunos contaminantes derivados del petróleo, se llevó a cabo la siembra de las muestras fúngicas que crecieron en las fibras contaminadas con crudo y de muestras fúngicas que crecieron en las dos fibras vegetales limpias, es decir, libres de crudo, se empezó

por el aislamiento, purificación y la clasificación morfológica de los hongos obtenidos de las muestras estudiadas, luego se llevaron a cabo pruebas preliminares de degradación con algunos de los hongos aislados en busca de los aislamientos que mejor crecimiento tuvieron en un medio contaminado con crudo, a partir de estos resultados, se escogieron los mejores para estudiar su comportamiento en el petróleo por medio de curvas de crecimiento y finalmente, con estos mismos se hicieron pruebas de degradación de algunos materiales derivados del petróleo. La evaluación de la degradación de los hidrocarburos se llevó a cabo de forma indirecta por medio del crecimiento de los organismos y la disminución en la masa de los materiales probados.

### **Aislamiento y clasificación de los hongos**

A partir de muestras provenientes de un proyecto previo enfocado en encontrar matrices vegetales adecuadas para la adsorción de petróleo, se recolectaron muestras fúngicas de recipientes de almacenamiento, donde se observaba crecimiento de hongos (producción de micelio o esporulación), se sembraron en agar de medios de cultivo Czapeck Dox, extracto de malta (AEM) y papa dextrosa (PDA) y se repicaron periódicamente hasta lograr la purificación de cada aislamiento. De cada cepa purificada se llevó a cabo la caracterización para la identificación de los morfotipos aislados, a través de tinción con azul de lactofenol y la observación bajo el microscopio de estructuras taxonómicas típicas. Una vez identificadas estas estructuras, se compararon con las claves de Domsch y Gams (2007), con el fin de distinguir el género al que pertenecían.

### **Pruebas preliminares de biodegradación**

Para conocer el crecimiento de los hongos debido al uso del crudo como sustrato se dispusieron en tubos falcón 20 ml de Medio Mínimo de Sales (MMS) compuesto por  $K_2HPO_4$  (0,5 g),  $KH_2PO_4$  (0,04 g), NaCl (0,1 g),  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  (0,002 g),  $(NH_4)_2SO_4$  (0,2 g),  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (0,02 g),  $FeSO_4$  (0,001 g) (Khan, y otros, 2017), concentraciones en porcentaje (p/v) de petróleo crudo de 15%, 10%, 5%, 2% y 1% y un bocado de 5 mm de cada una de las cepas aisladas y seleccionadas. Además se hizo un blanco de cada hongo en el que solo se añadieron 20 ml de MMS y la cepa seleccionada; y un blanco de crudo en el que se añadieron 20 ml de MMS y los diferentes porcentajes de crudo probados; los blancos se realizaron con el fin de disminuir el valor del crecimiento de las cepas por los nutrientes encontrados en el MMS y así representar en los resultados solamente el crecimiento de los hongos debido al crudo. Todas las pruebas se llevaron a cabo por triplicado y se incubaron por 4 semanas a 25°C y con agitación de 160 rpm. Posteriormente, se filtraron al vacío, se lavaron con pequeñas porciones de diclorometano para retirar los residuos de crudo hasta

conseguir una muestra de hongo limpia y se secaron a 60 °C por 72 horas, pasado este tiempo se pesaron hasta masa constante (Hamzah, Manikan, & Fathiha, 2017). Luego, se analizó el crecimiento de la biomasa seca de los hongos en los diferentes porcentajes de crudo probados.

### **Curvas de crecimiento**

Se seleccionaron las muestras fúngicas que mejores resultados mostraron en las pruebas preliminares de degradación con crudo, para asegurar homogeneidad genética del material biológico, se realizaron cultivos monoespóricos bajo los mismos parámetros establecidos en las pruebas preliminares, con el porcentaje de crudo que mejor resultado mostró y con concentraciones de crudo de 0%; además, se corrieron blancos en los que se incubó el MMS con crudo y sin hongo. Posteriormente, se tomaron 3 tubos cada 7 días por un periodo de 15 semanas para determinar la biomasa ganada por el hongo en este tiempo, como se hizo en las pruebas preliminares, y construir la curva de crecimiento. El bioensayo correspondió a un diseño totalmente al azar con medidas repetidas y con triplicado para cada tiempo y cada morfoespecie probada.

### **Pruebas de biodegradación con materiales derivados del crudo**

Se realizaron pruebas de biodegradación bajo las condiciones de las pruebas preliminares descritas usando crudo; pero esta vez, se usaron cinco materiales derivados del crudo como única fuente de carbono: llanta (estireno – butadieno SBR), icopor (poliestireno expandido), pañal (polietileno y polipropileno), nylon (poliamida) y espuma (poliuretano); con el fin de ampliar la información sobre las sustancias que estos hongos podrían degradar y comparar su potencial en cada una de estas. Los hongos fueron incubados por cuatro semanas en MMS con 3,6 g de llanta; 0,39 g de nylon; 0,5 g de icopor; 0,2 g de espuma y 0,075 g de pañal. Estas pruebas se realizaron cuatro veces por material y se corrieron blancos de los hongos probados.

### **Análisis de datos**

Con la ayuda del lenguaje R (paquetes stats, car, graphics, agricolae), se realizaron análisis de varianza para un modelo totalmente aleatorio con medidas repetidas, previa confirmación de supuestos de normalidad y varianza constante. En el caso del cumplimiento de los supuestos, se procedió a hacer ANOVA paramétrico o prueba de Kruskal-Wallis en caso de no cumplimiento de los parámetros. Las pruebas de parámetros se evaluaron contra un alfa de 0,20 y las de comparación de medias contra un alfa de 0,05. En el caso de detectar

diferencias significativas, se corrieron pruebas de comparación múltiple de LSD con un alfa de 0,05.

## ***Resultados o hallazgos***

### **Aislamiento y clasificación de los hongos**

Las muestras de hongos que crecieron en los recipientes que contenían crudo absorbido en las fibras vegetales, se muestran en la figura 1; las cuales fueron sembradas hasta lograr su purificación.

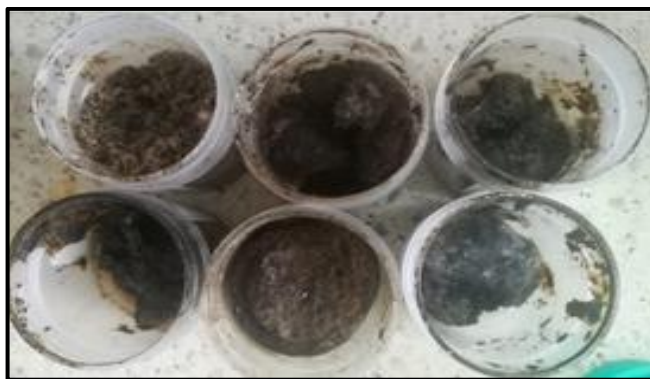


Figura 1. Crecimiento fúngico en los recipientes con crudo adsorbido en fibras vegetales.

En total se obtuvieron dieciocho aislamientos fúngicos a partir de las siguientes matrices: *Luffa cylindrica* con crudo adsorbido (L), bagazo de caña con crudo adsorbido (B), bagazo sin crudo (Bs), Bagazo hidrolizado sin crudo (BH) y *Luffa* sin crudo (Ls). Las cepas aisladas se clasificaron en ocho géneros diferentes: *Acremonium* sp., *Aspergillus* sp., *Botrytis* sp., *Chaetomium* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Phialophora* sp., y *Rhodotorula* sp. La clasificación taxonómica en géneros se muestra en la tabla 1 y fue realizada teniendo en cuenta la descripción macro y microscópica hecha por Bonifaz (2012) y Cepero, Restrepo, Franco, Cárdenas & Vargas (2012).

Tabla 1. Descripción morfológica y clasificación taxonómica de los aislamientos.

<b>Nombre asignado</b>	<b>Descripción taxonómica</b>	<b>Género al que pertenece</b>
<b>BA</b>		
<b>LVA</b>	<i>Color blanco, amarillo, naranja o verde, textura algodonosa o aterciopelada, crecimiento lento a moderado, micelio fino, hialino y septado, conidióforos delgados y filálide en forma de punzón.</i>	<i>Acremonium sp.</i>
<b>LVP</b>		
<b>LsN</b>		
<b>LsVA</b>		
<b>LsVd</b>		
<b>BsBH</b>		
<b>LC</b>	<i>Color blanco, amarillo y verde, textura plana, polvosa, aterciopelada, seca o granulosa, con una célula pie de base, hifas septadas, estípites que termina en vesícula y conidios unicelulares.</i>	<i>Aspergillus sp.</i>
<b>LV</b>		
<b>LsVb</b>		
<b>LM</b>	<i>Color marrón, crecimiento rápido, micelio oscuro, septado y ancho, conidios de forma globosa, denticulos cortos en arreglo botrioso.</i>	<i>Botrytis sp.</i>
<b>LsP</b>	<i>Forma globosa, tricomas flexuosos, onduladas o simples, ascosporas pigmentadas y con paredes lisas, hifas rizoidales.</i>	<i>Chaetomium sp.</i>
<b>LsC</b>	<i>Color blanco-grisáceo, textura vellosa-algodonosa y seca, tamaño ilimitado, micelio cenocítico y hialino, esporangiosporas café, redondas y de pared lisa.</i>	<i>Mucor sp.</i>
<b>LsV</b>		
<b>LsVesp</b>	<i>Color verde, textura plana y polvorosa, micelio macrosifonado, septado y hialino, conidióforo penicilado, microconidios redondos.</i>	<i>Penicillium sp.</i>
<b>LsVr</b>		
<b>LsCo</b>	<i>Color marrón oscuro, textura aterciopelada, crecimiento lento, micelio septado, filálide en forma de botella o cilindro, conidios redondos.</i>	<i>Phialophora sp.</i>
<b>LsL</b>	<i>Color naranja, textura cremosa y lisa, crecimiento rápido, células ovoidales.</i>	<i>Rhodotorula sp.</i>

En la tabla 2 se muestra de forma resumida los medios en los que crecieron los hongos aislados y su procedencia, según la fibra vegetal de la que fueron aislados.



Tabla 2. Distribución de los hongos aislados según el medio de cultivo y su procedencia

Medio de cultivo	Bagazo sin crudo (Bs)	Bagazo hidrolizado (BH)	Bagazo con crudo (B)	Luffa sin crudo (Ls)	Luffa con crudo (L)
<i>Czapeck</i>		<i>Botrytis sp.</i>	<i>Acremonium sp.</i>		<i>Acremonium sp.</i> <i>Aspergillus sp.</i>
<i>PDA</i>	<i>Aspergillus sp.</i>			<i>Acremonium sp.</i> <i>Aspergillus sp.</i> <i>Chaetomium sp.</i> <i>Penicillium sp.</i> <i>Phialophora sp.</i> <i>Rhodotorula sp.</i>	<i>Acremonium sp.</i>
<i>AEM</i>				<i>Acremonium sp.</i> <i>Mucor sp.</i>	

### Pruebas preliminares de biodegradación

Se seleccionaron seis aislamientos de fácil cultivo, dentro de los dieciocho obtenidos, estos pertenecían a los géneros *Aspergillus*, *Mucor*, *Chaetomium* y *Botrytis*. Los resultados obtenidos para estos aislamientos en las pruebas preliminares se muestran en la figura 2.

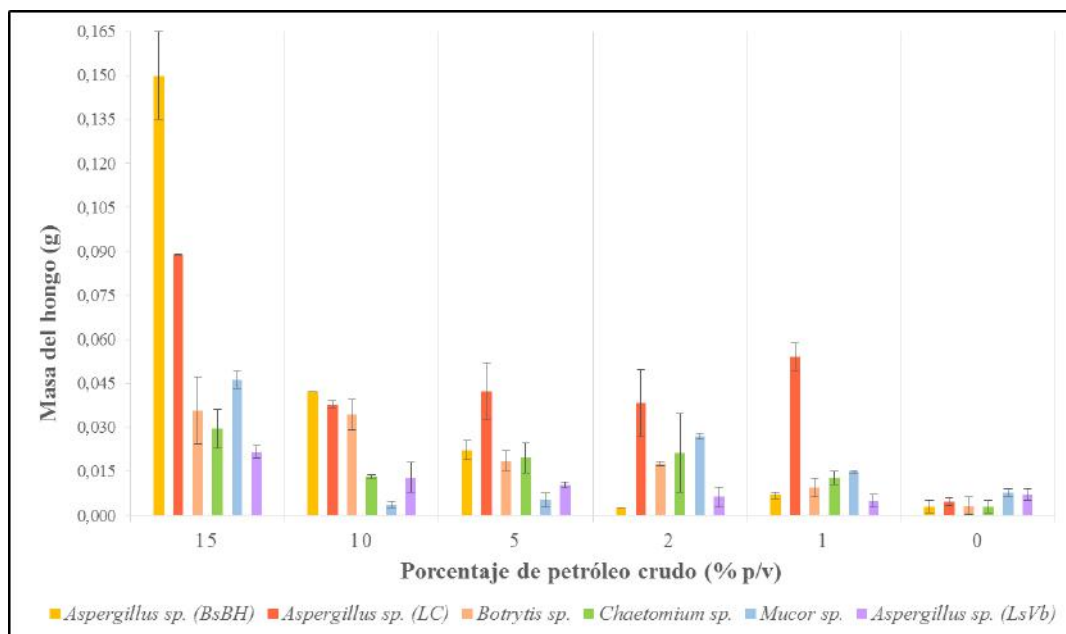


Figura 2. Resultados de las pruebas preliminares de degradación de crudo. Las barras mostradas en cada punto son barras de dispersión

## Curvas de crecimiento

Las curvas de crecimiento obtenidas se muestran en la figura 3, estas se hicieron con los aislamientos BsBH y LC del género *Aspergillus* sp., y con una concentración de crudo del 15% p/v, ya que como se observa en la figura 2, estos hongos son los que exhiben el mejor crecimiento.

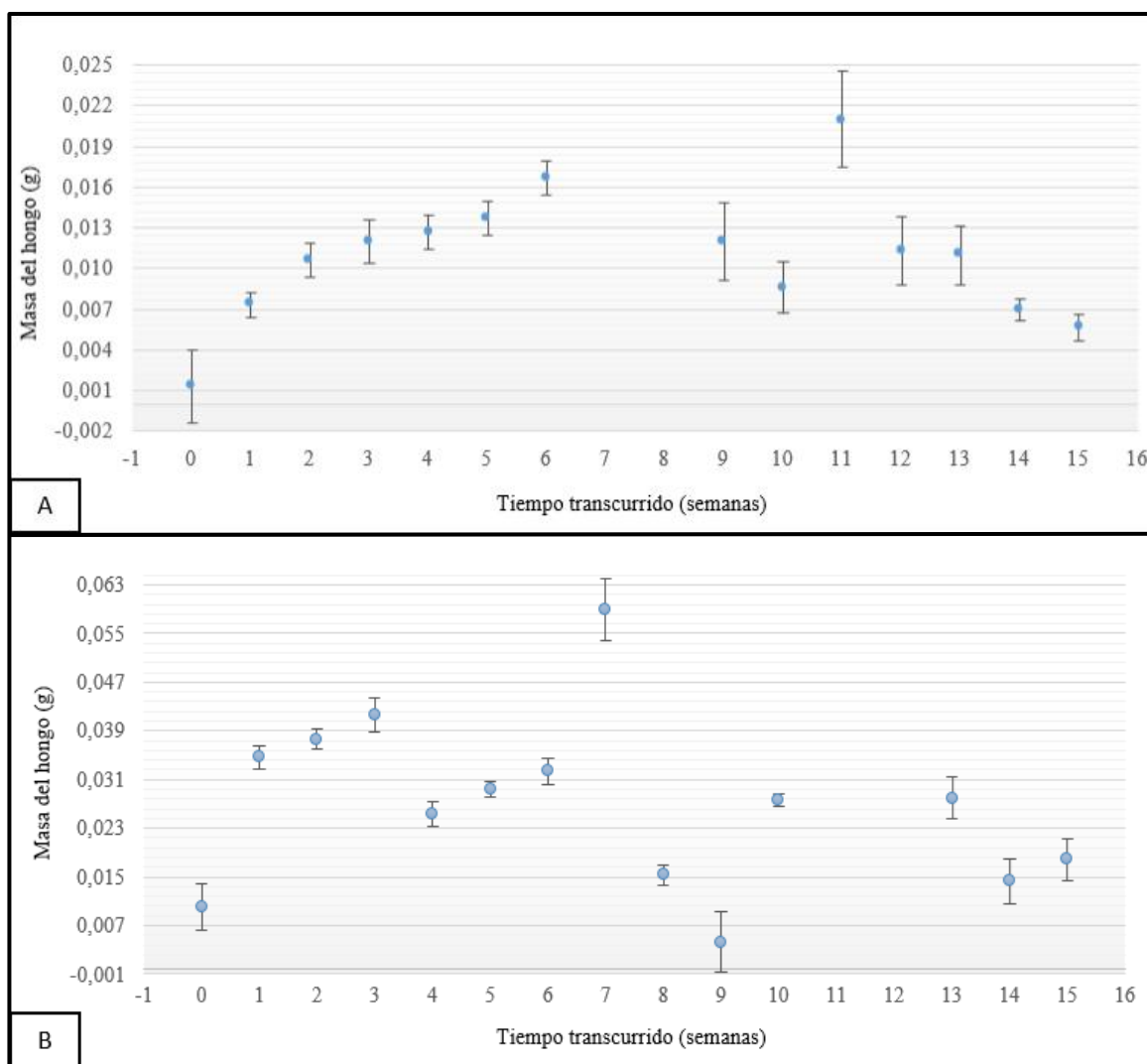


Figura 3. Curvas de crecimiento de los aislamientos LC y BsBH al 15% p/v de crudo. La figura A muestra la curva de crecimiento obtenida para el aislamiento LC y la figura B para el aislamiento BsBH. Las barras mostradas en cada punto son barras de dispersión.

## Pruebas de biodegradación con materiales derivados del crudo

Con el fin de conocer la actividad degradadora en materiales que constituyen residuos de difícil degradación por parte de los aislamientos que mejores resultados presentaron; se seleccionaron los dos aislamientos pertenecientes al género *Aspergillus* sp., (BsBH y LC) y el aislamiento LsC, del género *Mucor* sp. En la figura 4 se muestran los resultados de los hongos empleados en cada uno de los materiales probados. En la figura 5 se muestran algunos de los materiales probados después de los experimentos.

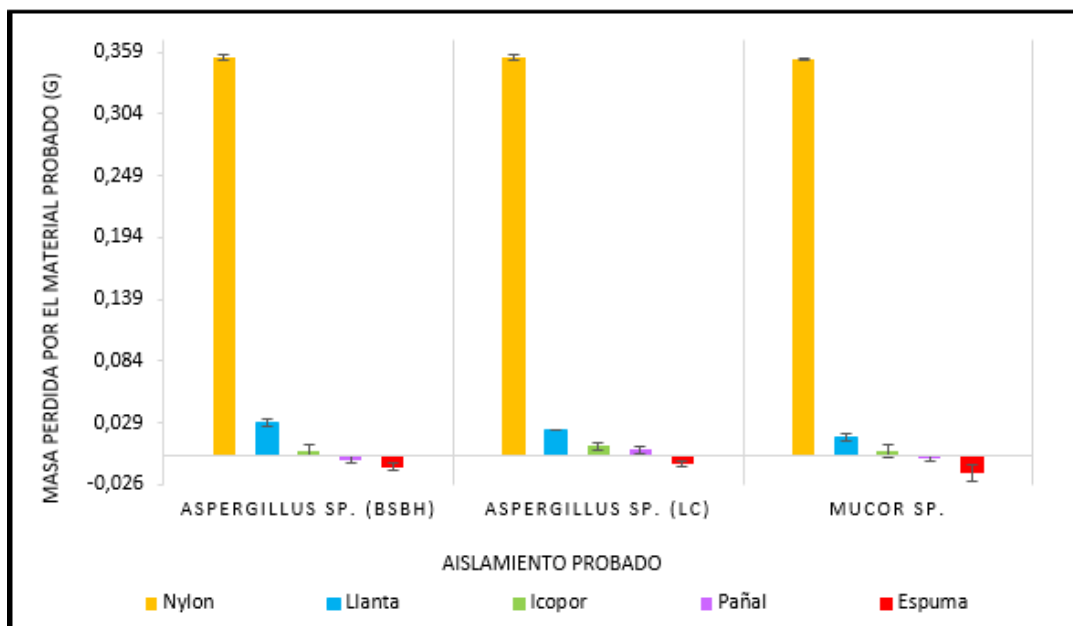


Figura 4. Resultados de las pruebas de degradación con materiales hidrocarbonados. Las barras mostradas en cada punto son barras de dispersión



Figura 5. Resultados de las matrices usadas tras las pruebas de degradación con otros materiales hidrocarbonados

## ***Discusión***

### **Aislamiento y clasificación de los hongos**

Dentro de la siembra realizada, se usaron tres agares diferentes, Czapeck, PDA y AEM, con el fin de aumentar las posibilidades de crecimiento y desarrollo de los hongos. Dentro de los aislamientos, el mayor número de cepas y géneros se encontraron en la matriz de Luffa sola y en el medio PDA, como se puede observar en las tablas 1 y 2. Referente a las matrices contaminadas solo crecieron algunas cepas de los géneros *Acremonium* sp., y *Aspergillus* sp. El PDA, el medio en el que mayor número de cepas crecieron, es un medio no selectivo debido a sus componentes, en el que gran variedad de hongos pueden crecer (Ortiz, Donoso, Amón, Pacheco, & Herrera, 2018), es por esto que la mayor cantidad de hongos se desarrolló en este medio. Para el caso del Czapeck, un medio selectivo debido a que dentro de sus compuestos se encuentra el nitrógeno de tipo inorgánico, permite el crecimiento de hongos que tenga la capacidad de transformar este nitrógeno a tipo orgánico, aprovecharlo y consumirlo como es el caso de algunas especies de *Aspergillus* (Gil, 2019). Finalmente, AEM es un medio en el que los hongos clasificados como moho tienen la capacidad de crecer de forma efectiva (Condalab, 2019), lo que explica porque solo los aislamientos *Acremonium* sp., y *Mucor* sp., pudieron desarrollarse en este.

La efectividad en el crecimiento de los hongos en los diversos medios, se debe a los constituyentes que los componen, su capacidad de usar estos nutrientes, las necesidades nutricionales que tienen y de otros factores como el pH; debido a estas características ciertas especies y/o géneros serían capaces de crecer en algún medio de cultivo específico (Bonifaz, 2012).

### **Pruebas preliminares de biodegradación**

Como se mencionó en la metodología, se empleó un blanco de las cepas para conocer el crecimiento de cada aislamiento debido a los nutrientes contenidos en el MMS. El resultado como se observó en la figura 2, muestra un bajo crecimiento por parte de estos aislamientos alcanzando un valor máximo de 0,008 g. Sin embargo, para el caso de las pruebas en las que sí se añadió un porcentaje de crudo se observa un crecimiento significativo comparado con el blanco, en el que en el caso de la prueba con 1% p/v de crudo, la mayor masa ganada por uno de los aislamientos fue de 0,054 g y para la prueba de 15% p/v de crudo, la masa ganada por un aislamiento ascendió a 0,150 g. Lo que se puede observar, es que en los diferentes porcentajes hubo una ganancia de masa considerable con respecto a la que ocurrió en los blancos. Esta diferencia del crecimiento de las cepas cuando están en contacto

con el crudo y cuando están sólo en contacto con el MMS, muestra que el crecimiento de los hongos muy probablemente se debió al uso de los compuestos presentes en el crudo, usándolo principalmente como fuente de carbono, consumiéndolo y, por ende, degradándolo. Por otra parte, también se puede decir que entre mayor cantidad de sustrato y nutrientes posea el medio, los hongos tienden a crecer aún más, mostrando la importancia que tiene la disponibilidad de los nutrientes.

Dentro de los seis aislamientos usados se pusieron a prueba tres cepas distintas, tanto macroscópica como microscópicamente, todas pertenecientes al género *Aspergillus* sp., se evidenció que en varios de los porcentajes probados la ganancia de masa era notablemente diferente entre estas, por lo que se puede decir que probablemente las bacterias enzimáticas que cada una de las tres cepas puede producir, y con estas el sustrato que pueden degradar de forma efectiva puede variar de forma considerable entre especies o taxa de un mismo género. El aislamiento denominado como BsBH, fue el aislamiento que mayor crecimiento presentó en los porcentajes más altos probados, 15% y 10% p/v. Sin embargo, en los porcentajes bajos de 2% y 1% p/v, su ganancia de masa disminuyó considerablemente. Esto muestra que esta cepa tiene la necesidad de consumir grandes cantidades de nutrientes para que pueda desarrollarse de forma óptima. El aislamiento LC mostró un buen crecimiento en cada uno de los porcentajes probados, mostrando el mayor crecimiento dentro de los aislamientos, sólo superado por el aislamiento BsBH en los porcentajes 15% y 10% p/v. El aislamiento perteneciente al género *Mucor* sp., fue la cepa que mejor resultado tuvo en tres de las cinco pruebas con los diferentes porcentajes. Seguido de estos, se encuentran los resultados obtenidos para *Chaetomium* sp., *Botrytis* sp., y el aislamiento LsVb del género *Aspergillus* sp. Por lo anterior, se evidenció que los mejores resultados en las pruebas preliminares de degradación fueron BsBH y LC pertenecientes al género *Aspergillus* sp., y LsC perteneciente al género *Mucor* sp.

De la tabla 2, se puede conocer la distribución en la que estos aislamientos probados, crecieron en las diferentes matrices empleadas y su relación con el crecimiento e indirectamente, con la descomposición del crudo. Lo que se observa es que BsBH perteneciente al género *Aspergillus* sp., creció a partir de una matriz no contaminada; sin embargo, mostró el mejor crecimiento en porcentajes altos de crudo, por lo que se observó la capacidad que tiene de degradar crudo. Referente al aislamiento LC perteneciente también al género *Aspergillus* sp., el mejor resultado en todos los porcentajes solo superado por BsBH al 15% y 10% p/v de crudo, creció en una matriz con crudo y se pudo observar en cada porcentaje su capacidad de crecer y degradar esta sustancia. Referente a los demás aislamientos probados, todos crecieron en una matriz no contaminada y dentro de los

resultados en las pruebas de degradación no mostraron el mejor desempeño, esto podría explicar la razón por la cual no pudieron crecer en las matrices contaminadas.

La literatura encontrada, mostró que todos los géneros hallados son encontrados comúnmente en residuos vegetales, incluyendo la *Luffa cylindrica* y el bagazo de caña; pero también confirman, la capacidad de degradación de petróleo crudo con diferentes porcentajes de efectividad para los géneros *Aspergillus*, *Mucor* y *Botrytis* concordando los resultados obtenidos en las pruebas con el potencial reportado por cepas de estos géneros (Ezekoye, Chikere, & Okpokwasili, 2018), (Trujillo & Ramírez, 2012), (Hernández, y otros, 2003). Por último, esta revisión bibliográfica mostró la presencia de cepas fúngicas que se encuentran de forma nativa en sustancias contaminantes como es el caso de algunas especies del género *Aspergillus* en el crudo (Ezekoye, Chikere, & Okpokwasili, 2018).

### **Curvas de crecimiento**

Las curvas de crecimiento se evaluaron de acuerdo con las distintas fases típicas de los organismos según lo comentado por Hernández (2003). Estos dos aislamientos pertenecientes a un mismo género, parecen tener una dinámica similar presentada en la mayoría de los intervalos, en los que se encuentran fases logarítmicas seguidas de fases estacionarias y de decrecimiento o muerte. Su comportamiento en la matriz de crudo al 15% p/v, comenzó con una fase logarítmica en la que los aislamientos probablemente aprovecharon algunos hidrocarburos de cadena corta disponibles en el petróleo. Posteriormente, una fase estacionaria en la que se detiene el crecimiento debido a una disminución del componente específico a degradar con las bacterias enzimáticas presentes en el momento o, a la presencia de sustancias tóxicas que detuvieron momentáneamente su crecimiento, mientras que los hongos se adaptaban a los compuestos presentes en el crudo con una composición más compleja. Finalmente, una fase de muerte en la que los compuestos susceptibles a ser usados como nutrientes por los hongos disminuyeron hasta agotarse, impidiendo que se pudieran seguir desarrollando en el medio y llevando a la reducción drástica de la población fúngica existente.

La variación y presencia de una o más de estas etapas, muestra en el caso de las fases logarítmicas, el aprovechamiento del sustrato existente para el consumo de la población fúngica existente. Para el caso de las fases estacionarias, la dificultad de los hongos para estabilizarse en este tipo de sustancias, mientras empezaban a adaptarse a otro compuesto presente en el crudo susceptible a la degradación, y para el caso de las fases de decrecimiento o muerte, la falta o baja cantidad de nutrientes posibles para su consumo dentro de las cadenas carbonadas que eran capaces de descomponer dentro del contaminante. En cada curva de

crecimiento, se observan varias fases logarítmicas (dos para LC y tres para BsBH), conocida como diauxias y representadas en un crecimiento por pulsos que puede mostrar el aprovechamiento de más de una sustancia principal que compone el crudo, las cuales fueron empleadas en diferentes momentos según su disponibilidad al encontrarse en una matriz tan compleja como el petróleo y con esto, para su empleo como fuente de carbono, degradación y disminución del contaminante.

Con el fin de comprobar la validez de las fases comportamentales de los aislamientos, se realizó la prueba estadística ANOVA, confirmando las diferencias significativas dentro de las quince semanas evaluadas ( $F > F_{\text{crítico}}$ ). Para definir las fases en la que se encontraban los aislamientos, se empleó la prueba T para dos muestras suponiendo varianzas iguales con  $\alpha=0,05$  mostrando diferencias significativas entre las semanas.

### **Pruebas de biodegradación con materiales derivados del crudo**

Con los aislamientos BsBH y LC del género *Aspergillus* sp., y LsC del género *Mucor* sp., los cuales tuvieron los mejores resultados en las pruebas preliminares, se hicieron ensayos de degradación con otros materiales derivados del petróleo crudo denominados de difícil degradación. En la figura 4 se evidencian los resultados, los cuales muestran dos dinámicas, primero la pérdida de masa en tres materiales: el nylon, el icopor y la llanta, en el que significativamente se ve la pérdida de masa del nylon, esto no solo se observa en la masa perdida por el material sino también en las diferencias físicas presentadas por este. En la figura 5, se encuentra una de estas diferencias; pues el nylon utilizado era en un principio translúcido y luego de las cuatro semanas de la prueba, el color se tornó amarillo opaco, por otra parte, se observó la disminución en el diámetro de este material. La otra dinámica fue una aparente ganancia de masa por parte de la espuma y el pañal; esto puede explicarse por una baja o nula degradación del material por parte de los aislamientos probados, por la formación de biopelículas en la superficie de este y por la presencia de aditivos químicos que pueden disminuir su capacidad de degradación.

Para los tres aislamientos probados en estos materiales derivados de petróleo, que además fueron los tres aislamientos con mejores resultados en las pruebas de degradación de petróleo crudo, se encontró que tienen la capacidad de degradar hidrocarburos como el gasóleo y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (Marchut-Mikolajczyk, Kwapisz, Wieczorek, & Antczak, 2015), (Kumar V., 2016). Referente a los hidrocarburos empleados en esta prueba, existen registros donde se muestra la importancia de las enzimas producidas por algunas cepas de los géneros *Aspergillus* y *Mucor*, para la degradación de polímeros como las poliamidas, polietileno y poliuretano (Douka, Vouyiouka, Papaspyridi,

& Papaspyrides, 2018) (Kumar & Raut, 2015) (Das, Pandey, Mohanty, & Kumar, 2017). En esta prueba se confirmó la posibilidad de degradación de los materiales confrontando la literatura consultada con los resultados obtenidos para cada una de las matrices probadas, cada una con su respectiva efectividad.

El polímero que mayor susceptibilidad tuvo a ser atacado por las cepas probadas, fue el nylon, cuyo grupo funcional principal son las amida (R-C-O=N-H) y dentro de los radicales que componen el polímero, en un porcentaje aproximado del 85% son de tipo alifáticos, cicloalifáticos y aromáticos (Carrion, 2014). Aunque la literatura consultada con respecto a la degradación de nylon es muy poca, se conoce que los hongos empiezan a romper los enlaces que se encuentran en los extremos de su estructura y los radicales presentes en esta (Tachibana, Hashimoto, & Okawa, 2010). Con el fin de conocer los mecanismos que emplean los hongos para degradar alguno de los compuestos que se encuentran dentro de la estructura química de las sustancias probadas, y así comprender las vías utilizadas por los hongos en procesos de biorremediación, se realizó una búsqueda bibliográfica en la que se encontraron dos vías de degradación; la hidroxilación en la cual a través de la enzima monooxigenasa pueden degradar hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) presentes en el crudo y por lo tanto en sus derivados (Kumar, Tripathi, Ranjan, & Kumar, 2020); y la vía oxidativa en la que a través de la enzima manganeso-peroxidasa pueden degradar el nylon y junto a esta, la enzima lignino-peroxidasa para la degradación de compuestos aromáticos no fenólicos (Ali, Khalil, & Abd, 2012).

Finalmente, en un estudio llevado a cabo por Deguchi et al., en el cual se agregó manganeso al medio probado para llevar a cabo la degradación de nylon, con el fin de probar si aumentaría la actividad de las enzimas lignolíticas de los hongos, especialmente de la manganeso-peroxidasa al ser, como se dijo anteriormente, una de las enzimas que más influye en la degradación de ciertos compuestos; se conoció la importancia que tiene este elemento para el debido funcionamiento de la enzima manganeso-peroxidasa y con esto para la mejora en los procesos de biorremediación al mostrar un aumento en la degradación llevada a cabo por los hongos (Deguchi, Kitaoka, Kakezawa, & Nishida, 1998). Por lo que la adición de manganeso al MMS empleado para hacer las pruebas, podría resultar en una mayor degradación del nylon a partir de los aislamientos probados con mejores resultados (*Aspergillus* sp., y *Mucor* sp.).

## ***Conclusiones***

En este trabajo, se comprobó que dentro de los hongos que crecieron accidentalmente en las muestras de crudo adsorbido en *Luffa cylindrica* y bagazo de caña, se encontraban



aislamientos que fueron capaces de aprovechar el crudo para crecer y así de forma indirecta, se observó la capacidad de estos hongos para degradar el petróleo crudo. Además, se aislaron dieciocho morfoespecies fúngicas de los recipientes que contenían las fibras con crudo adsorbido y las fibras sin este, se clasificaron morfológicamente, encontrando ocho géneros fúngicos diferentes, *Acremonium* sp., *Aspergillus* sp., y *Botrytis* sp., capaces de crecer en fibras contaminadas con crudo y *Chaetomium* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Phialophora* sp., y *Rhodotorula* sp., en fibras que no se encontraban contaminadas. También, se comprobó la capacidad de degradación de crudo por parte de las seis cepas probadas de forma indirecta, en las cuales los mejores resultados fueron los aislamientos BsBH y LC pertenecientes al género *Aspergillus* sp., a un porcentaje del 15% p/v de petróleo, mostrando la importancia que tiene la disponibilidad de los nutrientes en el medio para ser consumidos y usados para el desarrollo de los organismos permitiendo a su vez una mayor degradación de las sustancias contaminantes. Se construyeron curvas de crecimiento observando el comportamiento de los hongos y con esto, el consumo del petróleo crudo, como única fuente de carbono, que se llevó a cabo por etapas. Lo anterior muestra el potencial que tienen algunas de las morfoespecies fúngicas aisladas en esta investigación, para ser usadas en la biorremediación de suelos que han estado expuestos, por ejemplo, a derrames de petróleo crudo incluso cuando la riqueza y variedad de nutrientes en el medio no sea alta.

Por último, se comprobó la actividad degradadora de estos hongos en otros compuestos derivados del petróleo, calificados de difícil degradación, principalmente del nylon en el cual se considera la importancia de la enzima manganeso-peroxidasa para que esta acción sea posible y muestre resultados importantes de descomposición de los materiales. Esta investigación como un estudio preliminar abre las puertas para estudiar especies del género *Aspergillus* y *Mucor* como potenciales degradadores de compuestos de poliamida y muestra una vez más la importancia en el estudio de la enzima manganeso-peroxidasa con el fin de conocer cómo actúa en procesos de degradación y qué organismos la sintetizan con el fin de ser usada de forma potencial en la biodegradación de residuos de polímeros de este tipo.

## ***Agradecimientos***

Las autoras del proyecto, agradecemos el apoyo, colaboración y financiamiento realizado por la Universidad Libre, Seccional Bogotá.

## Referencias

- Ali, M., Khalil, N., & Abd, M. (2012). Biodegradation of some polycyclic aromatic hydrocarbons by *Aspergillus terreus*. *African Journal of Microbiology Research*, 3783-3790.
- Bonifaz, A. (2012). *Micología médica básica (Cuarta ed.)*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Carrion, F. (2014). *Universitat politecnica de catalunya. Obtenido de Materias téxtiles. Poliamida.*
- Cepero, M., Restrepo, S., Franco, A., Cárdenas, M., & Vargas, N. (2012). *Biología de Hongos*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Chukwunonso, I., Ahmed, A., Hassan, A., & Shahul, F. (2020). Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235218641830364X>
- Condalab. (13 de Mayo de 2019). *Condalab. Obtenido de Agar Extracto de Malta.*
- Deguchi, T., Kitaoka, Y., Kakezawa, M., & Nishida, T. (1998). Purification and characterization of a nylon-degrading enzyme. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1366-1371.
- Domsch, K., Gams, W., & Anderson, T. (2007). *Compendium of soil fungi (Segunda ed.)*. London: IHW-Verlag.
- Ecopetrol . (13 de Abril de 2018). *Informe de gestión y sostenibilidad. Obtenido de Informe de gestión y sostenibilidad: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/publicaciones/informes-de-gestion-y-sostenibilidad/informes-de-gestion-y-sostenibilidad>*
- Ezekoye, C., Chikere, C., & Okpokwasili, G. (2018). Fungal diversity associated with crude oil-impacted soil undergoing in-situ bioremediation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 148-152. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554118300299>
- Gil, M. (2019). *Agar Czapek: fundamento, preparación, usos y limitaciones. Obtenido de Lifereder: <https://www.lifereder.com/agar-czapek/>*
- Hamzah, A., Manikan, V., & Fathiha, N. (2017). Biodegradation of Tapis Crude Oil Using Consortium of Bacteria and Fungi: Optimization of Crude Oil Concentration and Duration of Incubation by Response Surface Methodology. *Sains Malaysiana*, 43-50. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/315467310\\_Biodegradation\\_of\\_Tapis\\_Crude\\_Oil\\_Using\\_Consortium\\_of\\_Bacteria\\_and\\_Fungi\\_Optimization\\_of\\_Crude\\_Oil\\_Concentration\\_and\\_Duration\\_of\\_Incubation\\_by\\_Response\\_Surface\\_Methodology](https://www.researchgate.net/publication/315467310_Biodegradation_of_Tapis_Crude_Oil_Using_Consortium_of_Bacteria_and_Fungi_Optimization_of_Crude_Oil_Concentration_and_Duration_of_Incubation_by_Response_Surface_Methodology)
- Hernández, A. (2003). *Microbiología Industrial*. San Jose, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=KFq4oEQQjdEC&pg=PR6&dq=alicia+hernandez+microbiologia+industrial&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiqyP7omeDWAh>

- UHVyYKHQYGAEYQ6AEIJDA#v=onpage&q=alicia%20hernandez%20microbiologia%20industrial&f=false
- Hernández, E., Ferrera, R., Gutiérrez, M., Rodríguez, R., Rubiños, J., & Fernández, L. (2003). Bacterias y hongos hidrocarbonoclasta de rizósfera frijol y maíz, en un suelo contaminado con petróleo. *Terra Latinoamericana*, 493-502. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57321405.pdf>
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=iZg6DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=tipos+de+remediaci%C3%B3n+del+suelo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiKnY-ly-ThAhUx2FkKHaHCDhwQ6AEIKDAA#v=onpage&q=tipos%20de%20remediaci%C3%B3n%20del%20suelo&f=false>
- Khan, S., Nadir, S., Ullah, Z., Ali, A., Karunaranthna, S., Xu, J., . . . Hasan, F. (2017). Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis*. *Environmental Pollution*, 1-12.
- Kumar, R., Tripathi, R., Ranjan, A., & Kumar, A. (2020). Fungi as potential candidates for bioremediation. *Abatement of Environmental Pollutants*, 177-191. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128180952000096>
- Kumar, V. (2016). *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. New Delhi: Elsevier Science. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444635051000178>
- Lalucat, J., Cladera, A., & García, E. (2015). Biodegradación de crudo de petróleo en el mar: accidente del Prestige y aportaciones de la biotecnología ambiental. *Sociedad Española de Microbiología*, 35(9), 3. Obtenido de [http://www.semicrobiologia.org/pdf/actualidad/SEM35\\_9.PDF](http://www.semicrobiologia.org/pdf/actualidad/SEM35_9.PDF)
- Li, L., Li, W., Song, W., & Guo, M. (15 de Agosto de 2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of The Total Environment*, 633, 206-219. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718309215>
- Marchut-Mikolajczyk, O., Kwapisz, E., Wieczorek, D., & Antczak, T. (2015). Biodegradation of diesel oil hydrocarbons enhanced with *Mucor circinelloides* enzyme preparation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 142-148. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830515300032>
- Ortiz, V., Donoso, C., Amón, B., Pacheco, L., & Herrera, R. (2018). Optimización administrativa y técnica de un medio de cultivo sólido alternativo al PDA para la reproducción de hongos. Ecuador: Cidepro. Obtenido de <http://www.cidepro.org/images/pdfs/hongos.pdf>
- Prabowo, A., & Bae, D. (2019). Environmental risk of maritime territory subjected to accidental phenomena: Correlation of oil spill and ship grounding in the Exxon Valdez's case. *Results in Engineering*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123019300350>
- Quintella, C., Mata, A., & Lima, L. (2019). Overview of bioremediation with technology assessment and emphasis on fungal bioremediation of oil contaminated soils. *Journal*

- of *Environmental Management*, 156-166. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719304761>
- Roy, A., Baruah, R., Borah, M., Singh, A., Deka, H., Saikia, N., . . . Chandra, T. (2014). *Bioremediation potential of native hydrocarbon degrading bacterial strains in crude oil contaminated soil under microcosm study*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 79-89. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830514001814>
- Sánchez, C. (2019). *Fungal potential for the degradation of petroleum-based polymers: An overview of macro- and microplastics biodegradatio*. *Biotechnology Advances*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975019302010>
- Tachibana, K., Hashimoto, Y. M., & Okawa, H. (2010). *Isolation and characterization of microorganisms degrading nylon 4 in the composted soil*. *Polymer Degradation and Stability*, 912-917. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391010001515>
- Tomasini, & León-Santiesteban. (2015). *Nylon uses in biotechnology*. *Biocomposites*, 319-346. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782423737000068>
- Trujillo, M., & Ramírez, J. (2012). *Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia*. *Revista de investigación agraria y ambiental*. Obtenido de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/952/946>
- Varjani, S. (2017). *Microbial degradation of petroleum hydrocarbons*. *Bioresource Technology*, 277-286. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416314432>

# 6

## ***Herramienta diagnóstica de la gestión y madurez de la seguridad y salud en el trabajo en organizaciones colombianas***

### ***Diagnostic tool for the management and maturity of occupational health and safety in Colombian organizations***

Yuber Liliana Rodríguez-Rojas<sup>1</sup>, Harold Wilson Hernández Cruz<sup>2</sup>

#### ***Resumen***

La gestión de la seguridad y salud en el trabajo es esencial para el desarrollo de las organizaciones. A partir de la Ley 1562 de 2012 en Colombia se transitó de los programas de salud ocupacional a los SG-SST, el cual es aplicable a todo tipo de organizaciones. En este sentido y considerando la importancia de los procesos de evaluación de desempeño de los sistemas de gestión, en este capítulo de libro se presentan los resultados de una investigación polietápica en la que se diseñó y validó una herramienta diagnóstica de la gestión y madurez de la seguridad y salud en el trabajo (SST) en organizaciones colombianas. La herramienta diseñada considera tres componentes a saber: 1) propuesta de medición de los indicadores de estructura, proceso, resultado y mínimos del SG-SST, 2) estándares mínimos del SG-SST y, 3) un instrumento y una escala para identificar el nivel de madurez de la gestión de SST. Esta herramienta ha sido aplicada en tres momentos en diferentes sectores. En primer lugar, se aplicó en 30 organizaciones, de los sectores comercio (2), construcción (1), industria (3),

---

<sup>1</sup> Doctora en Administración, Universidad Santo Tomás, [yuberrodriguez@usantotomas.edu.co](mailto:yuberrodriguez@usantotomas.edu.co)

<sup>2</sup> Magister en Ciencias de la Educación, Universidad Santo Tomás, [harold.hernandez@usantotomas.edu.co](mailto:harold.hernandez@usantotomas.edu.co)

servicios (10) y sector público (14) y se encontró una relación positiva y estadísticamente significativa entre los instrumentos estándares mínimos del SG-SST y la escala de madurez EMA-GSST. Para el procesamiento se utilizaron paquetes estadísticos como STATA (procesamiento y análisis descriptivo de la información recopilada en campo) y SPSS Statistics (elaboración de modelos de regresión para evaluar la dependencia de dos o más variables). En segundo lugar, se aplicó a 50 entidades públicas distritales de Bogotá, experiencia que permitió mejorar la herramienta, dado que se creó como módulo web desarrollado en Java 8.0, base de datos SQL Server 2017, con la finalidad de dinamizar la gestión en SST al interior de las entidades públicas del distrito. Además de los tres componentes enunciados, en esta nueva versión de la herramienta se incorporaron dos componentes relacionados con el reporte de accidentes y el reporte enfermedades laborales, optimizando con ello, la gestión de la información asociada al SG-SST en estas entidades. En tercer lugar, con el fin de evidenciar la aplicabilidad del componente de madurez en muestras poblacionales representativas de una misma organización, se aplicó en 1729 servidores públicos de siete sedes de una entidad pública del orden nacional y en 77 teletrabajadores de una organización con un modelo de teletrabajo autónomo. Para ello, se efectuó un análisis factorial confirmatorio por medio del paquete estadístico R-Studio. Los resultados obtenidos en cada etapa permiten concluir que la aplicabilidad de la herramienta diagnóstica en diferentes contextos organizacionales fue exitosa, sin importar su tipología (entendida como pública o privada), el tamaño de la organización y su ubicación geográfica. Asimismo, se obtuvo una consistencia interna excelente y una alta correlación entre los ítems del instrumento de madurez. Los hallazgos obtenidos con esta herramienta serán útiles para la generación de acciones de mejora del sistema y el fomento de su madurez, aspecto que fortalecerá la creación de una cultura positiva de seguridad y salud.

**Palabras claves:** Seguridad y salud en el trabajo, gestión del riesgo de la seguridad y salud en el trabajo, evaluación, modelos de madurez, desarrollo organizacional

## ***Abstract***

*Occupational health and safety management is essential for the development of organizations. As of Law 1562 of 2012 in Colombia, the occupational health programs were transferred to the OSHMS, which is applicable to all types of organizations. In this sense and considering the importance of the performance evaluation processes of the management systems, this book chapter presents the results of a multi-stage research in which a diagnostic tool for the management and maturity of the management was designed and validated. Occupational health and safety (OSH) in Colombian organizations. The designed tool*

*considers three components: 1) proposal for measuring the structure, process, result and minimum indicators of the OSHMS, 2) minimum standards of the OSHMS and, 3) an instrument and a scale to identify the maturity level of OSH management. This tool has been applied in three moments in different sectors. First, it was applied in 30 organizations, from the Commerce (2), construction (1), industry (3), services (10) and public sector (14) sectors and a positive and statistically significant relationship was found between the instruments minimum standards of the OSHMS and the maturity scale. For processing, statistical packages such as STATA (descriptive processing and analysis of the information collected in the field) and SPSS Statistics (development of regression models to assess the dependence of two or more variables) were used. Second, it was applied to 50 district public entities in Bogotá, an experience that allowed improving the tool, since it was created as a web module developed in Java 8.0, SQL Server 2017 database, in order to boost management in OSH inside the public entities of the district. In addition to the three components listed, in this new version of the tool, two components related the accident report and the occupational disease report were incorporated, thereby optimizing the management of the information associated with the OSHMS in these entities. Thirdly, in order to demonstrate the maturity component applicability in representative population samples of the same organization, public servants from seven offices of a public entity of the national order were applied in 1729 and in 77 teleworkers of an organization with a model of autonomous teleworking. For instance, a confirmatory factor analysis was carried out through the R-Studio statistical package. The results obtained at each stage allow us to conclude that the applicability of the diagnostic tool in different organizational contexts was successful, regardless of its typology (understood such as public or private), the size of the organization and its geographical location. Likewise, an excellent internal consistency and a high correlation between the items of the maturity instrument were obtained. The results obtained with this tool will be successful to generate actions to improve the system and promote its maturity, an aspect that will strengthen the creation of a positive culture of safety and health.*

**Keywords:** *Occupational safety and health, occupational safety and health risk management, evaluation, maturity models, organizational development*

## ***Introducción***

La seguridad y salud en el trabajo (SST) es una disciplina que propende por la protección de la salud y el fomento de la seguridad de los trabajadores, contratistas, practicantes y demás partes interesadas relevantes que presten un servicio a las organizaciones. En este sentido, los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo

(SG-SST) son una herramienta que aporta al desarrollo organizacional en la medida en que fomenten ambientes de trabajo seguros y saludables y promueven la creación de una cultura de prevención al interior de las empresas (Kim, Park, & Park, 2016). Cabe agregar que, las pequeñas y medianas empresas también se ven beneficiadas al implementar estos sistemas de gestión (Gopang, Nebhwani, Khatri, & Marri, 2017; Nyirendaavwil, Chinniah, & Agard, 2015). Adicionalmente, la aparición de riesgos emergentes conlleva a cambios de paradigma en términos de la intervención de los riesgos de SST (Badri, Boudreau-Trudel, & Souissi, 2018) en los diferentes sistemas productivos y de prestación de servicios.

Aunado a lo anterior, se ha evidenciado que la innovación de SST proporciona desarrollo sostenible de las organizaciones a través de personas sanas, lugares de trabajo más seguros, reducción de costos asociados a los accidentes, ambientes controlados, accidentes de trabajo gestionados y un mejor conocimiento de SST (Jilcha & Kitaw, 2017).

Tradicionalmente los SG-SST se han medido a través de auditorías e indicadores de accidentalidad, enfermedad laboral y ausentismo, los cuales normalmente se basan en la legislación vigente de cada nación (Antão et al., 2016; Arntz-Gray, 2016; Chen, Hou, Zhang, & Li, 2020; Mohammadfam et al., 2017). Adicionalmente, se han desarrollado algunos índices como el de eficacia para cuantificar de forma más objetiva la implementación de los SG-SST (Bianchini, Donini, Pellegrini, & Saccani, 2017; Poghosyan et al., 2020). En este sentido, se requiere de la creación de herramientas que permitan triangular la información y evidenciar el desempeño global de los SG-SST en las organizaciones. Sin embargo, la revisión de literatura evidencia que son escasas las herramientas e instrumentos para medir la madurez de estos sistemas de gestión (Rodríguez-Rojas & Pedraza-Nájar, 2018; Rodríguez-Rojas, Pedraza-Nájar, & Martínez, 2017).

Cada vez se requiere que los SG-SST sean más simples, comprensibles y fáciles de implementar en las organizaciones para que ayuden a establecer un sistema de prevención más eficaz y a garantizar la participación efectiva de todos los colaboradores del nivel estratégico, táctico y operativo al sistema de gestión (Çalış & Büyükkakıncı, 2019; da Silva & Amaral, 2019). Asimismo, es indispensable el conocimiento y la motivación de los colaboradores sobre la SST, dado que se ha evidenciado que estos dos aspectos transforman los comportamientos de desempeño de seguridad (Christian, Bradley, Wallace, & Burke, 2009), por consiguiente, es indispensable considerar la percepción de los colaboradores frente al desempeño y a la madurez del SG-SST.

Latinoamérica y Colombia en los últimos años han fomentado el desarrollo de los SG-SST. La legislación se complementa con procesos de capacitación y educación en SST, puesto



que en la medida en que las organizaciones deban cumplir con unos estándares mínimos se empieza a gestar la preocupación por la SST. Aunque en estos países, las medidas aún no se han implementado por completo, por lo que aún no se ha visto un efecto positivo en la reducción de accidentes y enfermedades laborales, sí se ha creado ha empezado a implementar los SG-SST (Cruz & Huerta-Mercado, 2015).

Este capítulo de libro presenta una herramienta diagnóstica de la gestión y madurez de la seguridad y salud en el trabajo en organizaciones colombianas, la cual ha sido validada en diferentes tipos de empresas. Esta herramienta brinda información para la toma de decisiones oportunas y coherentes con las capacidades y necesidades de la organización. Se presenta tanto la estructura de la herramienta, la forma de aplicación y los elementos a considerar para la interpretación de la información, así como los procesos de validación efectuados.

## ***Metodología***

Este capítulo presenta los resultados de una investigación polietápica en la que se diseñó y validó una herramienta diagnóstica de la gestión y madurez de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo (GSST) en organizaciones colombianas. La herramienta diseñada considera tres componentes a saber: 1) propuesta de medición de los indicadores de estructura, proceso, resultado y mínimos del SG-SST, 2) estándares mínimos del SG-SST y, 3) un instrumento y una escala para identificar el nivel de madurez de la GSST, denominada EMA-GSST. Esta herramienta ha sido aplicada en tres momentos en diferentes sectores.

### **Etapa 1. Estudio 1**

En la primera etapa se buscó evaluar la validez y confiabilidad de la herramienta diagnóstica de la gestión y madurez de la seguridad y salud en el trabajo. Para ello, se aplicó en 30 organizaciones, de los sectores comercio (2), construcción (1), industria (3), servicios (10) y sector público (14). Para el procesamiento se utilizaron paquetes estadísticos como STATA (procesamiento y análisis descriptivo de la información recopilada en campo) y SPSS STATISTICS (elaboración de modelos de regresión para evaluar la dependencia de dos o más variables).

En este estudio, se contactaron 62 organizaciones con interés en la aplicación de la herramienta SG-SST, con el 77% se estableció a través de contacto directo mediante la voz a voz o referenciación de la investigación a conocidos, el 19% por redes sociales (Facebook), y el 4% por contacto telefónico.

La participación por sector de las organizaciones interesadas estableció que el 62% pertenece al sector privado y el 38% al sector público. El 82% (51 organizaciones) cumplió con los requisitos exigidos en la investigación.

Finalmente, 30 organizaciones (48%) aceptaron participar en la investigación y firmaron el consentimiento informado e iniciaron levantamiento de datos. Las organizaciones que desistieron de participar señalaron restricción de la entrega de la información. De estas organizaciones el 43 % pertenecen a organizaciones medianas (13), el 30 % pequeñas (9) y el 27 % grandes (8).

En este estudio, EMA-GSST fue aplicada a 77 informantes clave (líder del SG-SST, el responsable del área de la cual depende el sistema de gestión y el representante de los trabajadores). Se efectuó análisis factorial confirmatorio y se realizó análisis de componentes principales y de correlación de las variables del instrumento de estándares mínimos del SG-SST con las variables de EMA-GSST. Para verificar la fiabilidad interna se usó el Alpha de Cronbach.

## **Etapa 2. Estudio 2**

En la segunda etapa se buscó evaluar la aplicabilidad y funcionalidad de la herramienta diagnóstica de la gestión y madurez de la seguridad y salud en el trabajo en las entidades públicas distritales. Para lo cual, se aplicó a 52 entidades públicas distritales de Bogotá durante el 2019. Este proceso requirió de la capacitación de los líderes de SST, de forma previa, para reducir el número de errores de interpretación en la captura y en registro de los datos. Adicionalmente, se realizó un proceso de auditoría interna a 20 de las entidades objeto de estudio para garantizar la confiabilidad de los datos; a través de este mecanismo de auditoría se logró constatar las fuentes de la información registrada en la herramienta diagnóstica.

En esta etapa se usó estadística descriptiva para procesar los datos de las entidades evaluadas y se construyó un banco de recomendaciones de mejora de la GSST, considerando los tres componentes de la herramienta: los indicadores de estructura, proceso, resultado y mínimos del SG-SST, los estándares mínimos del SG-SST y, el nivel de madurez de la GSST.

## **Etapa 3. Estudio 3 y 4**

Esta tercera etapa se realizó con el fin de evidenciar la aplicabilidad del componente de madurez en muestras poblacionales representativas de una misma organización. En el estudio número 3, EMA-GSST se aplicó a 1729 servidores públicos de siete sedes de una entidad pública del orden nacional. Y en el estudio número 4, se utilizó con 77

teletrabajadores de una organización con un modelo de teletrabajo autónomo. En los dos casos, se efectuó un análisis factorial confirmatorio por medio del paquete estadístico R-Studio.

Adicionalmente, al aplicar un cuestionario es necesario comprobar si este es adecuado para cumplir su función de medir la variable de interés, existen varios criterios para hacer esta comprobación y entre los más usados se puede encontrar la evaluación de la consistencia interna del instrumento, para lo cual se utilizó el Alpha de Cronbach.

Para calcular el Alpha de Cronbach existen dos métodos que arrojan resultados muy similares, en uno de los métodos se usa la varianza de los ítems y en el otro las correlaciones de los ítems. En este caso se usará el segundo método:

$$\alpha = \frac{kp}{1 + p(k - 1)}$$

*k: Número de preguntas o ítems*

*p: Promedio de las correlaciones entre los ítems*

Además, se efectuó un análisis factorial, para ello, se usó la prueba de esfericidad de Bartlett. Esta prueba se realiza para comprobar la hipótesis de que todas las correlaciones presentadas entre los ítems no son estadísticamente significativas (son cero), si esto ocurre no es adecuado usar dimensiones para agrupar los diferentes ítems del instrumento. Esto se logra a partir de la siguiente prueba de hipótesis:

*H<sub>0</sub>: La matriz de correlaciones es la matriz identidad*

*vs*

*H<sub>1</sub>: La matriz de correlaciones es diferente a la matriz identidad*

Ho indicaría que no existe ninguna correlación estadísticamente diferente de cero. La hipótesis nula se puede rechazar si el valor p de la prueba de hipótesis es menor a un nivel de significancia dado, en este caso el nivel de significancia es del 5 % (0,05) lo que indica que el máximo error que se está dispuesto a tolerar al rechazar H<sub>0</sub> es del 5 %.

Como el valor p de la prueba es menor a 0.05 se puede rechazar Ho, es decir, existe por lo menos una correlación estadísticamente diferente de cero y por lo tanto el uso de dimensiones se puede ver justificado.

Por otra parte, se calculó el Índice de Kaiser-Meyer-Olkin KMO. Este indicador hace un análisis de las correlaciones parciales entre ítems y puede tomar un valor entre 0 y 1, siendo deseable que sea muy cercano a 1, lo que indica que el análisis por dimensiones se justifica. Un criterio es que se puede usar para el análisis por factores (dimensiones) es si el KMO es mayor o igual a 0.75. El cálculo del KMO se realiza de la siguiente manera:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum_{j \neq i} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum_{j \neq i} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum_{j \neq i} r_{ij(p)}^2}$$

$r_{ij}$ : Correlación entre los ítems  $i$  y  $j$

$r_{ij(p)}$ : Correlación parcial entre los ítems  $i$  y  $j$

Por otra parte, se realizó el análisis de componentes principales, el cual es una técnica estadística multivariada que permite disminuir el número de variables explicativas de una variable dependiente con la menor pérdida de información posible. Aunque el principal objetivo de este procedimiento es disminuir la dimensionalidad, se puede usar en este caso en virtud del hecho que todas las variables están medidas en la misma escala (de 1 a 5) para calcular el peso o importancia de cada ítem y por lo tanto de cada dimensión, esta importancia está relacionada con la variabilidad que es capaz de explicar cada ítem o dimensión.

Finalmente, se calculó la importancia relativa (peso) de ítem y de cada dimensión del instrumento, el cual es indispensable para la determinación del nivel de madurez del escenario de estudio.

## ***Resultados o hallazgos***

La Herramienta diagnóstica desarrollada, desarrollada por Rodríguez y Carvajal (2017) está compuesta por (3) componentes: 1) propuesta de medición de los indicadores de estructura, proceso, resultado y mínimos del SG-SST; 2) estándares mínimos del SG-SST y 3) un instrumento y una escala para identificar el nivel de madurez de la gestión de SST. A su vez permite su aplicación bajo (3) metodologías diferentes: revisión documental, informante idóneo y entrevista o encuesta directa, esta última para el caso del instrumento EMA-GSST.

El primer componente consiste en una propuesta de medición de los indicadores de estructura, proceso, resultado y mínimos del SG-SST. Se compone de un total de 34 indicadores que se dividen en indicadores mínimos (6), de estructura (1), proceso (14),

resultado (11), estándares mínimos (1) y madurez (1). Su finalidad es recopilar información cuantitativa con respecto a los resultados del SG-SST y su característica principal es el enfoque de gestión de los indicadores que permite no solamente su diligenciamiento de resultado sino también establecer las acciones preventivas, correctivas y de mejora a las que haya lugar. Este componente se puede desarrollar por medio de la revisión documental acompañada por el responsable del SG-SST y por medio de un informante idóneo que en este caso sería el mismo responsable quien reporta al investigador el resultado de las mediciones tal como se desarrolló en el estudio 4.

El segundo componente denominado estándares mínimos del SG-SST consiste en una matriz diligenciable creada a partir de los estándares mínimos descritos en la Resolución 0312 de 2019, su característica principal es la estructura enfocada al ciclo PHVA donde se asigna un peso a cada estándar y por ende a cada etapa del ciclo de mejora continua. Así mismo el componente facilita los modos de verificación o fuentes de información necesarias para soportar el cumplimiento de cada estándar. El análisis arroja como resultado el porcentaje de cumplimiento de estándares mínimos bajo la normatividad vigente en Colombia. Este componente al igual que el primero tiene la posibilidad de ser medido por medio de la revisión documental y de un informante idóneo.

El tercer componente es un instrumento y una escala para identificar el nivel de madurez de la gestión de SST (EMA-GSST) a partir de la percepción de los colaboradores y directivos. El instrumento, compuesto por un total de (24) ítems evaluados mediante una escala Likert de 5 niveles que van desde Totalmente en Desacuerdo hasta Totalmente de Acuerdo que finalmente, genera una escala de interpretación de cinco niveles de madurez con unas características y un enfoque diferenciado para cada una Tabla 1.

Para la aplicación de este instrumento se pueden aplicar las metodologías de entrevista o encuesta y de informante idóneo. La primera utilizada en los estudios 2 y 3 consistió en la adecuación del lenguaje a la naturaleza de cada entidad y realizar la aplicación de la herramienta a una muestra representativas de los colaboradores de la organización, obteniendo como resultado la percepción general sobre la GSST. Resultado al cual se le aplicó un análisis de correlación y consistencia estadística.

Tabla 1. Niveles de madurez instrumento EMA-GSST

	Nivel de madurez 1	Nivel de madurez 2	Nivel de madurez 3	Nivel de madurez 4	Nivel de madurez 5
<b>Tipo de GSST</b>	<b>Gestión reactiva de la SST</b>	<b>Gestión emergente de la SST</b>	<b>Gestión sistemática basada en el SG-SST</b>	<b>Gestión proactiva de la SST</b>	<b>Gestión resiliente de la SST</b>
<b>Características de la GSST</b>	Soluciones técnicas reactivas ante la presencia de una enfermedad laboral o de un accidente de trabajo	Soluciones técnicas y de gestión basadas en unas exigencias legales y del mercado	Programas en SST basados en la participación de los trabajadores dando respuesta a las exigencias legales	Integración de la GSST con otros sistemas de gestión de la organización. Gestión participativa basada en un SG-SST con mecanismos eficaces de participación	Integración de la GSST en: 1) la gestión estratégica, 2) en el sistema de gobierno de la organización y 3) en la gestión global de la organización. Se concibe la GSST como parte de la valoración económica la organización, dado que la valoración de las personas es considerada esencial, por ello la GSST propende por la calidad de vida en el trabajo.
<b>Enfoque de la GSST</b>	La GSST propende por la intervención en caso de accidentes de trabajo y enfermedades laborales.	La GSST propende por la prevención de accidentes de trabajo y enfermedades laborales frecuentes.	La GSST propende por la promoción de la salud, la prevención de la enfermedad y el fomento de la seguridad.	La GSST propende por la promoción de ambientes seguros y saludables. Enfoque en la persona y su entorno,	La GSST propende por la calidad de vida en el trabajo y la rentabilidad del negocio. Enfoque en la persona y su entorno; se

	Nivel de madurez 1	Nivel de madurez 2	Nivel de madurez 3	Nivel de madurez 4	Nivel de madurez 5
<b>Tipo de GSST</b>	<b>Gestión reactiva de la SST</b>	<b>Gestión emergente de la SST</b>	<b>Gestión sistemática basada en el SG-SST</b>	<b>Gestión proactiva de la SST</b>	<b>Gestión resiliente de la SST</b>
	Enfoque en los efectos individuales (de los riesgos de SST)	Enfoque en el cumplimiento de algunas normas legales básicas y costumbres del mercado.	Enfoque en el cumplimiento del conjunto de normas legales	considerando su “participación activa” en la GSST	considera su “participación activa” en la GSST y su integración en la “estrategia de la organización” (desde el punto de vista del negocio y su sostenibilidad).
Valor máximo	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Valor mínimo	0	1.1	2.1	3.1	4.1
% máximo	20	40	60	80	100
% mínimo	0	21	41	61	81

Fuente: (Rodríguez-Rojas, 2017).

El informante idóneo se aplicó en los estudios 1 y 2, donde los responsables del sistema, colaboradores del COPASST y líderes de talento humano de las entidades diligenciaron el instrumento, obteniendo la percepción de los directos implicados del sistema y en los estudios 3 y 4 se aplicó a muestra representativa de colaboradores y directivos.

Por otra parte, la aplicación en las entidades públicas distritales de Bogotá permitió crear un módulo web desarrollado en Java 8.0, base de datos SQL Server 2017, con la finalidad de dinamizar la gestión en SST al interior de las entidades públicas del distrito. Además de los tres componentes enunciados, en esta nueva versión de la herramienta se incorporaron dos ítems relacionados con el reporte de accidentes y el reporte enfermedades laborales, optimizando con ello, la gestión de la información asociada al SG-SST estas entidades.

A través de la etapas del proceso se le ha realizado el análisis de consistencia interna del instrumento EMA-GSST, del cual se han alcanzado muy buenos resultados, obteniendo una consistencia interna excelente soportada por el resultado del Alpha de Cronbach que en

ninguno de los cuatro casos fue menor al 0,9. La importancia y relevancia de este resultado radica en que independientemente de la naturaleza de las organizaciones, las fuentes de información y el método de recolección de la información la consistencia de los resultados es fuerte. En cuanto al KMO, calculado en dos de las etapas también se denota un muy buen resultado, dando mayor validez a las dimensiones generadas en el desarrollo del instrumento.

En conclusión, el instrumento EMA-GSST puede ser utilizado en diferentes organizaciones y con diferentes métodos de recolección manteniendo su confiabilidad.

Tabla 2. Confiabilidad del EMA-GSST

Estudio	Alfa de Cronbach	KMO
Estudio # 1: 30 organizaciones	0.9654	No se calculó
Estudio # 2: Entidades públicas distritales	0.9178	No se calculó
Estudio # 3: Entidad pública del orden nacional	0.978	0.89
Estudio # 4: Teletrabajadores multinacional	0.9744	0.89

## Discusión

La información proporcionada por esta herramienta diagnóstica de la gestión y madurez de la SST en organizaciones colombianas se constituye en un insumo para la revisión por la dirección y la toma de decisiones en relación con las acciones correctivas, preventivas y de mejora del SG-SST. Por consiguiente, el contar con herramientas válidas y confiables que proveen datos oportunos sobre el desempeño del sistema y la percepción de los colaboradores sobre el nivel de madurez, facilita a los líderes del sistema y a la alta dirección el proceso de decisión. Este hallazgo es coherente con lo reportado en otros estudios, como el de la metodología M.I.M.O.S.A (en inglés, *Methodology for the Implementation and Monitoring of Occupational Safety*), la cual facilita la cuantificación de los diferentes aspectos a nivel global de un SG-SST, así como la identificación de la prioridad de las intervenciones para las mejoras, de modo que el proceso de gestión se vuelva más efectivo y eficiente (Saracino et al., 2015); y la metodología OPM-MU (en inglés, *Organizational Performance Metric – Monash University*), en la que se presentan los principales indicadores de SST y tiene el potencial de ser una herramienta de evaluación comparativa para los lugares de trabajo y entre las organizaciones (Shea, De Cieri, Donohue, Cooper, & Sheehan, 2016).



Es de resaltar que, una de las estrategias de las organizaciones para evidenciar sus avances en responsabilidad social es la generación de informes de SST, en los cuales muestra la incorporación de programas de SST en las diferentes áreas de la empresa (Koskela, 2014). Aunque se han desarrollado indicadores para medir los aportes de la responsabilidad social empresarial, los presentados en el *Global Reporting Initiative* no son suficientes, dado que se orientan más al ámbito social y no a aspectos puntuales del SG-SST (Ruiz-Frutos, Pinos-Mora, Ortega-Moreno, & Gómez-Salgado, 2019).

En este sentido, se requiere de indicadores que proporcionen a los profesionales de SST información útil para dirigir los esfuerzos dentro de las organizaciones hacia un enfoque preventivo de la SST (Sheehan, Donohue, Shea, Cooper, & Cieri, 2016) y de herramientas de gestión prácticas (Tremblay & Badri, 2018a) que proporcionen información para promover mejoras en las diferentes áreas para que los SG-SST progresen en términos de una mayor integración y eficacia (Sánchez-Herrera & Donate, 2019; Tremblay & Badri, 2018b).

Por otra parte, es importante resaltar que los sindicatos, los pactos colectivos, los comités de SST han sido mecanismos que facilitan la participación de los colaboradores en la implementación y mejora de las acciones de SST en las organizaciones. No obstante, los lazos sindicales cada vez son más débiles y la legislación es específica para cada país, lo que conlleva a nuevos retos de abordaje de la SST (Min, Chang, Jai, & Ziegler, 2019) y esto a su vez implica que los profesionales de SST cuenten con habilidades específicas más allá de lo técnico (Nord Nilsson & Vänje, 2018; Provan & Pryor, 2019; Ruiz-Frutos et al., 2019), habilidades que les permitan comprender el sistema, articular los equipos de trabajo, fomentar la participación de los colaboradores de todos los niveles de la organización, la gestión de cambio, el procesamiento y análisis información derivada de acciones e indicadores proactivos, los procesos de diálogo y comunicación y el desarrollo de nuevos métodos para la valoración y abordaje de los riesgos de SST, entre otros aspectos relacionados con la innovación en procesos y procedimientos de SST.

## ***Conclusiones***

Los resultados obtenidos en cada etapa permiten concluir que la aplicabilidad de la herramienta diagnóstica en diferentes contextos organizacionales fue exitosa, sin importar su tipología (entendida como pública o privada), el tamaño de la organización y su ubicación geográfica. Asimismo, se obtuvo una consistencia interna excelente y una alta correlación entre los ítems del instrumento de madurez. Los hallazgos obtenidos con esta herramienta

serán útiles para la generación de acciones de mejora del sistema y el fomento de su madurez, aspecto que fortalecerá la creación de una cultura positiva de seguridad y salud.

EMA-GSST puede ser aplicada de dos maneras en las organizaciones. En primer lugar, para analizar la percepción de tres informantes clave (líder del SG-SST, el responsable del área de la cual depende el SG-SST y el representante de los trabajadores – puede ser un miembro del Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo COPASST). En segundo lugar, para conocer la percepción de un número representativo de colaboradores de los niveles estratégico, táctico y operativo de la organización; para ello, se recomienda aplicar un muestreo estratificado por afijación proporcional con el fin de garantizar que todas las áreas y niveles de la organización sean cubiertos en con proporciones similares y acordes a los tamaños poblacionales.

## **Referencias**

- Antão, P., Calderón, M., Puig, M., Michail, A., Wooldridge, C., & Darbra, R. M. (2016). *Identification of Occupational Health, Safety, Security (OHSS) and Environmental Performance Indicators in port areas. Safety Science, 85, 266-275.*  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.031>
- Arntz-Gray, J. (2016). *Plan, Do, Check, Act: The need for independent audit of the internal responsibility system in occupational health and safety. Safety Science, 84, 12-23.*  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.019>
- Badri, A., Boudreau-Trudel, B., & Souissi, A. S. (2018). *Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? Safety Science, 109, 403-411.*  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.06.012>
- Bianchini, A., Donini, F., Pellegrini, M., & Saccani, C. (2017). *An innovative methodology for measuring the effective implementation of an Occupational Health and Safety Management System in the European Union. Safety Science, 92, 26-33.*  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.09.012>
- Çalış, S., & Büyükkakıncı, B. Y. (2019). *Occupational Health and Safety Management Systems Applications and A System Planning Model. 3rd World conference on technology, innovation and entrepreneurship"industry 4.0 focused innovation, technology, entrepreneurship and manufacture" June 21-23, 2019, 158, 1058-1066.*  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.147>

- Chen, H., Hou, C., Zhang, L., & Li, S. (2020). *Comparative study on the strands of research on the governance model of international occupational safety and health issues*. *Safety Science*, 122, 104513. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104513>
- Christian, M. S., Bradley, J. C., Wallace, J. C., & Burke, M. J. (2009). *Workplace Safety: A Meta-Analysis of the Roles of Person and Situation Factors*. *JOURNAL OF APPLIED PSYCHOLOGY*, 94(5), 1103-1127. <https://doi.org/10.1037/a0016172>
- Cruz, I., & Huerta-Mercado, R. (2015). *Occupational Safety and Health in Peru*. *Occupational Health in Expanding Economies*, 81(4), 568-575. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.027>
- da Silva, S. L. C., & Amaral, F. G. (2019). *Critical factors of success and barriers to the implementation of occupational health and safety management systems: A systematic review of literature*. *Safety Science*, 117, 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.026>
- Gopang, M. A., Nebhwani, M., Khatri, A., & Marri, H. B. (2017). *An assessment of occupational health and safety measures and performance of SMEs: An empirical investigation*. *Safety Science*, 93, 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.11.024>
- Jilcha, K., & Kitaw, D. (2017). *Industrial occupational safety and health innovation for sustainable development*. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(1), 372-380. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2016.10.011>
- Kim, Y., Park, J., & Park, M. (2016). *Creating a Culture of Prevention in Occupational Safety and Health Practice*. *Safety and Health at Work*, 7(2), 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.02.002>
- Koskela, M. (2014). *Occupational health and safety in corporate social responsibility reports*. *Safety Science*, 68, 294-308. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.04.011>
- Min, J. H. J., Chang, H. J. J., Jai, T.-M. C., & Ziegler, M. (2019). *The effects of celebrity-brand congruence and publicity on consumer attitudes and buying behavior*. *Fashion and textiles*, 6. <https://doi.org/10.1186/s40691-018-0159-8>
- Mohammadfam, I., Kamalinia, M., Momeni, M., Golmohammadi, R., Hamidi, Y., & Soltanian, A. (2017). *Evaluation of the Quality of Occupational Health and Safety Management Systems Based on Key Performance Indicators in Certified Organizations*. *Safety and Health at Work*, 8(2), 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.09.001>
- Nord Nilsson, L., & Vänje, A. (2018). *Occupational safety and health professionals' skills – A call for system understanding? Experiences from a co-operative inquiry within the manufacturing sector*. *Applied Ergonomics*, 70, 279-287. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.03.005>

- Nyirendaavwil, V., Chinniah, Y., & Agard, B. (2015). *Identifying Key Factors for an Occupational Health and Safety Risk estimation Tool in Small and Medium-size Enterprises. 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, 48(3), 541-546. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.137>
- Poghosyan, A., Manu, P., Mahamadu, A.-M., Akinade, O., Mahdjoubi, L., Gibb, A., & Behm, M. (2020). *A web-based design for occupational safety and health capability maturity indicator. Safety Science*, 122, 104516. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104516>
- Provan, D. J., & Pryor, P. (2019). *The emergence of the occupational health and safety profession in Australia. Safety Science*, 117, 428-436. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.036>
- Rodríguez-Rojas, Y. L. (2017). *Evaluación de la madurez de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo en universidades con acreditación de alta calidad multicampus de Bogotá (Disertación doctoral). Universidad de Celaya, Celaya, México.*
- Rodríguez-Rojas, Y. L., & Pedraza-Nájar, X. (2018). *Madurez de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Revista Opción*, 34(18), 1358-1389.
- Rodríguez-Rojas, Y. L., Pedraza-Nájar, X., & Martínez, J. (2017). *Evaluación de la madurez de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo: Revisión de literatura. SIGNOS - Investigación en sistemas de gestión*, 9(1), 113-127.
- Ruiz-Frutos, C., Pinos-Mora, P., Ortega-Moreno, M., & Gómez-Salgado, J. (2019). *Do companies that claim to be socially responsible adequately manage occupational safety and health? Safety Science*, 114, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.01.010>
- Sánchez-Herrera, I. S., & Donate, M. J. (2019). *Occupational safety and health (OSH) and business strategy: The role of the OSH professional in Spain. Safety Science*, 120, 206-225. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.037>
- Saracino, A., Antonioni, G., Spadoni, G., Guglielmi, D., Dottori, E., Flamigni, L., ... Pacini, V. (2015). *Quantitative assessment of occupational safety and health: Application of a general methodology to an Italian multi-utility company. Safety Science*, 72, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.007>
- Shea, T., De Cieri, H., Donohue, R., Cooper, B., & Sheehan, C. (2016). *Leading indicators of occupational health and safety: An employee and workplace level validation study. Safety Science*, 85, 293-304. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.01.015>
- Sheehan, C., Donohue, R., Shea, T., Cooper, B., & Cieri, H. D. (2016). *Leading and lagging indicators of occupational health and safety: The moderating role of safety leadership. Accident Analysis & Prevention*, 92, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.03.018>

- Tremblay, A., & Badri, A. (2018a). A novel tool for evaluating occupational health and safety performance in small and medium-sized enterprises: The case of the Quebec forestry/pulp and paper industry. Safety Science, 101, 282-294. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.09.017>*
- Tremblay, A., & Badri, A. (2018b). Assessment of occupational health and safety performance evaluation tools: State of the art and challenges for small and medium-sized enterprises. Safety Science, 101, 260-267. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.09.016>*

# 7

## ***Prototipo Aeropónico Automatizado: un Camino hacia la Producción Agrícola y Desarrollo Sostenible***

### ***Automated Aeroponic Prototype: a Path to Agricultural Production and Sustainable Development***

Elber Fernando Camelo Quintero<sup>1</sup>, Juan Esteban Tapias Baena<sup>2</sup>, Germán Alberto Carvajal Ruiz<sup>3</sup>

#### ***Resumen***

El desarrollo de la agricultura a nivel mundial es constante, el crecimiento poblacional de las últimas décadas ha influenciado en el desarrollo de nuevas modalidades de producción más eficientes que permitan contribuir a la sostenibilidad alimentaria que genera la alta demanda de alimentos. En este camino se ha optado por realizar agricultura intensiva en grandes extensiones de tierra, agotando los suelos y enfrentado plagas y enfermedades que se generan y expanden de manera periódica y muy rápida. Actualmente existen alternativas de producción agrícola que utilizan sustratos diferentes al suelo y ante todo presentan tres grandes ventajas no afectan el suelo, maximizan el uso del agua y elevan la calidad de los productos.

---

<sup>1</sup> Magister, docente UNAD, [elber.camelo@unad.edu.co](mailto:elber.camelo@unad.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero, docente UNAD, [juan.tapias@unad.edu.co](mailto:juan.tapias@unad.edu.co)

<sup>3</sup> Tecnólogo, estudiante de UNAD, [germancarvajal16@hotmail.com](mailto:germancarvajal16@hotmail.com)

Una de estas alternativas corresponde a la aeroponía, que es una modalidad de cultivo en el cual las plantas se desarrollan en el aire, este método de cultivo presenta varias ventajas como el máximo aprovechamiento del recurso hídrico, manejo focalizado de plagas, disminución en el uso de pesticidas y disminución del tiempo de producción. Las características de la aeroponía obligan a supervisar y controlar con gran precisión distintas variables que influyen directamente en el desarrollo de las plantas, prácticamente se crea un ambiente artificial para su desarrollo. Es en este proceso donde usando la electrónica y la automatización se puede buscar la manera de garantizar condiciones ideales para el cultivo, mediante el control de variables como: humedad, temperatura, pH, iluminación, CO<sub>2</sub> y conductividad eléctrica entre otras.

En la Universidad Nacional Abierta y a Distancia se desarrolla desde el 2017 un trabajo de investigación cuyo objetivo ha sido el desarrollo de un prototipo de cultivo aeropónico que permita supervisar y controlar las variables de humedad, temperatura y pH, mediante una interfaz gráfica, garantizando el normal desarrollo de un cultivo de prueba. El desarrollo se ha realizado tomando como base una metodología de investigación aplicada y el modelo ADDIE (Analizar, Diseñar, Desarrollar, Implementar y Evaluar), mediante el uso de dispositivos de bajo costo como Arduino y Raspberry Pi, que garantizan el funcionamiento del sistema y a la vez promueven que pueda ser implementado como parte de un proceso productivo.

Los resultados al evaluar el funcionamiento del prototipo, con plantas de cilantro y rúcula han demostrado que el sistema implementado garantiza el normal desarrollo de la planta, permitiendo su cosecha de manera anticipada, aumentando la productividad por metro cuadrado frente a un cultivo tradicional en suelo y garantizando la no aplicación de productos químicos.

***Palabras clave:*** Aeroponía, Automatización, Prototipo, Agricultura Urbana, Productividad sostenible.

### ***Abstract***

*The development of agriculture worldwide is constant, the population growth of the last decades has influenced the development of new more efficient production modalities that allow contributing to the food sustainability generated by the high demand for food. In this way it has been decided to carry out intensive agriculture in large areas of land, depleting the soils and facing pests and diseases that are generated and spread periodically and very quickly. Currently there are alternatives for agricultural production that use substrates other than soil and, above all, they have three great advantages that do not affect the soil, maximize water use and increase the quality of products; One of these alternatives corresponds to*

*aeroponics, which is a cultivation modality in which plants are developed in the air, this method of cultivation has several advantages such as maximum use of the water resource, focused pest management, decreased use of pesticides and decreased production time. The characteristics of aeroponics force to monitor and control with great precision different variables that directly influence the development of plants, an artificial environment for their development is practically created. It is in this process where using electronics and automation you can find a way to guarantee ideal conditions for the crop, by controlling variables such as humidity, temperature, pH, lighting, CO<sub>2</sub> and electrical conductivity among others.*

*At the National Open and Distance University, a research project has been developed since 2017 whose objective has been the development of an aeroponic culture prototype that allows monitoring and controlling the humidity, temperature and pH variables, through a graphical interface, guaranteeing the normal development of a test culture. The development has been carried out based on an applied research methodology and the ADDIE model (Analyze, Design, Develop, Implement and Evaluate), through the use of low-cost devices such as Arduino and Raspberry Pi, which guarantee the operation of the system already at the same time they promote that it can be implemented as part of a productive process.*

*The results when evaluating the operation of the prototype, with coriander and arugula plants have shown that the implemented system guarantees the normal development of the plant, allowing its harvest in advance, increasing productivity per square meter compared to a traditional crop in soil and guaranteeing the non-application of chemical products.*

**Keywords:** *Aeroponics, Automation, Prototype, Urban Agriculture, Sustainable Productivity.*

## ***Introducción***

El desarrollo de la agricultura a nivel mundial es constante, el crecimiento poblacional de las últimas décadas ha influenciado en el desarrollo de nuevas modalidades de producción más eficientes que permitan contribuir a la sostenibilidad alimentaria que genera la alta demanda de alimentos. En este camino se ha optado por realizar agricultura intensiva en grandes extensiones de tierra, agotando los suelos y enfrentado plagas y enfermedades que se generan y expanden de manera periódica y muy rápida; adicionalmente según el sistema de información ambiental de Colombia (SIAC), en el año 2012 la demanda hídrica nacional alcanzó 35.987,1 millones de metros cúbicos y el sector que más demanda agua es el agrícola con 16.760,3 millones de metros cúbicos, cerca de un 46,6% de la demanda hídrica nacional.



La mayor parte del sector agrícola nacional son cultivos tradicionales que dependen del suelo, en donde sólo una pequeña parte del riego es aprovechada por las plantas y el resto del agua es absorbida por el subsuelo o se evapora.

Actualmente existen alternativas de producción agrícola que utilizan sustratos diferentes al suelo y ante todo presentan tres grandes ventajas no afectan el suelo, maximizan el uso del agua y elevan la calidad de los productos. El desarrollo e implementación de estos sistemas se ha dado en países altamente industrializados; en Colombia este sistema es poco conocido y son pocos los que se han atrevido a investigar o a implementarlos como parte de un proceso productivo; el nivel de tecnificación que exige esta modalidad de producción es alto, pero se ve recompensado con beneficios ecológicos y productivos en cuanto a calidad y cantidad. Adicionalmente estas nuevas modalidades de producción agrícola son el pilar para lo que se ha llamado agricultura urbana que se caracteriza por realizarse en espacios reducidos, garantizar altos niveles de producción, productos de alta calidad más frescos y fácil disponibilidad al disminuir los trayectos de transporte, incluso se convierte en una opción de trabajo familiar.

La aeroponía es una modalidad de cultivo en el cual las plantas se desarrollan en el aire, este método de cultivo presenta varias ventajas como el máximo aprovechamiento del recurso hídrico, manejo focalizado de plagas, disminución en el uso de pesticidas y disminución del tiempo de producción. La aeroponía, proporciona la cantidad necesaria de agua con nutrientes a la planta y recircula el agua restante, además de ser un sistema con un alto grado de tecnificación. Según Pelt (2005), esta tecnología de producción de alimentos de alto rendimiento producirá rápidamente cultivos utilizando un 99% menos de agua y un 50% menos de nutrientes en un 45% menos de tiempo.

Las características de la aeroponía obligan a supervisar y controlar con gran precisión distintas variables que influyen directamente en el desarrollo de las plantas, prácticamente se crea un ambiente artificial para su desarrollo. Es en este proceso donde usando la electrónica y la automatización se puede buscar la manera de garantizar condiciones ideales para el cultivo, mediante el control de variables como: humedad, temperatura, pH, iluminación, CO<sub>2</sub> y conductividad eléctrica entre otras.

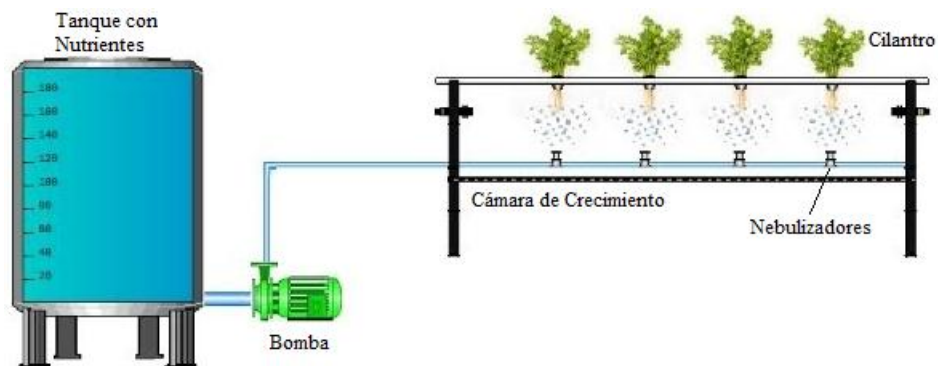


Figura 1. Modelo de sistema Aeropónico.  
Fuente de los autores.

En Colombia este tipo de sistemas son muy escasos, los pocos cultivos aeropónicos implementados en el país carecen de automatización, la cual permite aprovechar al máximo el rendimiento de este sistema. A continuación, se describe el proceso para el desarrollo de un prototipo automatizado de producción aeropónica con interfaz gráfica, que permita controlar el riego y variables como humedad relativa, temperatura y la supervisión de PH; escalable con posibilidad de efectuar modificaciones que permitan mejorar el sistema, manipulando otro tipo de variables y adaptando nuevos métodos de comunicación que ayuden a monitorear y controlar el sistema de manera remota. Todo el desarrollo se realizó con elementos tecnológicos que se encuentran en el mercado colombiano y buscando siempre la mejor relación entre costo/funcionamiento con la visión de que este prototipo se convierta en un sistema viable en cuanto a producción, costos y optimización de recursos para la agricultura.

## ***Metodología***

El desarrollo del proyecto se basó en una metodología de investigación aplicada, en la cual se busca la aplicación de conocimientos y se priman los resultados prácticos obtenidos. Es importante aclarar que se realizó desde un enfoque cuantitativo que permitió mediante análisis matemáticos y estadísticos avanzar en el alcance de los objetivos del proyecto y concluir sobre el mismo.

Se ha seleccionado el modelo ADDIE que cuenta con 5 fases análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación; es suficientemente flexible para permitir la modificación y elaboración basada en las necesidades de la situación, según Seels & Glasgow (1990) se pueden identificar tareas específicas para cada fase y los resultados obtenidos al finalizar cada una.

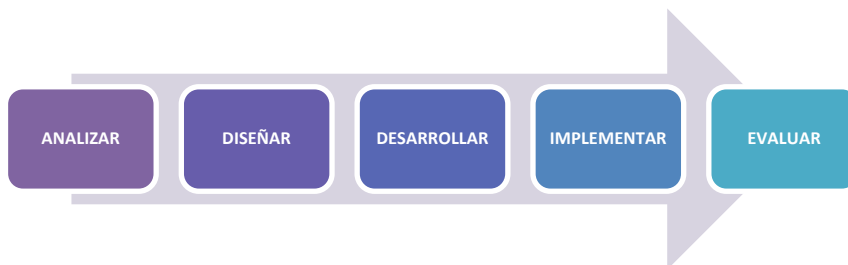


Figura 2. Modelo ADDIE (Los Autores)

Tabla 1. Actividades para cada fase del modelo

Fase	Actividad
<b>Analizar</b>	<p>Corresponde a la búsqueda de información sobre la temática investigada, haciendo énfasis en las diferentes estructuras físicas para el desarrollo de la aeroponía y las variables controladas; se realizó en bases de datos reconocidas como (Scienti, Scielo, Scopus, etc.), revistas informativas sobre el área, páginas web de empresas dedicadas a la temática objeto del proyecto.</p> <p>En esta etapa se realizaron visitas técnicas a diversos cultivos aeropónicos en nuestro país.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo aeroponía</li> <li>• Estructuras y automatización</li> <li>• Implementación en Colombia</li> <li>• Humedad, temperatura y PH</li> </ul>
<b>Diseñar</b>	<p>Corresponde a una primera fase del diseño ingenieril e incluye determinación de requisitos técnicos, componentes y planos; el diseño se aplicó a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura física</li> <li>• Sistema de riego</li> <li>• Control de variables</li> </ul>
<b>Desarrollar</b>	<p>Corresponde al desarrollo del software, revisión y simulación de los productos del diseño.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de supervisión y control de variables</li> <li>• Interfaz gráfica</li> </ul>
<b>Implementar</b>	<p>Corresponde al montaje de la estructura física, sensores, actuadores, sistema de control y comunicación junto con la interfaz gráfica, se realizan pruebas de funcionamiento y ajustes.</p>
<b>Evaluar</b>	<p>Se realizaron pruebas del sistema implementado con especímenes de cilantro, en esta etapa es clave el uso de la observación para poder alcanzar un punto ideal de funcionamiento del sistema que garantice el óptimo desarrollo del ciclo de vida de las plantas de prueba.</p>

A continuación, se hace un breve recuento sobre los aspectos más importantes relacionados a cada una de las fases del método ADDIE en el cual se basó el proceso investigativo.

## ***Fase 1: Análisis***

### **Desarrollo De La Aeroponía**

Si bien la aeroponía se considera una técnica de cultivo moderno, lo cierto es que se ha intentado cultivar plantas en recipientes o contenedores a lo largo del tiempo. Las pinturas murales que se encontraron en el templo de Deir el-Bahari (1480-1458 a.c) parecen ser el primer caso documentado de plantas cultivadas en recipientes sobre el suelo (Naville, 1913). Investigaciones recientes han descubierto que culturas tan antiguas como los babilonios o aztecas ya usaban técnicas de cultivo en las cuales los nutrientes se obtenían de fuentes distintas al suelo. (Lakkireddy, Kasturi, & Sambasiva Rao, 2012).

El primer sistema moderno aeropónico fue desarrollado en 1928 por el doctor Franco Massatini de la universidad de Pía, quien creó lo que se conoce como “columnas de cultivos”; éstas consisten en un cilindro de PVC u otros materiales puestos de forma vertical y con perforaciones en las paredes laterales donde se insertan las plantas al momento del trasplante. Las raíces crecen en oscuridad y pasan la mayor parte del tiempo expuestas al aire. (Rojas, 2018).

En esta misma época y a principios de 1940 Carter (1942) desarrolla un cultivo de plantas en vapor de agua, para de esta forma poder facilitar la evaluación de las raíces de la planta. Luego, en 1944, L.J Klotz investiga sobre plantas de cítricos empañadas por vapor de agua en una investigación derivada de sus estudios sobre enfermedades en raíces y cítricos. (Gopinath, Vethamoni, & Gomathi, 2017) Trece años después Went (1957) realiza un estudio de cultivos en aire haciendo uso de la aspersion el cual se denominó aeroponía (Mbiyu, y otros, 2012).

AgriHouse, empresa dedicada al desarrollo de sistemas aeropónicos, indica que se puede reducir el consumo de agua en un 98%, el uso de fertilizantes en un 60%, pesticidas en un 100% y maximizar los rendimientos de los cultivos en porcentajes que van del 45 al 75%. Además, los resultados de la SBIR (sistema aeropónico cerrado de alto rendimiento e insensible a la gravedad para la producción de alimentos en el espacio) y la NASA demostraron que la tecnología aeropónica aumenta en un 80% la biomasa de peso seco por metro cuadrado en comparación con las técnicas de cultivos tradicionales basadas en el suelo. (SPINOFF, 2006).

Para el año 2006 la aeroponía ya era una técnica usada ampliamente alrededor del mundo. Farran y Mingo (2006) reportaron un rendimiento mínimo de 800 tubérculos /m<sup>2</sup> a una densidad de 60 plantas /m<sup>2</sup> durante un período de cinco meses con cosechas semanales; esto se traduce en una tasa de multiplicación de 1:13. (Farran & Mingo-castel, 2006).

También en el centro internacional de la papa en Perú se obtuvieron rendimientos de más de cien tubérculos por planta. (Otazu, 2009).

### Estructuras y automatización

Los desarrollos de diferentes estructuras para cultivos aeropónicos han facilitado y catapultado el avance, experimentación y puesta en marcha de tecnologías nuevas para la producción de cultivos que no hacen uso del suelo como sustrato; todo esto lleva consigo la realización de actividades de investigación que permiten suplir las necesidades específicas que poseen los cultivos aeropónicos. Tales necesidades son, entre otras, el manejo de nutrientes, control de variables y control de plagas.

### *Aeroponía horizontal*

Este sistema se riega por medio de una densa niebla con solución nutritiva en lugar de la tradicional pulverización fina de las partículas usado en otros sistemas. Las raíces de las plantas se mantienen irrigadas dentro de un pequeño gabinete puesto a 60cm del piso, y el cual sirve de base para las plantas. Una parrilla de caños plásticos va puesta con los pulverizadores a 15 cm del piso dentro de la estructura. Los líquidos que se condensan regresan al tanque a través de una pequeña pendiente del plástico usado como piso y recirculan de nuevo al tanque en forma de niebla.

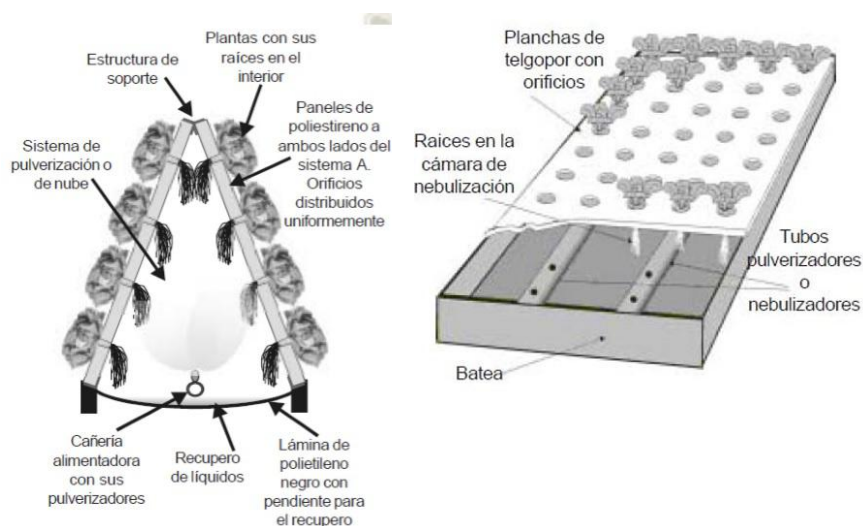


Figura 3. Sistema aeropónico horizontal y sistema aeropónico vertical.  
Recuperado de (Rosas, 2012)

El sistema horizontal se convierte en una óptima y adecuada opción para el caso de producciones en grandes cantidades de cultivo; y una de las grandes ventajas es que el sistema de riego se realiza de forma uniforme y todas las plantas reciben la misma cantidad de luz solar al día.

Este sistema permite la adaptación para diferentes plantas, siempre en función de las dimensiones radicales del tallo. Una desventaja posible de este sistema es la ocupación de espacio, pero esto se contrarresta con la fácil adaptación de más paneles horizontales, que pueden acomodarse uno encima de otro; característica que, junto a la iluminación artificial, forman un tipo de cultivo vertical y permiten el aprovechamiento en gran medida del espacio.

### ***Variables humedad temperatura y ph***

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias (Portilla, 2016).

Importancia: es necesario tener presente el nivel de PH apropiado para cada tipo de planta, ya que dependiendo de si es ácido o alcalino, los nutrientes se disuelven muy rápido o puede tener problemas para disolverse, ocasionando exceso o deficiencia en la absorción de algún elemento nutricional en la planta.

La humedad relativa es la expresión porcentual de la cantidad de vapor de agua presente en el aire con respecto a la máxima posible para unas condiciones dadas de presión y temperatura. La cantidad de vapor de agua en el aire es bastante influyente y muy relacionado con la temperatura ya que debido a esas variaciones los puntos de condensación y evaporación se ven afectados y como consecuencia la disponibilidad de agua puede reducirse significativamente, generando secuelas negativas a la planta. (Martín & Pérez, 2017).

La temperatura es una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, ésta interfiere en el crecimiento de la planta, por lo tanto, es indispensable conocer los requerimientos climáticos de cada planta ya que si no contamos con estos parámetros adecuados, la temperatura ya sea alta o muy baja ocasionaría un crecimiento lento en la planta.

## ***Fase 2: Diseño***

En esta fase se realizó el diseño estructural de la cama aeropónica el cual se basó en un modelo de estructura horizontal que ya ha sido probado con éxito por la empresa aeropónicas de Colombia. Se realizaron algunas mejoras, como el uso de aluminio para

reducir el peso de la estructura un tanque bajo para ocupar el mínimo espacio posible y se incluyeron 5 mangueras de riego. El diseño se realizó para una estructura de 2m x 1m.

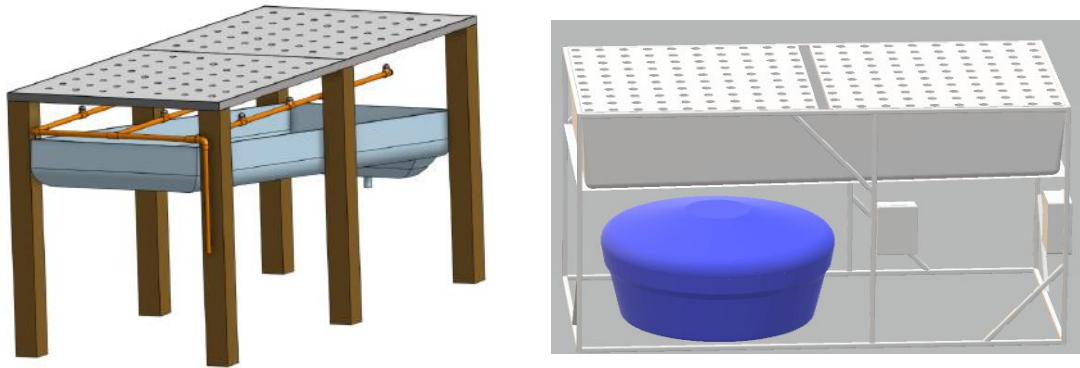


Figura 4. Diseños 3D iniciales de la estructura aeropónica (Los Autores)

En esta fase se determinaron los sensores y actuadores a implementar, así como el controlador; a continuación, se dan a conocer estos dispositivos:

Controlador – Raspberry Pi 3 B+. La selección del controlador se realizó con base en la mejor relación costo/beneficio a la vez que garantiza la posibilidad de implementar el software MyOpenLab para el desarrollo de la interfaz gráfica.



Figura 5. Raspberry pi 3 B+.  
Recuperado de: raspberrypi.org

Sensor de humedad y temperatura – SHT10. El sensor SHT10 implementado para la supervisión y control de la humedad relativa y temperatura dentro de la cama, se basa en comunicación  $I^2C$ , con alta precisión, rápida respuesta y bajo consumo. Temperatura hasta 120°C, Humedad: 0 ~ 100%.



Figura 6. Sensor de Humedad y Temperatura Industrial SHT10 (Izquierda) – Sensor de proximidad capacitivo NA-NPN (Derecha). Recuperado de: didacticaselectronicas.com

**Sensor Nivel.** Para medición de nivel bajo en el tanque se implementa un sensor de proximidad capacitivo tipo NPN normalmente abierto con señal de estado lógico 0 y 1, el voltaje de la señal depende del voltaje de alimentación, en este caso es de 5v. La conexión del sensor es muy sencilla, ya que posee 3 cables, 2 de alimentación y uno para conectar en un pin digital del microcontrolador. Es importantes aclarar que se debe adecuar el voltaje de la señal para voltajes mayores a 5v. Ya que se puede dañar el pin de entrada del microcontrolador.

**Sensor de PH.** La medición de PH se realiza con un sensor análogo tipo OEM diseñado para controladores arduino, con un electrodo industrial con lectura en tiempo real, la tarjeta de dispositivo se conecta los 2 cables de alimentación de 5v y un cable que va a uno de los pines análogos del arduino, además cuenta con un conector BNC para acoplar el electrodo.



Figura 71. Gravity: Kit analógico de pH / sensor de pH para Arduino. Recuperado de (dfrobot.com. s.f.).



### ***Fase 3: Desarrollo***

En esta fase se desarrollaron las tarjetas necesarias para la integración de los diferentes dispositivos electrónicos, así como la interfaz gráfica de usuario; esta última se desarrollo en el software MyOpenLab.

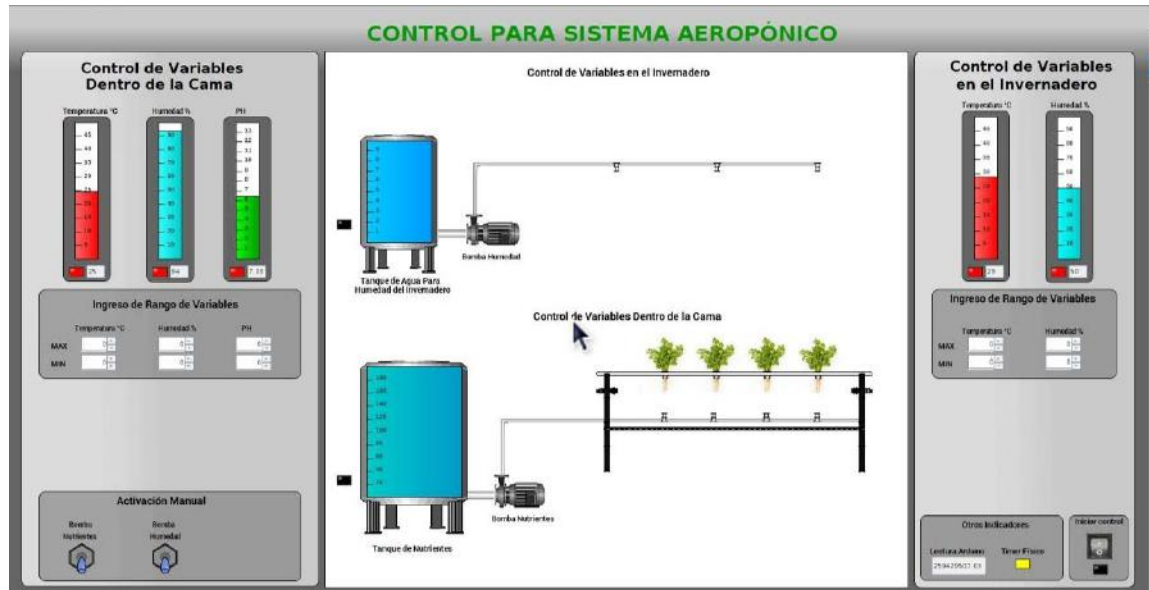


Figura 8. Interfaz gráfica desde celular para monitoreo de las variables Fuente de los autores.

La interfaz gráfica permite visualización, control y registro de datos de las variables de humedad relativa, temperatura y supervisión de PH en la cama aeropónica. La interfaz se encuentra diseñada para futuras modificaciones, ésta también tiene una simulación del control de humedad y temperatura en el invernadero, que se ejecutara cuando se instale el sensor y el actuador.

### ***Fase 4: Implementación***

En esta fase se integraron todos los dispositivos que conforman el prototipo aeropónico automatizado.

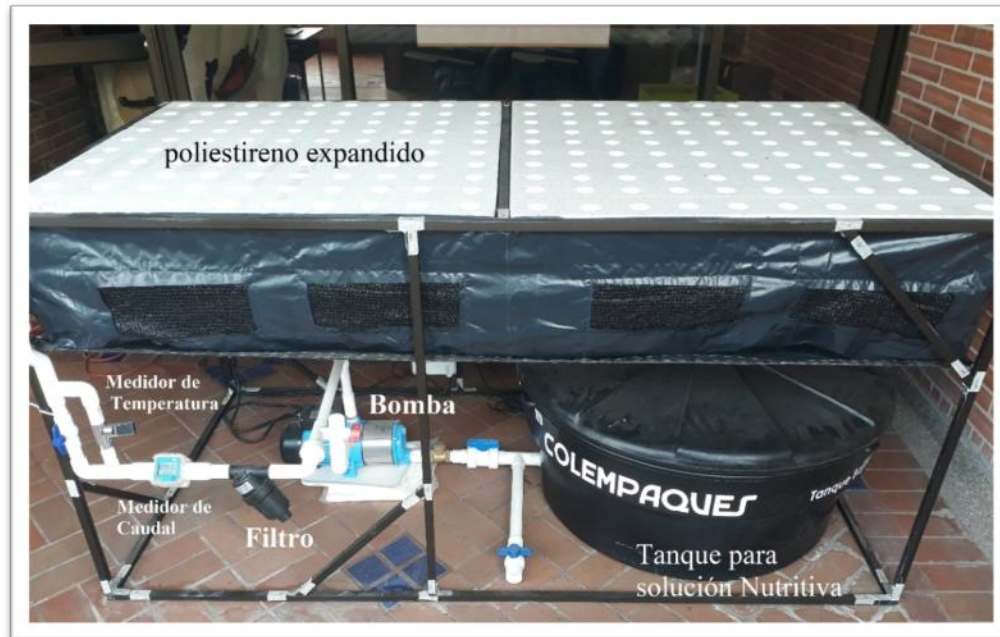


Figura 9. Prototipo aeropónico automatizado.  
Fuente de Los autores.



Figura 10. Sistema electrónico de control.  
Fuente de los autores.

El prototipo final es el que se muestra en la figura 13, es una estructura horizontal de 2m x 1m, que permite la siembra de 100 plantas por metro cuadrado cuenta con tanque para solución nutritiva, una bomba de 1hp, tubería en pvc de 1/2", sensor de temperatura del agua, sensor de flujo, sensor de temperatura y humedad en la cama (donde se encuentran las raíces),

sistema electrónico de control, etapa de potencia para control de riego. Se pudo obtener un diseño compacto, resistente y que permite el control de las variables de humedad y temperatura.

## **Resultados**

Para realizar la validación del funcionamiento del prototipo, se sembraron especímenes de cilantro y se realizaron 2 siembras; obteniendo excelentes resultados en cuanto a productividad y tiempo de cosecha, se compararon respecto a un cultivo en tierra de 1m<sup>2</sup>. A a continuación, se dan a conocer los resultados obtenidos.

La productividad de las cosechas en el prototipo es superior a la obtenida en el cultivo tradicional en tierra, la comparación se realizó teniendo como base que un cultivo rentable de cilantro produce 1100gr/m<sup>2</sup>. En la primera y segunda prueba se obtuvo un rendimiento en el prototipo de 128% y 198% respecto al cultivo rentable; el cultivo en tierra arrojó una productividad de 28% y 74%.

Tabla 2. Comparación de resultados de cultivos en sistema tradicional (tierra) y Aeropónico

Sistema	% de productividad respecto a cultivo rentable (1100gr x m <sup>2</sup> )
Tradicional	Prueba 1 = 28%
	Prueba 2 = 74%
Aeropónico	Prueba 1 = 128%
	Prueba 2 = 198%

En cuanto a la biomasa final aérea, corresponde a la parte de la planta que se comercializa, las plantas en el prototipo aeropónico alcanzaron una biomasa entre 200% y 400% superior a las plantas en tierra.

Por último, se compararon los ciclos productivos obteniendo una reducción de 8 días para llegar al punto de cosecha, en las plantas del prototipo aeropónico.

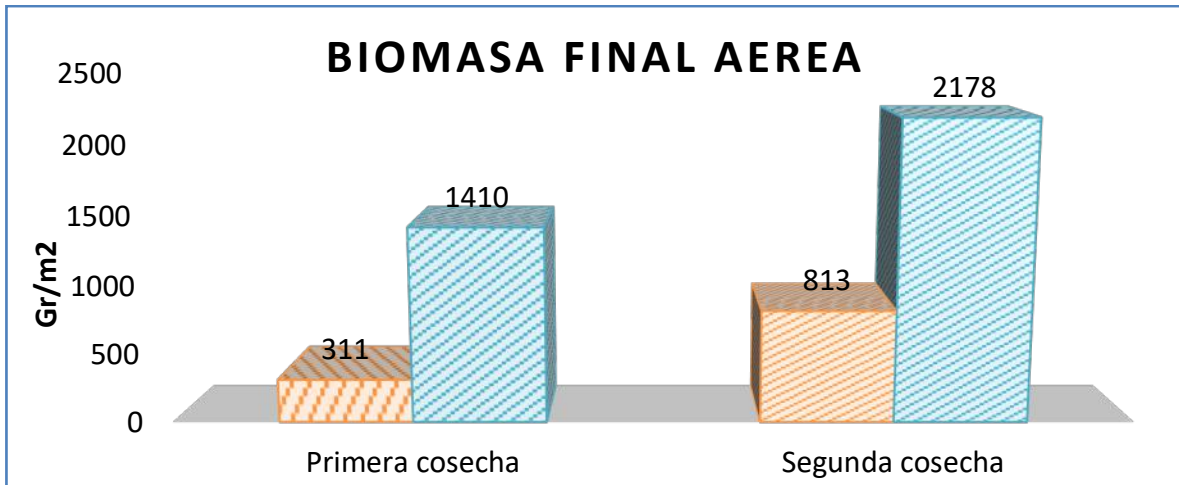


Figura 11. Comparación de biomasa Final Aérea  
Fuente de los autores.

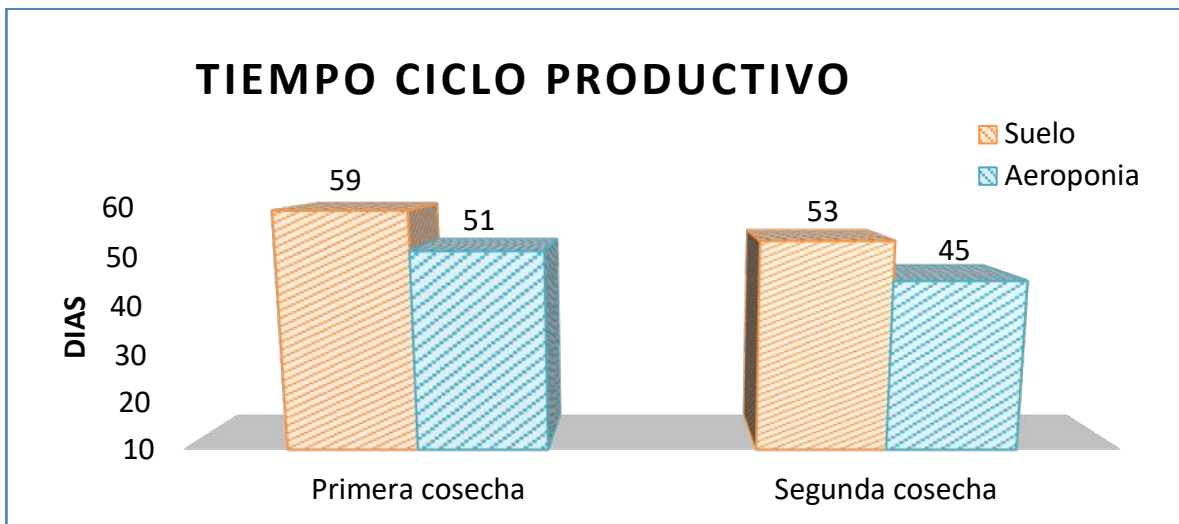


Figura 12. Tiempo del ciclo productivo.  
Fuente de los autores.

## ***Discusión***

Debido a las grandes extensiones de tierra fértil en Colombia, la masificación de nuevos sistemas de producción agrícola es muy baja y tal vez nula; solo algunos cultivos como el arroz tienen un alto nivel de tecnificación en su proceso de producción.

El sistema aeropónico presenta múltiples ventajas como las ya descritas anteriormente en cuanto a productividad, aprovechamiento de recurso hídrico y manejo de planta; ventajas que han sido comprobadas en el desarrollo y validación del prototipo aeropónico

automatizado. Sin embargo, este sistema exige una alta inversión inicial y sobre todo un nivel de automatización electrónica alto que permita la supervisión y control de diferentes variables vitales para el desarrollo de las plantas.

Por lo anterior, el desarrollo de este prototipo se enmarca en dos objetivos claves: el primero: disminuir costos de implementación, y el segundo: incorporar energías renovables para el soporte eléctrico del sistema de control; con ello se espera que este proceso productivo tenga mayor acogida y sea implementado en múltiples cultivos y así promover la tecnificación y desarrollo del sector agrícola.

Es importante reconocer que se están desarrollando múltiples proyectos alrededor de la aeroponía, pero no se ha divulgado de manera eficiente la poca información que se ha logrado recopilar hasta el momento y por ello el conocimiento se encuentra en manos de unos pocos. Específicamente en organizaciones e investigadores de Norteamérica y Europa que ven en la aeroponía el futuro de la agricultura, es así como la NASA (2007) lleva investigando más de 10 años en esta área. En la actualidad colombiana, es posible identificar algunos expertos temáticos, al respecto, Rosas (2012) y Echavarría (2018). demuestran la eficiencia de estos sistemas.

## ***Conclusiones***

Se demuestra que es posible desarrollar e implementar un sistema de producción aeropónica automatizada, con elementos de bajo costo presentes en el mercado colombiano, que incluya supervisión de humedad, temperatura y PH, así como el control de las dos primeras variables mediante una interfaz gráfica de usuario en un smartphone.

La interfaz gráfica de usuario se desarrolló en software libre, llamado MyOpenLab, de origen colombiano. El cual presenta alta similitud con Labview y permite su implementación en la Raspberry Pi 3B+ que realiza la función de controlador, mediante la interfaz es posible supervisar y controlar las variables del prototipo de manera remota.

El prototipo demuestra ser completamente funcional y permite el óptimo desarrollo de las plantas; se comprobaron las grandes ventajas del sistema de producción aeropónica, obteniendo 200% más de productividad respecto a un cultivo rentable de Cilantro, que fue la planta de prueba, y superando la productividad de un cultivo rentable según estadísticas agropecuarias.

Es necesario realizar más pruebas que permitan validar el funcionamiento con diferentes especies vegetales y bajo la supervisión de un agrónomo poder suministrar los nutrientes necesarios en los diferentes estadios del desarrollo de la planta y no una única solución nutritiva que fue la usada durante todo el proceso de validación.

## Referencias

- Arano, C.R. 1990. *La Gaceta del Cultivo Sin Tierra* (N° 3). Buenos Aires – Argentina.
- AVIMATIC SAS (10 de marzo de 2012). *Nebulizador ultrasónico* [Blog]. Recuperado de: <http://humidificadorultrasonico.blogspot.com.co/>
- Barker, B. (1922). *Studies on root development*. Long Ashton Res. Station Ann.Rep, 9–57.
- Castillo, Y. D. (2018). *Evolucion de la aeroponía en Colombia como innovacion Ambiental*. Tesis, Ibague-Tolima. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/21077/1/1110479431%20.pdf>
- Chaoyu Li. (2016. Marzo 10). *Spare FLOAT / BUOY for 10 head/disc ultrasonic MIST MAKER fogger* [Archivo de video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=yyDJ0TXhaKY>
- Dávila, A. S., & Santos, G. W. (2014). *Diseño, construcción e instalación de un módulo aeropónico para el cultivo de plántulas de papa (Solanun tuberosum l.) En las instalaciones del fundo “La Banda” Huasacache, Jacobo hunter, Arequipa*. Universidad católica de santa maría.
- Delgado, J. M., & Ortiz, D. E. P. (2017). *Desarrollo de un sistema de control para el riego y la iluminación de una granja vertical*, (6), 67–72. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali, Colombia.
- Dfrobot.com. (s.f.). *Gravity: Kit analógico de pH / sensor de pH para Arduino* [En Línea]. Recuperado de <https://www.dfrobot.com/product-1110.html>
- Durán, J. M., Martínez, E., & Navas, L. M. (2000). *Los cultivos sin suelo: de la hidroponía a la aeroponía*, 40–43. Recuperado de: [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_vrural/Vrural\\_2000\\_101\\_40\\_43.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural/Vrural_2000_101_40_43.pdf)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2017). *FAO*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>
- Pagliarulo, C. L., & Hayden, A. L. (2002). *Potential for greenhouse aeroponic cultivation of medicinal root crops*. Controlled Environment Agriculture Center, Department of Plant Sciences.
- Granda, L. F. M., & Allasi, A. E. R. (2013). *Respuesta de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L.) Producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa*. Universidad Católica de Santa María

- Retrieved from  
<http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/4461/67.0237.AG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. L. (1938). *The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil*. California Agricultural Experimented Station.
- Hoyos Velasco, F., Candelo, J. E., & Chavarria, H. J. (2019). Automatización de cultivos aeropónicos de cilantro libres de pesticidas. *Inge Cuc*, 15(1), 123–132. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.11>
- HYDRO ENVIRONMENT S.A. (s.f.). *Que es el riego por nebulización [En Línea]*. Recuperado de: [http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=219](http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=219)
- Lakkireddy, K. R., Kasturi, K., & Sambasiva Rao, K. S. (2012). *Role of Hydroponics and Aeroponics in Soilless Culture in Commercial Food Production. Volumen 1 STM Journals*, 26-35.
- Martínez, Peñaloza, P.A. (2013). *Aeroponia Como Método De Cultivo Sostenible, Rentable E Incluyente En Bogotá D.C, Colombia*. Universidad Piloto de Colombia. [PDF]. Recuperado de: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000864.pdf>
- Myopenlab.com, (2017). *¿Qué es MyOpenLab? [En Línea]*. Recuperado de <https://myopenlab.org/inicio/>
- NASA. (23 de Abril de 2007). *Progressive Plant Growing is a Blooming Business*. National Aeronautics and Space Administration. Recuperado el agosto de 2019, de [https://www.nasa.gov/vision/earth/technologies/aeroponic\\_plants.html](https://www.nasa.gov/vision/earth/technologies/aeroponic_plants.html)
- Pelt, J. Van. (2005). *Success Story A High Performance, Gravity Insensitive, Enclosed Aeroponic Syst A High Performance, Gravity Insensitive, Enclosed Aeroponic System for Food em for Food Production in Space Production in Space*. Retrieved from [www.agrihouse.com](http://www.agrihouse.com)
- Portilla, P. J. (2016). *Diseño y construcción de un sistema de automatización para huerto doméstico con tecnología aeropónica*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Rivera, J. A. V. (2012). *Diseño de un Sistema de Riego Aeropónico Automatizado*. Universidad Autónoma de México. Tesis de grado maestro en ingeniería.
- Rosas Roa, A. (2012). *Agricultura Limpia. Tercera Edición*, Bogotá D.C, Colombia: Mafpac Impresores
- Rocha Caicedo, J. C., & Sánchez Calderón, J. D. (2017). *Desarrollo De Cultivo Aeropónico Vertical Usando Sistemas Electrónicos. Propuesta Trabajo De Grado*, Universidad Católica De Colombia, Bogotá D.C. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/143468578.pdf>

- Salutip. (2014). Como funciona un nebulizador [En Línea]. Recuperado de: <https://www.salutip.com/2014/05/como-funciona-el-nebulizador.html>*
- Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC). (s.f.). Demanda y uso de agua. Recuperado de: <http://www.siac.gov.co/demandaagua>*
- Wordreference.com. (s.f.). Definición de sensor [En Línea]. Recuperado de <http://www.wordreference.com/definicion/sensor>*
- Zobel, R. W., Del Tredici, P., & Torrey, J. G. (1976). Method for Growing Plants Aeroponically. *Plant Physiology*, 57(3), 344–346. Cabot Foundation, Harvard University, Petersham, Massachusetts 01366. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/7122670\\_Method\\_for\\_Growing\\_Plants\\_Aeroponically](https://www.researchgate.net/publication/7122670_Method_for_Growing_Plants_Aeroponically)*



# 8

## ***Fibroína de seda como biomaterial para ser usado en medicina regenerativa basada en ingeniería de tejidos***

### ***Silk fibroin as a biomaterial to be used in regenerative medicine based on tissue engineering***

Duverney Gaviria Arias<sup>1</sup>

#### ***Resumen***

La regeneración de tejidos usando células, factores de crecimiento y soportes constituyen una alternativa en la medicina regenerativa. La fibroína de seda es un excelente biosoporte, sus propiedades mecánicas únicas le permiten soportar procesos de adhesión y crecimiento celular. El objetivo es mostrar las características de fibroína de la seda obtenida del gusano de seda *Bombyx mori* L como biomaterial de soporte para el crecimiento de diferentes tipos celulares. La fibroína obtenida a partir de capullos de gusanos de seda *Bombyx mori* L se empleó para la fabricación de películas de fibroína íntegras y resistentes a condiciones de cultivo, se utilizaron películas de fibroína regenerada al 17%. Estas fueron caracterizadas teniendo en cuenta: estabilidad en condiciones de cultivo, ultraestructura, porosidad, ángulo de contacto y propiedades mecánicas. Finalmente se evaluó la capacidad

---

<sup>1</sup> Master en Biología Molecular y Biotecnología, Universidad Libre, [duverney.gaviria@unilibre.edu.co](mailto:duverney.gaviria@unilibre.edu.co)

de los andamios para soportar el crecimiento de diferentes tipos celulares como: fibroblastos, células madre mesenquimales y células madre derivadas de pulpa dental y la capacidad de diferenciación de las células madre mesenquimales sobre los soportes. Como resultado se obtuvo que el grosor promedio de las matrices de fibroína fue 30,1 $\mu$ m, con una estabilidad superior a 4 semanas en condiciones de cultivo, porosidad del 51% y una capacidad de retención de líquidos del 95%, un ángulo de contacto de 44,5° y un módulo de elasticidad de aproximadamente 200 MPa. Se identificó que los andamios de fibroína ofrecen a las células una matriz biocompatible en la cual las células pueden adherirse, crecer, multiplicarse y diferenciarse. Se plantea el uso de fibroína como un biopolímero natural que brinda un soporte mecánico, un microambiente óptimo y un mimetismo de la estructura organizacional de los tejidos, postulándose como un potencial biomaterial para procesos de crecimiento celular en medicina regenerativa e ingeniería de tejidos.

**Palabras clave:** Medicina regenerativa, ingeniería de tejidos, biomateriales, fibroína, células

### ***Abstract***

*The regeneration of tissues using cells, growth factors and supports constitute an alternative in regenerative medicine. Silk fibroin is an excellent bio-carrier, its unique mechanical properties allow it to support adhesion and cell growth processes. The objective is to show the fibroin characteristics of the silk obtained from the Bombyx mori L silkworm as a support biomaterial for the growth of different cell types. Fibroin obtained from Bombyx mori L silkworm cocoons was used for the manufacture of fibroin films that were intact and resistant to culture conditions, 17% regenerated fibroin films were used. These were characterized taking into account: stability under cultivation conditions, ultrastructure, porosity, contact angle and mechanical properties. Finally, the capacity of the scaffolds to support the growth of different cell types such as: fibroblasts, mesenchymal stem cells and stem cells derived from dental pulp and the differentiation capacity of the mesenchymal stem cells on the supports were evaluated. As a result, it was obtained that the average thickness of the fibroin matrices was 30.1 $\mu$ m, with a stability greater than 4 weeks under culture conditions, porosity of 51% and a liquid retention capacity of 95%, a contact angle of 44.5° and a modulus of elasticity of approximately 200 MPa. Fibroin scaffolds were identified as offering cells a biocompatible matrix in which cells can adhere, grow, multiply and differentiate. The use of fibroin as a natural biopolymer that provides mechanical support, an optimal microenvironment and a mimicry of the organizational structure of tissues is proposed, postulating as a potential biomaterial for cell growth processes in regenerative medicine and tissue engineering.*

*Keywords: Gas emissions, IoT, Visualization, Sensoric, processing, electronic design.*

## ***Introducción***

La baja disponibilidad de donantes y el aumento en la morbilidad debida a los procesos de trasplantes han establecido nuevas demandas en las tecnologías de ingeniería de tejidos (IT) como estrategia de tratamiento en fallos orgánicos (Langer & Vacanti, 1993). El enfoque de IT implica la regeneración del tejido en un soporte adecuado con el objetivo de implantarlo en el sitio objetivo. La regeneración del tejido funcional requiere un adecuado microambiente que imita el sitio original, con el fin de obtener una respuesta celular adecuada (Langer & Vacanti, 2016). Dicho entorno es proporcionado por una matriz 3D de ingeniería de tejidos o andamio, el cual proporciona las condiciones adecuadas para el crecimiento celular a la vez que orienta la forma del órgano o tejido a reparar (Kundu & Kundu, 2010). Además de la biocompatibilidad, requisito previo esencial para cualquier biomaterial, la capacidad de coincidir con el tiempo de degradación normal del tejido u órgano en el cual este va a ser implantado, es un requisito crítico para un material celular de andamiaje. Tales características mantienen las propiedades mecánicas y la integridad estructural del andamio en todas las etapas de su proceso de regeneración. Además, los productos de degradación del biomaterial se deberían metabolizar de forma segura y ser entonces eliminados del organismo. Materiales como polímeros, metales y cerámicas se utilizan ampliamente como andamios para el crecimiento celular en la ingeniería de tejidos. Se han ensayado polímeros sintéticos y naturales cada uno de los cuales tiene sus propias ventajas y limitaciones, por ejemplo, mientras que los materiales sintéticos permiten un fácil procesamiento y maleabilidad, los polímeros naturales poseen mejor cito y biocompatibilidad (Seal, Otero, & Panitch, 2001).

No existe un biomaterial universal que cumpla con los requisitos de los andamios para todos los tejidos, es por lo tanto necesaria la obtención de diferentes construcciones con características físicas, propiedades mecánicas y de degradación específicas para los diferentes tejidos. Por tanto, la investigación de un biomaterial universal es una línea de trabajo muy importante en medicina regenerativa. Diferentes tipos de proteínas tales como: colágeno, elastina, péptidos similares a la elastina, la albúmina y la fibrina se utilizan como material de suturas, andamios de tejidos, agentes hemostáticos y de distribución de medicamentos (Nair & Laurencin, 2007). La fibroína del gusano de seda es un biopolímero natural con una larga historia de aplicaciones en el cuerpo humano como suturas. Actualmente las suturas de seda se utilizan en los labios, los ojos, boca y en el tratamiento de heridas de la piel (Omenetto & Kaplan, 2010). La fibroína de la seda se usa cada vez más

en otras áreas de la ciencia biomédica, como resultado de los nuevos conocimientos en la manera en cómo esta puede ser procesada y como propiedades tales como la resistencia mecánica, elasticidad, biocompatibilidad y biodegradabilidad pueden ser controladas (Omenetto & Kaplan, 2010). Estas propiedades de la fibroína de la seda son particularmente útiles para la ingeniería de tejidos. Además, estudios recientes evalúan la seda como parte de un dispositivo electrónico flexible para el registro fisiológico y funcional en tiempo real, y el desarrollo de sistemas ópticos que pueden ser usados en el diagnóstico y tratamientos de diferentes patologías (Hota, Bera, Kundu, Kundu, & Maiti, 2012; Omenetto & Kaplan, 2008). La seda posee una excelente transparencia óptica (ca. 95%), una superficie con una notable suavidad y procesamiento en soluciones acuosas, todo lo cual facilita su aplicación como biosensores en óptica y fotónica (Omenetto & Kaplan, 2010; Tao, Kaplan, & Omenetto, 2012). Los sistemas basados en seda son implantables y tienen la funcionalidad y sensibilidad necesaria para aplicaciones avanzadas (Altman et al., 2003; Kasoju & Bora, 2012; Kundu & Kundu, 2010; Omenetto & Kaplan, 2010).

La fibroína del gusano de seda, *Bombyx mori* L., se ha utilizado ampliamente en el campo médico como material de sutura durante siglos. Sin embargo, problemas inmunológicos indeseables atribuidos a la presencia de la proteína sericina han limitado el uso de la fibroína en las últimas dos décadas (Vepari & Kaplan, 2007; Zhao, Li, & Xie, 2015). Por lo tanto, la eliminación de la proteína sericina, permite que la fibroína de seda en forma de fibra o fibroína regenerada en forma de películas presenten una biocompatibilidad similar a la observada con otros materiales de sutura utilizados comúnmente (Nazarov, Jin, & Kaplan, 2004). Estas observaciones han despertado nuevamente el interés en el uso de la fibroína de seda como biomaterial (Caballero, Rivera, & Gaviria, 2016; Gaviria & Caballero, 2015; Wang et al., 2016). Se ha demostrado que en material (fibroína) puede existir crecimiento de líneas celulares en placas de cultivo (Nazarov et al., 2004), ejemplo de ello, la línea celular de fibroblastos de ratón, L929, creció fácilmente en las películas hechas de fibroína (Liu et al., 2010). Se ha utilizado fibroína de seda con peso molecular variado colocadas en superficies de L, D ácido poli láctico, el cual facilitó la fijación y el crecimiento de osteoblastos *in vitro* (B. Chen et al., 2017). Se ha notado que células similares a osteoblastos crecieron fácilmente en las películas de fibroína modificada con secuencias de reconocimiento de integrinas y se observó, adicionalmente, la inducción de marcadores de formación ósea (Melke, Midha, Ghosh, Ito, & Hofmann, 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este documento es mostrar los resultados encontrados con relación a las características de la fibroína como biomaterial a nivel físico/químico, mecánico y de ultraestructura. De igual manera mostrar las propiedades

de citocompatibilidad y citotoxicidad con el uso de diferentes líneas celulares, y finalmente la interacción que las células establecen al crecer sobre el biomaterial.

## ***Metodología***

### **Preparación biomaterial**

Para el desgome se siguió el procedimiento reportado (Caballero et al., 2016). Los capullos fueron cortados a la mitad y sometidos a ebullición en una solución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0,02M por 45 a 60 minutos (5 g de capullos/1 litro de solución). La fibroína desgomada obtenida fue lavada y secada en horno a 60°C por 6 horas. Se preparó una solución al 10% (p/v) de fibroína utilizando LiBr 9,3M e incubando en baño maría a 60°C por 4 horas. La fibroína disuelta obtenida fue filtrada y centrifugada con el fin de eliminar (Bhardwaj, Chakraborty, & Kundu, 2011; Caballero Méndez & Gaviria Arias, 2019; Garcia Fuentes, Meinel, Hilbe, Meinel, & Merkle, 2009; Gellynck et al., 2008, 2013; Banani Kundu, Rajkhowa, Kundu, & Wang, 2013; Y Wang, Blasioli, Kim, Kim, & Kaplan, 2006; Wray et al., 2011) Con el fin de remover el LiBr, la fibroína fue dializada contra agua destilada utilizando tubos de membrana para diálisis (Spectra/Por MWCO 68000). (Caballero et al., 2016). La solución obtenida fue contradializada empleando polietilenglicol al 30% (Av. Mol Wt 8000) hasta conseguir una concentración de fibroína de 17% confirmado por el método de Bradford (Bradford, 1976).

### **Preparación soportes**

De la solución previamente preparada se tomaron 24 ml y se sirvieron en cajas cultivo de 35mm, se secaron ya sea mediante flujo de aire en cabina de flujo laminar o mediante calentamiento a 90°C por 24 horas, con el fin de estabilizar la película e inducir su cristalización e insolubilidad sugiriendo la formación de hoja  $\beta$  en la estructura de la fibroína. En aquellas películas secadas por aire, la formación de hoja  $\beta$  fue lograda mediante el uso de metanol durante 30s. Las cajas de cultivo fueron esterilizadas con etanol al 70%, seguido de lavados con Dulbecco's Phosphate Buffered Saline 1x pH 7.1 (DPBS). Finalmente, las películas fueron acondicionadas con 2 ml de medio de cultivo Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM) + Glutamax, (4.5g/L D Glucosa, 25mM HEPES y sin piruvato de sodio) en incubadora de CO<sub>2</sub> a 37°C por 48 horas (Caballero & Gaviria, 2019; Caballero et al., 2016; Gaviria & Caballero, 2015; Gaviria, Guevara, & Cano, 2018).

## **Crecimiento células sobre soportes**

El crecimiento celular fue evaluado en cajas de cultivo de poliestireno de 35 mm revestidas con películas de fibroína al 17%, preparada como se describió anteriormente. El cultivo de los fibroblastos se inició con 48.000 cel/mL, el cambio de medio se llevó a cabo cada 3 días, hasta que las células alcanzaron un 80% de confluencia. Las células fueron desprendidas con el uso de 1 mL de solución de Tripsina/EDTA (Invitrogen, USA) en una proporción 3:1 (0,25%), durante 1min a 37°C, la reacción fue detenida añadiendo 2 mL. de medio completo. El conteo celular y la viabilidad fueron llevados a cabo en cámara de Neubauer con el uso de la coloración supra vital azul de tripán, como control de crecimiento se usaron células (HDFn) en cajas de cultivo sin recubrimiento de fibroína en medio completo (Gaviria et al., 2018).

## **Pulpa dental**

La pulpa dental fue fraccionada en pequeños trozos con ayuda de un bisturí estéril. Después se sometió a digestión enzimática con una solución 1:1 de dispasa (2mg/mL)/colagenasa tipo I (4mg/mL) durante 50 minutos a 37°C. Pasado este tiempo, el proceso de digestión se detuvo mediante dilución con 5 volúmenes de medio de cultivo DMEM completo; la solución se centrifugó a 500xg por 6 minutos con descarte del sobrenadante y resuspensión del botón celular en 3mL de medio DMEM completo. La suspensión celular se sembró en 3 placas T25, utilizando 1mL de la suspensión con 5mL de medio de cultivo DMEM completo por cada placa, para después mantenerlas en incubación a 37°C, 5% CO<sub>2</sub> y 90% de humedad durante 7 días. Finalizados los 7 días de incubación, se retiró el medio de cultivo de cada placa T25 y se vertió medio de cultivo DMEM completo nuevo para evitar inanición celular por carencia de nutrientes y descenso del pH del medio producto del metabolismo celular. El recambio de medio se realizó cada 2 días por un periodo de 12 días (Caballero et al., 2016).

## **Fibroblastos**

El cultivo de los fibroblastos se inició con 48.000 cel/mL, el cambio de medio se llevó a cabo cada 3 días, hasta que las células alcanzaron un 80% de confluencia. Las células fueron desprendidas con el uso de 1 mL de solución de Tripsina/EDTA (Invitrogen, USA) en una proporción 3:1 (0,25%), durante 1min a 37°C, la reacción fue detenida añadiendo 2 mL. de medio completo. El conteo celular y la viabilidad fueron llevados a cabo en cámara de Neubauer con el uso de la coloración supra vital azul de tripán, como control de crecimiento

se usaron células (HDFn) en cajas de cultivo sin recubrimiento de fibroína en medio completo (Gaviria et al., 2018).

### **Células madre mesenquimales**

Se utilizaron células madre mesenquimales (CMMs) StemPro® (Gibco Life Technologies) provenientes de médula ósea humana de donantes anónimos en subcultivo S4. Las células fueron cultivadas como una mezcla de células adherentes hasta el subcultivo S7 en incubadora al 5% de CO<sub>2</sub>, atmósfera húmeda, 37°C. Se empleó el medio Mesenquimal Stem Cell Growth Medium suplementado con 50ml MCGS y 10ml LGlutamina (200 mM), 0.5ml de sulfato de gentamicina /anfotericina B (50mg/ml). La viabilidad celular fue evaluada con una cámara de Neubauer bajo microscopio óptico utilizando el ensayo de exclusión con azul de tripán. Las células obtenidas fueron sembradas sobre las películas de fibroína y sobre cajas sin fibroína con una densidad de siembra de 5000 células/cm<sup>2</sup> (Caballero & Gaviria, 2019).

### **Evaluación física biomateriales**

Con el fin de evaluar la estabilidad de las películas de fibroína regenerada, se tomaron 3 cajas de cultivo con películas de fibroína, estas fueron lavadas inicialmente con solución amortiguadora salina fosfato (PBS) 1X estéril y posteriormente incubadas durante tres semanas con 2 mL de medio completo (DMEM + SFB 10% + antibióticos). La estabilidad se basó en la liberación de proteínas, péptidos o aminoácidos desde el andamio, como blanco se usó medio completo. Esta liberación fue cuantificada mediante espectrofotometría a 280nm usando equipo NanoDrop 2000 (Thermo scientific, USA). La cuantificación fue llevada a cabo los días 8, 16 y 24, para esta se tomó 1 µL de medio de cada una de las placas, con y sin película de fibroína. Se evaluó la porosidad de las películas de fibroína regenerada mediante el método de desplazamiento de líquido (Kim, Park, Kim, Wada, & Kaplan, 2005). En este ensayo se usó hexano, en la medida que este no disuelve la fibroína y a pesar de permear a través de esta no produce una hinchazón significativa. Para la medición, las películas de fibroína fueron sumergidas en un volumen conocido de hexano (V1) en una probeta calibrada durante 5 min. Se registró el volumen total del andamio de fibroína regenerada impregnado con hexano junto con hexano (V2). Se registró el volumen de hexano residual en el cilindro después de retirar el andamio impregnado con hexano (V3). Finalmente, la porosidad (A) de la película de fibroína se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\% A = (V1 - V3) / (V2 - V3) * 100 \text{ (Gaviria et al., 2018)}$$

La capacidad de absorción de agua fue también evaluada; el peso en seco de películas de fibroína fue registradas ( $W_d$ ), luego se sumergieron 24 horas en un volumen conocido de agua y se registró su peso húmedo ( $W_s$ ), el porcentaje de absorción de agua se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Contenido H}_2\text{O} = ((W_s - W_d) / W_d) * 100 \quad (\text{Gaviria et al., 2018})$$

### **Caracterización ultraestructural y medición del ángulo de contacto**

La evaluación de las características ultraestructurales de las películas de fibroína se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de barrido (MEB). El equipo utilizado fue un JEOL, modelo JSM 6490LV con un haz de electrones acelerado ajustado entre 520 kV. Este proceso fue realizado en las instalaciones del Centro de microscopía de la Universidad de los Andes; Bogotá, Colombia. Para esto las películas de fibroína fueron fragmentadas (1020 mm<sup>2</sup>) y observadas a aumentos de 8X, 50X, 400X, 1000X y 2000X. Además, también se evaluaron las propiedades de histocompatibilidad de las películas de fibroína regenerada por medio de la evaluación del ángulo de contacto. Para esta medición se utilizaron 4 uL de agua, con el fin de mantener el principio de esfericidad, los cuales fueron depositados en un soporte hidrofóbico (papel parafilm) y sobre la superficie de la película, se realizaron 10 mediciones para la determinación del ángulo con el uso del programa de análisis de imágenes Image J (<https://imagej.nih.gov/ij/>) (Gaviria et al., 2018).

### **Caracterización mecánica de los soportes de fibroína**

Las propiedades mecánicas de los andamios de fibroína se determinaron usando un microtester Instron 5848 (Canton, MA, USA) en el Laboratorio de Mecánica de la Universidad de los Andes; Bogotá, Colombia. Se montaron tiras rectangulares de 4 x 4 mm. Todos los ensayos se realizaron a una velocidad de extensión de ensayo de 1 mm/min, tanto a 25°C como 37°C, con una humedad relativa de 50-60%. Se utilizó una celda de carga de 0,5 kN. Los resultados fueron obtenidos a partir del uso de 5 probetas de ensayo. Se registraron datos correspondientes a las siguientes variables: Factor de Ruptura,  $Fr$  (kN/m), Esfuerzo Máximo:  $\sigma_{\text{máx}}$  (MPa), Esfuerzo a la ruptura:  $\sigma_{\text{rup}}$  (MPa), Elongación a ruptura,  $L_{\text{rup}}$  (%), Esfuerzo de fluencia:  $\sigma_{\text{ys}}$  (MPa) y Elongación en fluencia,  $L_{\text{ys}}$  (%) (Gaviria et al., 2018).



## **Diferenciación condrogénica de células madre sobre soportes de fibroína**

Las células fueron cultivadas como una mezcla de células adherentes hasta el subcultivo S7 en incubadora al 5% de CO<sub>2</sub>, atmósfera húmeda, 37°C. Se empleó el medio Mesenquimal Stem Cell Growth Medium suplementado con 50ml MCGS y 10ml LGlutamina (200 mM), 0.5ml de sulfato de gentamicina /anfotericina B (50mg/ml). La viabilidad celular fue evaluada con una cámara de Neubauer bajo microscopio óptico utilizando el ensayo de exclusión con azul de tripán. Las células obtenidas fueron sembradas sobre las películas de fibroína y sobre cajas sin fibroína con una densidad de siembra de 5000 células/cm<sup>2</sup>. El ensayo se realizó por triplicado con tiempos de incubación de 14 y 21 días. Cuando las células alcanzaron una confluencia del 40-50%, se indujo el proceso de diferenciación condrogénica utilizando medio de cultivo que contenía DMEM + Glutamax con indicador de pH rojo de fenol suplementado con suero fetal bovino al 10% v/v (SFB), fungizona 0.1%, penicilina/estreptomicina/neomicina 1% (PSN), ácido ascórbico 50ug/ml, dexametasona 100nM, 10ng/ml proteína morfogenética ósea recombinante humana (BMP2), 10ng/ml BMP4, 10ng/ml Proteína de crecimiento transformante β recombinante humana (TGF β3), 100ng/ml factor de crecimiento de tipo insulina recombinante humana (IGF1), 1x de insulina, transferrina, selenio (ITS). Para los ensayos en los que se evaluaba la fibroína para soportar el crecimiento celular se utilizó Medio Eagle Modificado por Dulbecco (DMEM), con indicador de pH rojo de fenol suplementado con glutamax, SFB al 10%, fungizona 0.1% y PSN al 1%. Como control positivo del proceso de diferenciación se usaron CMMs sembradas sobre cajas de poliestireno cultivadas con medio de diferenciación; como control negativo, CMMs sembradas sobre películas de fibroína incubadas con medio de expansión sin factores de crecimiento y como control general del proceso de crecimiento CMMs sembradas sobre cajas de poliestireno alimentadas con medio de cultivo sin factores de crecimiento. Las células sembradas fueron incubadas a 35°C, 5% de CO<sub>2</sub> y atmósfera de humedad.

## **Interacción células soporte**

Para confirmar la interacción de las células con los andamios de fibroína, se empleó MEB, inicialmente, los andamios con células fueron fijados con una solución de paraformaldehído al 4% (Merk, USA), posteriormente, deshidratados mediante lavados progresivos de alcohol etílico desde 50% hasta 100%, finalmente, secados a punto crítico (SPC) empleando el equipo SAMDRI®795 (USA). Las películas de fibroína con células fueron fragmentadas (1020mm<sup>2</sup>) y observadas a 8X, 50X, 400X, 1000X y 2000X en las instalaciones del Centro de microscopía de la Universidad de los Andes; Bogotá, Colombia (Gaviria et al., 2018).

## **Análisis estadístico**

El análisis de los datos se realizó en los paquetes estadísticos GraphPad Prism 6.0 e InfoStat. Con el fin de determinar el impacto de las películas de fibroína sobre la viabilidad y recuento celular se realizó el modelo estadístico ANOVA de dos vías, previo a esto se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilk y la homogeneidad de la varianza mediante la prueba de Bartlett. Todos los análisis estadísticos se realizaron bajo un nivel de significancia estadística del 95% (Caballero & Gaviria, 2019).

## **Resultados**

### **Preparación soportes**

Se obtuvieron películas estables, transparentes y resistentes, que no se disolvieron al contacto con el medio de cultivo empleado para la alimentación de las células durante los 21 días que duró el ensayo, la película no influyó en la viabilidad ni en la multiplicación celular indicando que el uso de temperatura favoreció la cristalización de la proteína lo que sugiere la inducción en la formación de estructuras secundarias tipo hojas beta haciéndola insoluble. El proceso de esterilización con etanol al 70% demostró ser efectivo, ya que el cultivo de los sobrenadantes dio negativo a los 7 días de incubación (datos no mostrados) (Caballero et al., 2016).

### **Crecimiento células sobre soportes**

- Pulpa dental

Las células sembradas sobre las películas de fibroína estéril alimentadas cada dos días se comportaron de manera similar al control positivo. Se observaron células fusiformes adheridas a la superficie de la película con presencia de colonias celulares en los primeros días de incubación. La morfología de las células sembradas sobre las películas de fibroína durante todo el proceso de incubación fue similar al control positivo. Las células que alcanzaron una confluencia cercana al 80% fueron desprendidas en los días 5°, 11°, 18° y 27°, las películas de fibroína junto con el remanente de células se reincubaron con 2 mL de DMEM completo hasta obtener una confluencia cercana al 80%, para realizar de nuevo el proceso de disgregación celular con tripsina al 0.5%. Las células obtenidas del proceso de disgregación se congelaron a 196°C en nitrógeno líquido. Cada recambio de medio de cultivo fue monitoreado mediante el análisis de gérmenes comunes para verificar su esterilidad con

resultados dentro de la especificación para todos los monitoreos: <1 UFC/100 $\mu$ L a los 7 días de incubación (Caballero et al., 2016).

- Fibroblastos

El crecimiento celular no presentó diferencias significativas con respecto al control de crecimiento; se observa una distribución homogénea del crecimiento de los fibroblastos humanos adheridos a la superficie de la película de fibroína. No hubo variación en la morfología celular del crecimiento tanto en placas revestidas de fibroína como en placas control. La citotoxicidad y el recuento celular se realizaron a los 5, 10 y 15 días de cultivo. Como se reporta, los porcentajes de viabilidad celular oscilaron entre 90-95%, evaluada por coloración supra vital, azul de tripan, tanto para fibroblastos control como fibroblastos crecidos en las películas de fibroína (Gaviria et al., 2018).

- Células madre mesenquimales

Se estableció un cultivo primario de CMMs utilizando DMEM suplementado con SFB al 10%. El seguimiento de los cultivos durante la etapa de expansión celular realizado mediante microscopio invertido y microscopio vertical permitió observar células adheridas a la superficie de las películas de fibroína, con características morfológicas típicas de CMMs entre las que se incluye su forma fusiforme tipo fibroblastoide con formación de colonias celulares en su crecimiento inicial como lo reportan investigaciones basadas en cultivo de CMMs. (Baugé & Boumédiene, 2015; Caballero & Gaviria, 2019; Csaki, Schneider, & Shakibaei, 2008; Kassem, Kristiansen, & Abdallah, 2004).

### **Evaluación física biomateriales**

Según los resultados obtenidos, las películas de fibroína mostraron una mayor resistencia en términos de rigidez a temperatura ambiente de 25°C, ya que se necesitó mayor fuerza de esfuerzo para su ruptura que en el caso de la evaluación de este parámetro a 37°C. Por otro lado, el porcentaje de estiramiento antes de la deformación de las probetas de ensayo fue mayor, (34,4%) a temperatura ambiente en comparación a una temperatura de 37°C, el cual fue de (20,2%) (tabla 1). Los datos mostrados representan el promedio de 5 réplicas biológicas  $\pm$  DE (Gaviria et al., 2018).

Tabla 1. Evaluación características mecánicas películas de fibroína.

Temperatura	Factor de Ruptura Fr (kN/m)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Elongación a ruptura (%)	Esfuerzo de fluencia $\sigma_{ys}$ (MPa)	Elongación en fluencia, Lys (%)
25°C	191,2 ± 77,6	28,9 ± 11,7	25,1 ± 10,9	34,4 ± 14,3	28,9 ± 11,7	33,4 ± 14,1
37°C	157,6 ± 101,2	25,6 ± 15,8	24,0 ± 17,4	20,2 ± 22,5	25,6 ± 15,8	15,5 ± 11,9

La relación entre el estado de esfuerzos inducido en películas de fibroína por la aplicación de una fuerza, y su deformación, fue representada gráficamente. Se observa una curva típica de la relación entre esfuerzo (MPa) y deformación (mm/mm) de fragmentos de películas de fibroína a temperatura ambiente (22°C) y a una temperatura de 37°C respectivamente (figura 1). El módulo de elasticidad se calculó como la pendiente de la región lineal de las curvas obtenidas, los resultados promedio fueron de 157.91 MPa para el biomaterial a 22°C y de 245.34 para el biomaterial a 37°C.

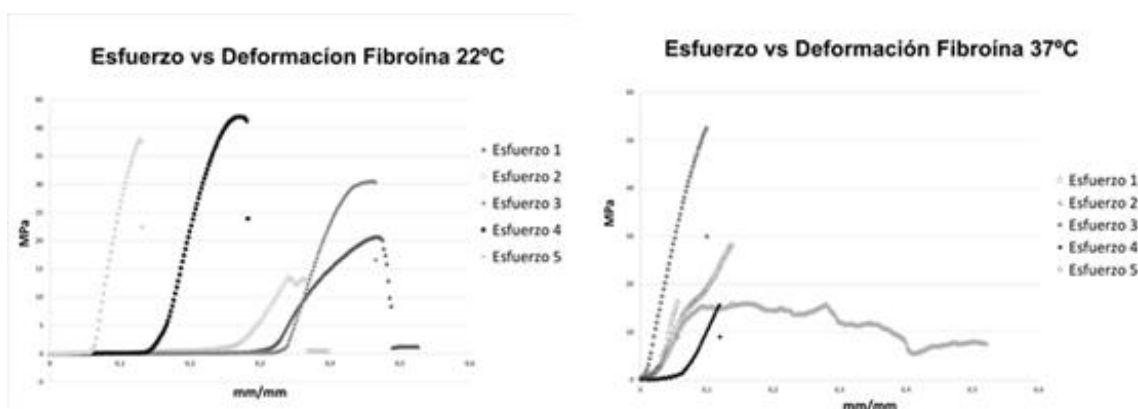


Figura 1: Evaluación de la resistencia mecánica de películas de fibroína. A) Secciones de películas de fibroína sometidas a tensión mecánica (MPa) por área (mm/mm) a temperatura ambiente 22°C; B) Secciones de películas de fibroína sometidas a tensión mecánica MPa por área mm/mm a 37°C (Gaviria et al., 2018).

Con el fin de verificar el nivel de estabilidad de los soportes de fibroína y su degradación en condiciones de cultivo. Las películas de fibroína regenerada fueron cultivadas y evaluadas en el tiempo. Según los resultados, las películas de fibroína regenerada mostraron un incremento en la liberación de proteínas al medio circundante; ya que se observó que la densidad óptica (OD) se incrementó hasta 3 veces con respecto al control (Medio de cultivo en ausencia de películas de fibroína). La liberación de péptidos y aminoácidos a partir de la matriz logra estabilizarse a la cuarta semana ya que se observa una reducción en la OD (figura 2). Los datos mostrados representan la media de 3 réplicas biológicas ± DE (Gaviria et al., 2018).

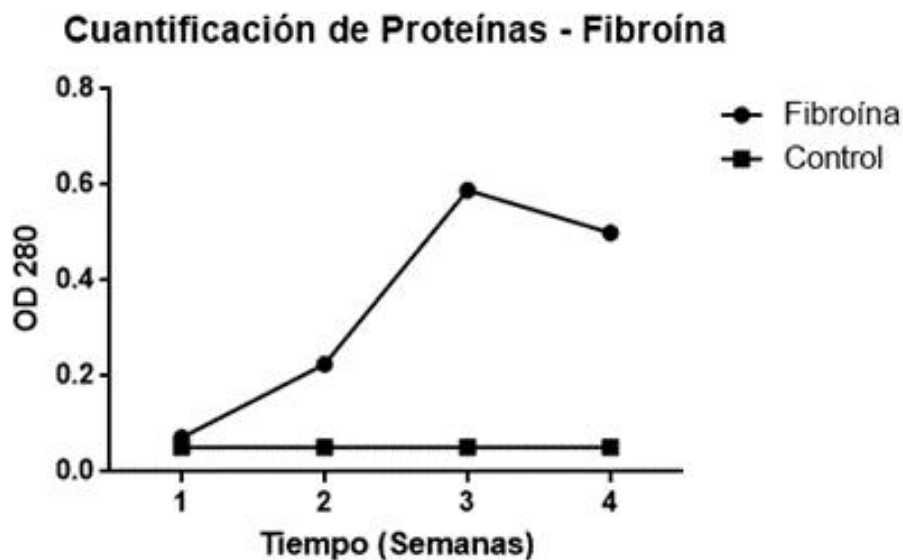


Figura 2. Estabilidad del soporte (películas de fibroína regenerada) en condiciones de cultivo.

### **Caracterización ultraestructural por (MEB) y medición del ángulo de contacto**

La caracterización ultraestructural de las películas de fibroína regenerada se realizó mediante la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), según los resultados, estas exhibieron estructuras rugosas distribuidas de forma aleatoria, la rugosidad solo fue visible a partir de un aumento de 400X, haciéndose más evidentes a 1000X. Se realizaron cortes transversales de películas de fibroína para verificar, su grosor y evaluar la eficacia del tratamiento para inducir laminas $\beta$ . Según los resultados, las películas presentan dos regiones claramente definidas, una corteza externa de menor longitud de aproximadamente 3,4  $\mu$ M y una región interna de aproximadamente 30,1  $\mu$ M (figura 3).

Se realizaron cortes transversales de películas de fibroína con el fin de determinar el grosor de las mismas. Para ello se realizaron 5 mediciones empleando el software de análisis de imágenes Image J. Las imágenes fueron observadas a 800X. Se muestra un acercamiento de la corteza exterior de la película de fibroína con una longitud de aproximadamente de 3,3  $\mu$ M (Gaviria et al., 2018).

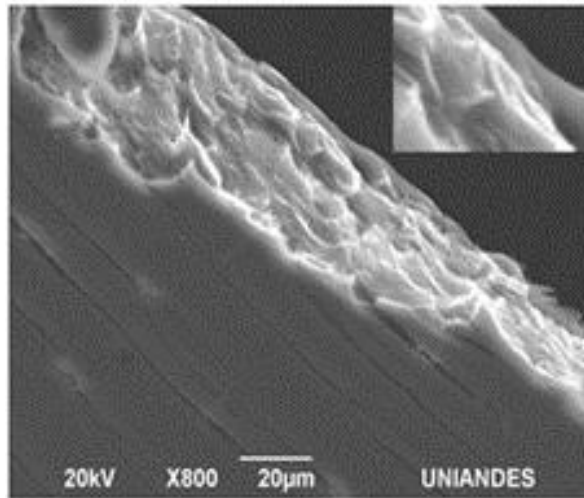


Figura 3. Microscopia electrónica de Barrido (MEB) de cortes transversales de películas de fibroína.

Los resultados obtenidos por análisis de ángulo de contacto muestran que las películas de fibroína presentan un ángulo inferior de  $(44,5^\circ \pm 0,7)$  con respecto al ángulo que presentó una gota de agua en una superficie hidrófoba ( $83,8^\circ \pm 0,3$ ) (figura 4). Bajos ángulos de contacto corresponden a mayor humectabilidad; la cual generalmente indica que la superficie del material es más hidrófila, facilitando la adhesión y proliferación celular (Cwikel, Zhao, Liu, Su, & Marmur, 2010). La determinación de los ángulos de contacto corresponde a la media de 5 mediciones independientes (Gaviria et al., 2018).

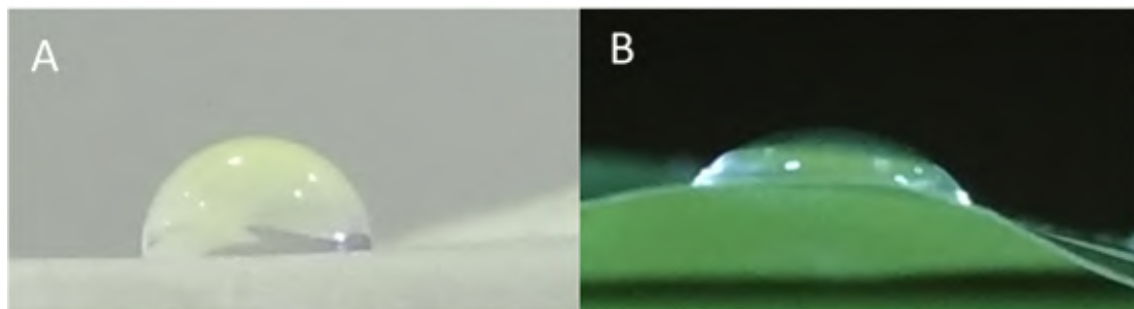


Figura 4: Ángulo de contacto películas de fibroína A) Control gota de agua sobre superficie hidrófoba; B) gota de agua sobre película de fibroína regenerada.

## Diferenciación condrogenica de células madre sobre soportes de fibroina

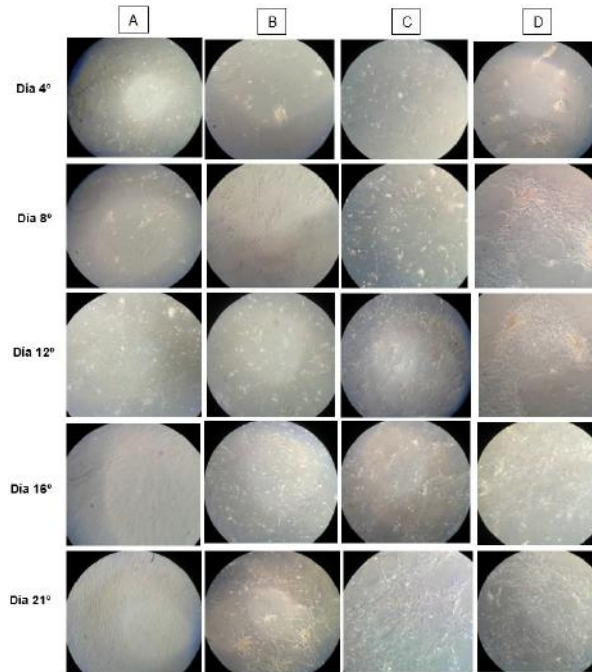


Figura 5. Procesos de diferenciación celular. A. CMMs en procesos de expansión sin fibroina. B. CMMs en procesos de expansión con fibroina. C. CMMs en procesos de diferenciación sin fibroina. D. CMMs en procesos de diferenciación con fibroina. Microscopio invertido 20X (Caballero & Gaviria, 2019).

El número de células obtenidas es similar en ambos momentos del ensayo. C. Viabilidad celular y tipo de ensayo a las 14 y 21 días (Figura 6). La fibroina no afectó la supervivencia de las células. D. Viabilidad celular vs tiempo. El número total de células vivas es similar en ambos momentos del ensayo (Caballero & Gaviria, 2019).

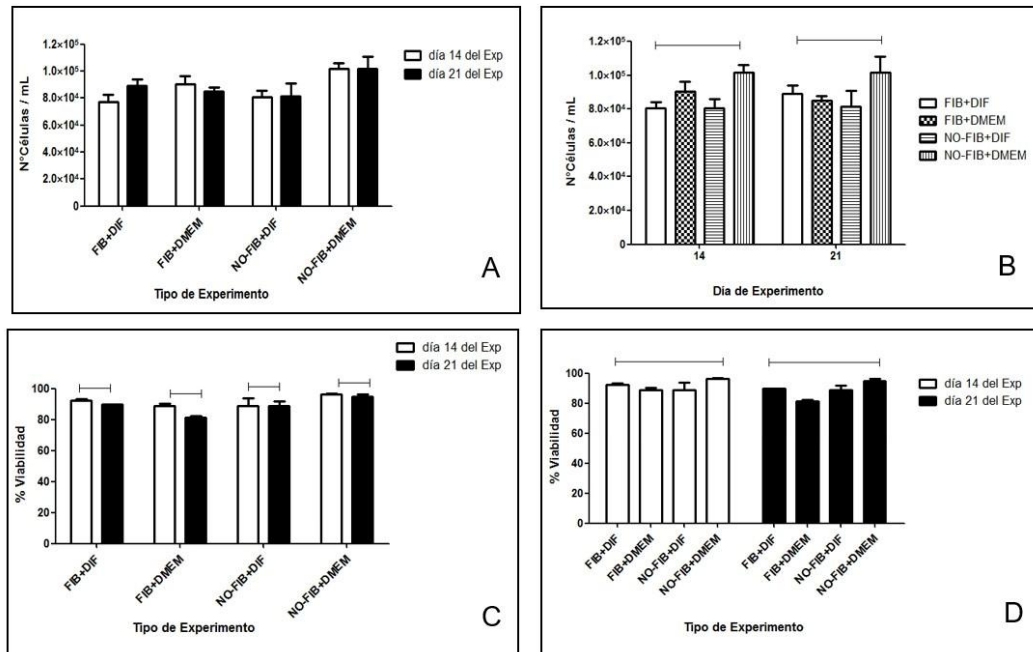


Figura 6. A. Recuento celular y tipo de ensayo a los 14 y 21 días. La fibroína no afecto el numero de células. B. Recuento celular vs tiempo.

### Interacción células soporte

La adhesión y proliferación temprana de las células a los biomateriales son aspectos necesarios en todo proceso de regeneración. Con el fin de observar el crecimiento y los niveles de interacción de los HDFn con las matrices de fibroína, se tomaron microfotografías por MEB de fibroblastos crecidos durante 2 días en películas de fibroína. Como se observa en la figura 7, las células, presentan un crecimiento homogéneo en el área del soporte, además estableciendo una fuerte interacción con el soporte mediante la formación de filopodios (Hoffmann & Schäfer, 2010) y la generación de una gran cantidad de matriz extracelular (figuras 7 C y D).



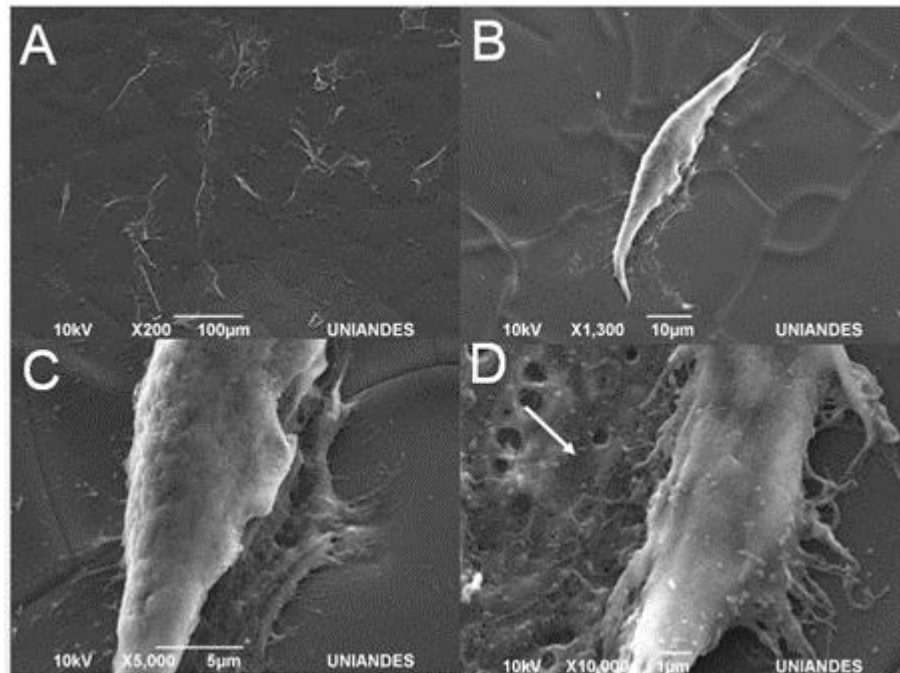


Figura 7. Micrografías electrónicas de fibroblastos dérmicos humanos neonatales.

Las películas de fibroína fueron cultivadas con fibroblastos humanos y observadas por Microscopía Electronica de Barrido (MEB). Las películas de fibroína con células fueron fragmentadas (1020 mm<sup>2</sup>) y observadas a A. 200X, B. 1300X, C. 5000X y D. 10.000X. En la figura D, la flecha indica el establecimiento de matriz extracelular propia de la célula, sobre las películas de fibroína (Gaviria et al., 2018).

## ***Discusión***

Los biomateriales desempeñan un papel crucial en el campo de la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa ya que constituyen una excelente fuente para la fabricación de estromas que presentan poros interconectados para establecer un óptimo microambiente celular requerido para la regeneración de un tejido (Sharma, Srivastava, Grover, & Sharma, 2014). El desarrollo de nuevos productos, especialmente compuestos de materiales biológicos como matrices descelularizadas, colágeno, alginato, entre otros están surgiendo en los últimos años (Garreta et al., 2017; Ki, Singh, Kim, Son, & Han, 2013; Stark et al., 2006).

La fibroína es un polímero de proteína natural que ha sido aprobado para uso médico por la Administración de Drogas y Alimentos de los EE. UU (FDA) (Kundu et al., 2013a; Rockwood et al., 2011). La fibroína de seda es procesada a partir de la seda cruda después

de la eliminación de la cobertura exterior (sericina) que potencialmente podría desencadenar una reacción inmune (Aramwit, Kanokpanont, De-Eknamkul, & Srichana, 2009). La fibroína tiene características de biocompatibilidad, biodegradabilidad, notable resistencia mecánica y baja inmunogenicidad. Los hallazgos aquí mostrados evidencian que la metodología usada para la producción de películas de fibroína fue adecuada para generar películas con condiciones de translucidez y alta resistencia mecánica. Esta última característica se verificó mediante la evaluación de resistencia a la ruptura de las películas de fibroína a una fuerza determinada; según los resultados, las películas de fibroína mostraron un comportamiento de un biomaterial termoplástico anisótropo, en el cual la elasticidad se incrementa con el aumento de la temperatura y que su comportamiento depende de la dirección en la cual se aplica la fuerza. Kweon y Colaboradores, describieron características mecánicas de películas de fibroína y matrices de quitosano similares a las encontradas en este trabajo (Kweon, Ha, Um, & Park, 2001).

La degradabilidad de los biomateriales de seda depende de las características morfológicas, los modos de procesamiento y el contenido de hojas- $\beta$  (Drury & Mooney, 2003)(Kundu, Rajkhowa, Kundu, & Wang, 2013b). La estructura de poro de los materiales de seda, el peso del andamio regenerado y la composición en contenido de hojas- $\beta$  afectan su tasa de degradación (Makaya, Terada, Ohgo, & Asakura, 2009). Según los resultados, se observó que con referencia a la estabilidad de las películas en condiciones de cultivo, éstas presentaron un pico máximo de degradación a los 21 días de cultivo (Gaviria et al., 2018). Idealmente, la tasa de degradación del andamio debe reflejar la tasa de regeneración de tejido sobre el cual este está trabajando (Kojthung et al., 2008; Numata, Cebe, & Kaplan, 2010). La tasa de degradación es deseable para las diversas necesidades de regeneración tisular; por ejemplo, un andamio para procesos de regeneración ósea requiere una tasa de degradación lenta, mientras que un andamio para la reparación de tejido dérmico requiere una degradación más rápida. (Lu et al., 2011) mostraron que las tasas de degradación de películas de fibroína tratadas y sin tratar con metanol para inducir estructuras de lámina- $\beta$  con un tiempo de degradación similar a los resultados aquí mostrados. La estructura de lámina- $\beta$  se consideró como un factor crítico que estabilizaba la fibroína de seda en entornos acuosos, pero las películas de seda, tratadas mediante metanol, muestran propiedades de degradación totalmente diferentes incluso cuando las películas tienen contenidos similares de lámina- $\beta$ . Para controlar el comportamiento de degradación, es necesario explorar los factores potenciales que afectan su degradación.

Trabajos previos han demostrado que las películas de seda tratadas con metanol exhiben un aumento de casi 3 veces en contenido de hoja $\beta$  en comparación con las películas de seda tratadas mediante el método de recocido con agua (water annealing) (Lawrence et

al., 2010). Por tanto, es importante entender cómo las propiedades del material de la película de seda cambian con respecto a este cambio en contenido de hoja- $\beta$ . Al comprender mejor cómo el agua influye en las propiedades de los materiales de seda, los métodos de procesamiento se pueden adaptar para diversas funciones. El porcentaje de porosidad de preparados de fibroína se relaciona con el nivel de permeabilidad de las películas que permita la difusión de metabolitos a través del soporte (Gaviria et al., 2018). El promedio de porosidad de 5 películas de fibroína fue de 51%, esto indica que el nivel de permeabilidad de las películas de fibroína ensayadas facilita el intercambio de moléculas. De igual forma el porcentaje de absorción de agua de películas de fibroína fue superior de 95%, lo que indica el buen comportamiento de la fibroína como soporte captador de moléculas de agua o medio de cultivo.

A medida que los usos de la fibroína de seda se expanden, es importante comprender cómo las propiedades del biomaterial cambian cuando se introducen en condiciones ambientales específicas, como, por ejemplo, el agua. La capacidad de absorción de agua y su retención son factores importantes para determinar la utilidad de los biomateriales. Según los resultados de caracterización de ultraestructura, las películas de fibroína, presentaron superficies preferencialmente rugosas distribuidas de manera heterogénea. Este hallazgo está asociado con facilitar la adherencia celular a la superficie del andamio. Se observaron además 2 regiones definidas, las cuales podrían estar relacionadas con el proceso de cristalización llevado a cabo con el uso de metanol, el cual al parecer no alcanza a penetrar completamente la película y producir un efecto sobre toda la sección transversal de esta (Gaviria et al., 2018).

Finalmente, la interacción entre las células y el andamio depende de las propiedades físicas y químicas del biomaterial como su topografía rugosidad, energía superficial e hidrofiliidad. Los resultados evidencian que las matrices de fibroína presentan características intrínsecas que podrían estar involucradas con facilitar la adherencia celular. Se ha identificado que las células pueden adherirse, crecer y multiplicarse sobre el soporte de fibroína, son capaces de generar una matriz extracelular que reemplazará el soporte de fibroína regenerada permitiendo consolidar un tejido con las características estructurales y bioquímicas del tejido natural. Además, con respecto a la citotoxicidad, el soporte utilizado no afectó de manera significativa el crecimiento celular mostrando resultados similares en términos de cantidad y morfología con respecto al control. Por lo tanto, los resultados obtenidos sustentan el hecho que las películas preparadas a partir de fibroína poseen características adecuadas para su utilización como biomaterial. El hecho que las células sembradas en el biomaterial hayan establecido una fuerte interacción y hallan proliferado con un alto grado de citocompatibilidad por la generación de estructuras celulares denominadas filopodios (Hoffmann & Schäfer, 2010) y lleven a cabo la deposición de grandes cantidades

de matriz extracelular, indica que el soporte de fibroína regenerada será reemplazado de manera eficiente con la matriz extracelular propia de la célula sobre ella sembrada (Gaviria et al., 2018).

Con referencia a la capacidad de diferenciación se evaluó la transformación de células madre a tejido condrogénico sobre los soportes de fibroína, se identificó que al finalizar el proceso de diferenciación se pudo apreciar que las células alimentadas con medio de expansión mostraron una morfología homogénea típica a células de tipo fibroblastos, con citoplasma alargado y sin presencia de una matriz observándose la formación de colonias celulares propias de un proceso de expansión de CMMs mientras que las células alimentadas con medio de diferenciación con/sin fibroína pasaron por un proceso de transformación metabólica activa producto de su especialización evidenciado por la morfología de tipo esférica/estrellada, la formación de agregados celulares y cambios en su comportamiento (figura 6) muy similar a la reportado por otros investigadores quienes emplearon CMMs sobre combinaciones de andamios (seda, seda/quitosan, seda/ácido hialurónico, seda/colágeno y seda/agarosa) para promover procesos de condrogénesis (Caballero & Gaviria, 2019; Deng et al., 2013) y similar a la morfología de condrocitos presentes en un entorno fisiológico de tejido cartilaginoso articular y de condrocitos recién aislados de tejido articular sugiriendo un proceso activo de condrogénesis (Wang, Blasioli, Kim, Kim, & Kaplan, 2006b).

Se demostró que el medio de cultivo condrogénico enriquecido con los factores de crecimiento BMP2, BMP4, IGF1 y TGF $\beta$ 3 suplementado con dexametasona, ácido ascórbico e ITS, favoreció la especialización de una CMM hacia un linaje celular tipo condrocito (Schmitt et al., 2003). Está demostrado que la estimulación condrogénica de una célula madre puede lograrse empleando alguna de las tres isoformas de la familia TGF $\beta$  ya que son consideradas potenciadores en el proceso inicial de condrogénesis (Freyria & Mallein-Gerin, 2012; Vinatier, Mrugala, Jorgensen, Guicheux, & Noël, 2009); diferentes estudios reportan que el uso de TGF $\beta$ 3 incrementa el tamaño y peso celular, los depósitos de proteoglicanos, la síntesis de glucosaminoglicanos, la expresión de colágeno II y de otros marcadores condrogénicos. (Freyria & Mallein-Gerin, 2012; Liu et al., 2010; Schmitt et al., 2003; Vinatier et al., 2009), de igual forma el aumento en la expresión y síntesis de colágeno II y agregano pueden lograrse con el uso de miembros de la familia IGF (J.-L. Chen, Duan, Zhu, Xiong, & Wang, 2014; Palmer et al., 2005). Además, el uso concomitante de estos factores con otras moléculas como BMP2/BMP4/BMP6 conllevan a regular la expresión de COL2A1 y COL10A1, marcadores propios de un proceso condrogénico (Freyria & Mallein-Gerin, 2012).

La inducción de marcadores de hipertrofia como colágeno X, metaloproteinasa de matriz 13, fosfatasa alcalina y osteopontina junto con la mineralización del tejido indican que las rutas de diferenciación favorecen un proceso de hipertrofia de condrocitos asociado a procesos de osificación *in vitro*. (Diekman, Rowland, Lennon, Caplan, & Guilak, 2010; Mahmoudifar & Doran, 2012; Yun-feng et al., 2010). En este estudio se demostró la expresión de colágeno X en todas las muestras bajo estimulación condrogénica, indicando que las CMMs pasaron por un proceso de condensación, proliferación, diferenciación y maduración hasta llegar a la formación de condrocitos hipertróficos (figura 7); dicho proceso puede controlarse *in vitro* utilizando otros factores de crecimiento como el uso de factor de crecimiento básico de fibroblastos (FGF2), factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF) y proteínas de la familia WNT 48. (Mahmoudifar & Doran, 2012; Vinatier et al., 2009). Finalmente, es posible afirmar que, si el ensayo se extendiera a un tiempo mayor que el utilizado en este estudio, como lo reportan otras investigaciones (Freyria & Mallein-Gerin, 2012; Karlsson et al., 2007; Murdoch et al., 2007); se observaría una mayor área de tapizado producto de células diferenciadas que pretenden formar una estructura especializada similar a un tejido. Teniendo en cuenta que un andamio ideal debe favorecer los procesos de unión, migración y diferenciación celular, así como el transporte masivo y la integridad mecánica de los tejidos con el soporte y su posterior integración *in vivo* (Marolt et al., 2006); en este estudio se demostró que la fibroína de seda permitió el crecimiento, expansión y diferenciación de células madre utilizando un medio de cultivo condrogénico específico, sus propiedades mecánicas únicas junto con sus características de ser biodegradable y biocompatible la postulan como un buen andamio para la regeneración de lesiones articulares (Caballero & Gaviria, 2019; Gaviria & Caballero, 2015; Gaviria et al., 2018).

Por tanto, las características observadas como: Facilidad de modulación, control en el grado de degradación, capacidad de crecimiento y diferenciación células al igual que la resistencia de esta estructura en condiciones inherentes al proceso de incubación, cambios de medio de cultivo y disgregación celular establecen el uso de la fibroína de seda como un potente biomaterial que puede ser ampliamente utilizado en la medicina regenerativa y la ingeniería de tejidos. Estas características en un biomaterial son importantes en aquellos casos en los que se requiere un tiempo prolongado para el establecimiento del implante.

## ***Conclusiones***

Se reporta la preparación de andamios en forma de películas de matriz extracelular de fibroína derivada de capullos del gusano de seda, *Bombyx mori* L. Los andamios estudiados presentaron parámetros adecuados en ángulo de contacto, porosidad, fuerza mecánica, degradación y capacidad de hinchazón; cumpliendo así los requisitos de un biomaterial apto

para ser usado en ingeniería de tejidos para el crecimiento, proliferación y mantenimiento células epiteliales. Los resultados de cito compatibilidad y de microscopia electrónica de barrido (MEB) del soporte de fibroína con células, lo catalogan como un biomaterial prometedor en medicina regenerativa de tejidos dérmicos basada en ingeniería tisular para el tratamiento de heridas crónicas y agudas al igual que quemaduras de primero y segundo grado. Los resultados de este trabajo evidenciaron que las películas de fibroína son estructuras estables, resistentes e insolubles, que no afectaron el crecimiento y la multiplicación celular y permitieron la diferenciación celular de células madre mesenquimales hacia células de tipo condrocito. Finalmente, estos resultados abren la posibilidad de emplear andamios fabricados con fibroína de seda en el desarrollo de protocolos de terapia celular en varios tipos de tejidos.

## **Referencias**

- Altman, G., Diaz, F., Jakuba, C., Calabro, T., Horan, R., Chen, J., ... Kaplan, D. (2003). *Silk-based biomaterials*. *Biomaterials*, 24(3), 401–416. [https://doi.org/10.1016/s0142-9612\(02\)00353-8](https://doi.org/10.1016/s0142-9612(02)00353-8)
- Aramwit, P., Kanokpanont, S., De-Eknamkul, W., & Srichana, T. (2009). *Monitoring of inflammatory mediators induced by silk sericin*. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 107(5), 556–561. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2008.12.012>
- Baugé, C., & Boumédiene, K. (2015). *Use of Adult Stem Cells for Cartilage Tissue Engineering: Current Status and Future Developments*. *Stem Cells International*, 2015, 438026. <https://doi.org/10.1155/2015/438026>
- Bhardwaj, N., Chakraborty, S., & Kundu, S. (2011). *Freeze-gelled silk fibroin protein scaffolds for potential applications in soft tissue engineering*. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.04.013>
- Bradford, M. (1976). *A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding*. In *ANALYTICAL BIOCHEMISTRY* (Vol. 72).
- Caballero, L., & Gaviria, D. (2019). *Desarrollo y caracterización de películas de fibroína de seda para reparación condral*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 71–81. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.73137>
- Caballero, L., Rivera, J., & Gaviria, D. (2016). *Evaluación de la fibroína de seda como biomaterial de soporte para el crecimiento de células mesen-quimales estromales de pulpa dental*. *ARS MEDICA Revista de Ciencias Médicas*, 41(1), 5–13.
- Chen, B., Kankala, R., Chen, A.-Z., Yang, D., Cheng, X., Jiang, N., ... Wang, S. (2017). *Investigation of silk fibroin nanoparticle-decorated poly(l-lactic acid) composite*

- scaffolds for osteoblast growth and differentiation. *International Journal of Nanomedicine*, 12, 1877–1890. <https://doi.org/10.2147/IJN.S129526>
- Chen, J.-L., Duan, L., Zhu, W., Xiong, J., & Wang, D. (2014). Extracellular matrix production in vitro in cartilage tissue engineering. *Journal of Translational Medicine*, 12, 88. <https://doi.org/10.1186/1479-5876-12-88>
- Csaki, C., Schneider, P., & Shakibaei, M. (2008). Mesenchymal stem cells as a potential pool for cartilage tissue engineering. *Annals of Anatomy = Anatomischer Anzeiger: Official Organ of the Anatomische Gesellschaft*, 190(5), 395–412. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2008.07.007>
- Cwikel, D., Zhao, Q., Liu, C., Su, X., & Marmur, A. (2010). Comparing contact angle measurements and surface tension assessments of solid surfaces. *Langmuir: The ACS Journal of Surfaces and Colloids*, 26(19), 15289–15294. <https://doi.org/10.1021/la1020252>
- Deng, J., She, R., Huang, W., Dong, Z., Mo, G., & Liu, B. (2013). A silk fibroin/chitosan scaffold in combination with bone marrow-derived mesenchymal stem cells to repair cartilage defects in the rabbit knee. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine*, 24(8), 2037–2046. <https://doi.org/10.1007/s10856-013-4944-z>
- Diekman, B., Rowland, C., Lennon, D., Caplan, A., & Guilak, F. (2010). Chondrogenesis of adult stem cells from adipose tissue and bone marrow: Induction by growth factors and cartilage-derived matrix. *Tissue Engineering - Part A*, 16(2), 523–533. <https://doi.org/10.1089/ten.tea.2009.0398>
- Drury, J., & Mooney, D. (2003). Hydrogels for tissue engineering: scaffold design variables and applications. *Biomaterials*, 24(24), 4337–4351. [https://doi.org/10.1016/s0142-9612\(03\)00340-5](https://doi.org/10.1016/s0142-9612(03)00340-5)
- Freyria, A., & Mallein-Gerin, F. (2012). Chondrocytes or adult stem cells for cartilage repair: The indisputable role of growth factors. *Injury*, 43(3), 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.05.035>
- Garcia-Fuentes, M., Meinel, A., Hilbe, M., Meinel, L., & Merkle, H. (2009). Silk fibroin/hyaluronan scaffolds for human mesenchymal stem cell culture in tissue engineering. *Biomaterials*, 30(28), 5068–5076. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.06.008>
- Garreta, E., Oria, R., Tarantino, C., Pla-Roca, M., Prado, P., Fernández-Avilés, F., ... Montserrat, N. (2017). Tissue engineering by decellularization and 3D bioprinting. *Materials Today*, 20(4), 166–178.
- Gaviria, D., & Caballero, L. (2015). Uso de biomateriales a partir de la fibroína de gusano de seda (*Bombyx mori* L.) para procesos de medicina re-generativa basada en ingeniería de tejidos. *Revis-Ta Médica de Risaralda*, 21(1), 38–47.

- Gaviria, D., Guevara, A., & Cano, E. (2018). Evaluación del crecimiento de fibroblastos humanos en andamios de fibroína de *Bombyx mori* L. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(2), 47–56. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n2.77062>
- Gellynck, K., Verdonk, P., Van Nimmen, E., Almqvist, K., Gheysens, T., Schoukens, G., ... Oppos, D. (2013). Silkworm and spider silk scaffolds for chondrocyte support. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine*, 30(8), 5068–5076. <https://doi.org/10.1007/s10856-008-3474-6>
- Gellynck, K., Verdonk, P., Van Nimmen, E., Almqvist, K., Gheysens, T., Schoukens, G., ... Verbruggen, G. (2008). Silkworm and spider silk scaffolds for chondrocyte support. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine*, 19(11), 3399–3409. <https://doi.org/10.1007/s10856-008-3474-6>
- Hoffmann, B., & Schäfer, C. (2010). Filopodial focal complexes direct adhesion and force generation towards filopodia outgrowth. *Cell Adhesion & Migration*, 4(2), 190–193. <https://doi.org/10.4161/cam.4.2.10899>
- Hota, M., Bera, M., Kundu, B., Kundu, S., & Maiti, C. (2012). A natural silk fibroin protein-based transparent bio-memristor. *Adv Funct Mater.*, 22, 4493–4499.
- Karlsson, C., Brantsing, C., Svensson, T., Brisby, H., Asp, J., Tallheden, T., & Lindahl, A. (2007). Differentiation of human mesenchymal stem cells and articular chondrocytes: analysis of chondrogenic potential and expression pattern of differentiation-related transcription factors. *Journal of Orthopaedic Research : Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, 25(2), 152–163. <https://doi.org/10.1002/jor.20287>
- Kasaju, N., & Bora, U. (2012). Silk fibroin in tissue engineering. *Advanced Healthcare Materials*, 1(4), 393–412. <https://doi.org/10.1002/adhm.201200097>
- Kassem, M., Kristiansen, M., & Abdallah, B. (2004). Mesenchymal stem cells: cell biology and potential use in therapy. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 95(5), 209–214. <https://doi.org/10.1111/j.1742-7843.2004.pto950502.x>
- Ki, S., Singh, D., Kim, S., Son, T., & Han, S. (2013). Effect of cross-linkers in fabrication of carrageenan-alginate matrices for tissue engineering application. 60(6), 589–595. <https://doi.org/10.1002/bab.1123>.This
- Kim, U.-J., Park, J., Kim, H., Wada, M., & Kaplan, D. (2005). Three-dimensional aqueous-derived biomaterial scaffolds from silk fibroin. *Biomaterials*, 26(15), 2775–2785. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.07.044>
- Kojthung, A., Meesilpa, P., Sudatis, B., Treeratana-piboon, L., Udomsangpetch, R., & Ookhanond, B. (2008). Effects of gamma radiation on biodegradation of *Bombyx mori* silk fibroin. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(4), 487–490.
- Kundu, B., & Kundu, S. (2010). Osteogenesis of human stem cells in silk biomaterial for regenerative therapy. *Prog Polym Sci.*, 35, 1116–27.



- Kundu, B., Rajkhowa, R., Kundu, S., & Wang, X. (2013a). Silk fibroin biomaterials for tissue regenerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 65(4), 457–470. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.043>
- Kundu, B., Rajkhowa, R., Kundu, S., & Wang, X. (2013b). Silk fibroin biomaterials for tissue regenerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.043>
- Kweon, H., Ha, H., Um, I., & Park, Y. (2001). Physical properties of silk fibroin/chitosan blend films. *Journal of Applied Polymer Science*, 80(7), 928–934.
- Langer, R., & Vacanti, J. (2016). Advances in tissue engineering. *Journal of Pediatric Surgery*, 51(1), 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2015.10.022>
- Langer, R., & Vacanti, J. P. (1993). Tissue engineering. *Science (New York, N.Y.)*, 260(5110), 920–926. <https://doi.org/10.1126/science.8493529>
- Lawrence, B., Wharram, S., Kluge, J., Leisk, G., Omenetto, F., Rosenblatt, M., & Kaplan, D. (2010). Effect of hydration on silk film material properties. *Macromolecular Bioscience*, 10(4), 393–403. <https://doi.org/10.1002/mabi.200900294>
- Liu, T.-L., Miao, J.-C., Sheng, W.-H., Xie, Y.-F., Huang, Q., Shan, Y.-B., & Yang, J.-C. (2010). Cytocompatibility of regenerated silk fibroin film: a medical biomaterial applicable to wound healing. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 11(1), 10–16. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0900163>
- Lu, Q., Zhang, B., Li, M., Zuo, B., Kaplan, D., Huang, Y., & Zhu, H. (2011). Degradation mechanism and control of silk fibroin. *Biomacromolecules*, 12(4), 1080–1086. <https://doi.org/10.1021/bm101422j>
- Mahmoudifar, N., & Doran, P. M. (2012). Chondrogenesis and cartilage tissue engineering: The longer road to technology development. *Trends in Biotechnology*, 30(3), 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.09.002>
- Makaya, K., Terada, S., Ohgo, K., & Asakura, T. (2009). Comparative study of silk fibroin porous scaffolds derived from salt/water and sucrose/hexafluoroisopropanol in cartilage formation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 108(1), 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2009.02.015>
- Melke, J., Midha, S., Ghosh, S., Ito, K., & Hofmann, S. (2016). Silk fibroin as biomaterial for bone tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, 31, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2015.09.005>
- Murdoch, A. D., Grady, L. M., Ablett, M. P., Katopodi, T., Meadows, R. S., & Hardingham, T. E. (2007). Chondrogenic Differentiation of Human Bone Marrow Stem Cells in Transwell Cultures: Generation of Scaffold-Free Cartilage. *Stem Cells*, 25(11), 2786–2796. <https://doi.org/10.1634/stemcells.2007-0374>
- Nair, L., & Laurencin, C. (2007). Biodegradable polymers as biomaterials. *Prog Polym Sci*, 32, 762–798.

- Nazarov, R., Jin, H.-J., & Kaplan, D. (2004). Porous 3-D scaffolds from regenerated silk fibroin. *Biomacromolecules*, 5(3), 718–726. <https://doi.org/10.1021/bm034327e>
- Numata, K., Cebe, P., & Kaplan, D. (2010). Mechanism of enzymatic degradation of beta-sheet crystals. *Biomaterials*, 31(10), 2926–2933. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.12.026>
- Omenetto, F., & Kaplan, D. (2008). A new route for silk. *Nat Photonics*, 2, 641–643.
- Omenetto, F., & Kaplan, D. (2010). New opportunities for an ancient material. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1188936>
- Palmer, G., Steinert, A., Pascher, A., Gouze, E., Gouze, J.-N., Betz, O., ... Ghivizzani, S. (2005). Gene-induced chondrogenesis of primary mesenchymal stem cells in vitro. *Molecular Therapy : The Journal of the American Society of Gene Therapy*, 12(2), 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.ymthe.2005.03.024>
- Rockwood, D., Gil, E., Park, S.-H., Kluge, J., Grayson, W., Bhumiratana, S., ... Kaplan, D. (2011). Ingrowth of human mesenchymal stem cells into porous silk particle reinforced silk composite scaffolds: An in vitro study. *Acta Biomaterialia*, 7(1), 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.07.020>
- Schmitt, B., Ringe, J., Häupl, T., Notter, M., Manz, R., Burmester, G.-R., ... Kaps, C. (2003). BMP2 initiates chondrogenic lineage development of adult human mesenchymal stem cells in high-density culture. *Differentiation; Research in Biological Diversity*, 71(9–10), 567–577. <https://doi.org/10.1111/j.1432-0436.2003.07109003.x>
- Seal, B., Otero, T., & Panitch, A. (2001). Polymeric biomaterials for tissue and organ regeneration. *Mater Sci Eng R.*, 34, 147–230. [https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(01\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(01)00035-3)
- Sharma, S., Srivastava, D., Grover, S., & Sharma, V. (2014). Biomaterials in tooth tissue engineering: a review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research : JCDR*, 8(1), 309–315. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/7609.3937>
- Stark, Y., Suck, K., Kasper, C., Wieland, M., van Griensven, M., & Scheper, T. (2006). Application of collagen matrices for cartilage tissue engineering. *Experimental and Toxicologic Pathology : Official Journal of the Gesellschaft Fur Toxikologische Pathologie*, 57(4), 305–311. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2005.10.005>
- Tao, H., Kaplan, D., & Omenetto, F. (2012). Silk materials--a road to sustainable high technology. *Advanced Materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 24(21), 2824–2837. <https://doi.org/10.1002/adma.201104477>
- Vepari, C., & Kaplan, D. (2007). Silk as a Biomaterial. *Progress in Polymer Science*, 32(8–9), 991–1007. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.05.013>
- Vinatier, C., Mrugala, D., Jorgensen, C., Guicheux, J., & Noël, D. (2009). Cartilage engineering: a crucial combination of cells, biomaterials and biofactors. *Trends in Biotechnology*, 27(5), 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.02.005>

- Wang, Y., Blasioli, D., Kim, H.-J., Kim, H., & Kaplan, D. (2006a). Cartilage tissue engineering with silk scaffolds and human articular chondrocytes. *Biomaterials*, 27(25), 4434–4442. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.03.050>
- Wang, Y., Blasioli, D., Kim, H., Kim, H., & Kaplan, D. (2006b). Cartilage tissue engineering with silk scaffolds and human articular chondrocytes. *Biomaterials*, 27(25), 4434–4442. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.03.050>
- Wang, Y., Wang, X., Shi, J., Zhu, R., Zhang, J., Zhang, Z., ... Mizuno, M. (2016). A Biomimetic Silk Fibroin/Sodium Alginate Composite Scaffold for Soft Tissue Engineering. *Scientific Reports*, 6, 39477. <https://doi.org/10.1038/srep39477>
- Wray, L., Hu, X., Gallego, J., Georgakoudi, I., Omenetto, F., Schmidt, D., & Kaplan, D. (2011). Effect of processing on silk-based biomaterials: reproducibility and biocompatibility. *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, 99(1), 89–101. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31875>
- Yun-feng, R., Lin, D., You, W., Yang, L., Pauline po-yee, T., Ting-ting, C., & Ke-rong, D. (2010). Bone morphogenetic protein 2 promotes trans-forming growth factor beta 3-induced chondro-genesis of human osteoarthritic synovium-derived stem cells. *Chinese Medical Journal*, 123(21), 3040–3048.
- Zhao, Z., Li, Y., & Xie, M.-B. (2015). Silk fibroin-based nanoparticles for drug delivery. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(3), 4880–4903. <https://doi.org/10.3390/ijms16034880>

# 9

## ***Estrategia pedagógica para la formación de Ingenieros para el siglo XXI basada en STEAMRW***

### ***Pedagogical strategy for the training of Engineers for the 21st century based on STEAMRW***

Luis Eduardo Muñoz Guerrero<sup>1</sup>, Omar Iván Trejos Buriticá<sup>2</sup>

#### ***Resumen***

Una de las dificultades que tiene la formación de ingenieros es la lente diferente, y por momentos antagónica, con que los administradores académicos miran los programas de ingeniería (Annanth, 2016). Si bien la policromía de miradas permite que se enriquezca el horizonte de aplicación y apropiación de la ingeniería, ha de tenerse en cuenta que cualquiera que sea el ingeniero, deberá articularse con los problemas y plantear soluciones para la sociedad que lo está esperando. La propuesta corresponde a la mirada sobre la base de la estrategia STEAMRW (Science, Technology, Arts, Maths, Reading and Writing) (Teachers Created Materials, 2017) que le posibilite al ingeniero ser un elemento activo de la sociedad con gran capacidad en las competencias blandas, gran capacidad de argumentación y gran conocimiento disciplinar que, en otros tiempos, era el único foco de atención. Esta ponencia presenta los resultados asociados a la tesis doctoral “Modelo de socialización del conocimiento y participación activa en teamworks de ingenieros desde la perspectiva del desarrollo de las competencias blandas y basado en STEAMRW” Tesista Ing. Luis Eduardo Muñoz Guerrero, Director de Tesis Omar Iván Trejos Buriticá que busca formular un modelo de enseñanza y aprendizaje de la ingeniería basado en la estrategia STEAMRW. La

---

<sup>1</sup> MSc en Ingeniería de Sistemas, Univ. Tecnológica de Pereira, lemunozg@utp.edu.co

<sup>2</sup> PhD en Ciencias de la Educación, Univ. Tecnológica de Pereira, omartrejos@utp.edu.co

metodología es cualitativa y cuantitativa toda vez que se acudió a conceptos, modelos y teorías circundantes y a pruebas de avance comparativo (desde el I semestre de un programa modelo de ingeniería) para confrontar lo propuesto con lo real (Bisquerra Alcina, 2004). Se encontraron diferencias significativas entre los estudiantes con los cuales se adoptó STEAMRW y aquellos con los cuales se adoptó la metodología tradicional de enseñanza y aprendizaje demostrando que la asimilación y aplicación de competencias blandas facilita la interacción con grupos interdisciplinarios por parte de los estudiantes de ingeniería y les permite encontrar en la argumentación el camino excelso para exponer y defender sus ideas. Las pruebas se han realizado en el desarrollo de los cursos iniciales de programación de computadores dentro del contexto de dos paradigmas: paradigma de programación funcional y paradigma de programación imperativa que confrontan la lógica deliberativa humana con la lógica computacional para que, a través de esta última, se pueda encontrar solución a enunciados, problemas y situaciones planteadas contando con pensamiento crítico, algoritmización de las soluciones y aprovechamiento de las tecnologías modernas, dispositivos y servicios asociados (Trejos Buriticá, Metodología 4321 de trabajo en grupo para fortalecer el aprendizaje de la programación usando aprendizaje colaborativo y aprendizaje cooperativo, 2018). La tesis doctoral referida se encuentra en construcción con finalización preliminar prevista hacia el I semestre de 2024 y es continuación investigativa académica de la tesis doctoral “Aprendizaje en Ingeniería: un problema de comunicación” autor Omar Iván Trejos Buriticá. Ambas tesis buscan humanizar el proceso de enseñanza y aprendizaje de la ingeniería y la articulación de los futuros ingenieros con las necesidades reales de la sociedad actual.

***Palabras clave:*** Artes, Ciencia, Ingeniería, Matemáticas, Tecnología

### ***Abstract***

*One of the difficulties of training engineers is the different lens, and at times antagonistic, with which academic administrators look at engineering programs. Although the polychrome of looks allows the horizon of application and appropriation of engineering to be enriched, it must be taken into account that whatever the engineer must articulate with the problems and propose solutions for the society that is waiting for him. The proposal corresponds to the view based on the STEAMRW strategy (Science, Technology, Arts, Maths, Reading and Writing) that allows the engineer to be an active element of society with great capacity in soft skills, great argumentative capacity and great disciplinary knowledge that, in other times, was the only focus of attention. This paper presents the results associated with the doctoral thesis “Model of knowledge socialization and active participation in*

*engineering teamworks from the perspective of soft skills development and based on STEAMRW” Thesis Engineer Luis Eduardo Muñoz Guerrero, Director of Thesis Omar Iván Trejos Buriticá that intends to present a model and contribute to the discussion as to the vision that must be had in the engineering programs in the face of the new problems that have to be addressed and resolved in modern society. The methodology is quantitative qualitative since they have to resort to surrounding concepts, models and theories and comparative progress tests (since the first semester of an engineering model program) to confront the proposed with the real. So far, a significant difference has been found between the students with whom STEAMRW is adopted and those with whom the traditional teaching and learning methodology is adopted, which demonstrates that the deployment, appropriation and application of soft skills facilitate interaction with groups. interdisciplinary by engineering students and allows them to turn to argumentation as a great bastion of the cordial discrepancies that arise within those teamworks with which they are interacting. It should be noted that the tests have been carried out in the development of the initial computer programming courses within the context of two paradigms: functional programming paradigm and imperative programming paradigm that confront human deliberative logic with computational logic so that, at through the latter, to be able to find a solution to statements, problems and situations presented with critical thinking, algorithmization of solutions and use of modern technologies, devices and associated services. The aforementioned doctoral thesis is under construction with preliminary completion scheduled for the first half of 2024 and is an academic research continuation of the doctoral thesis "Learning in Engineering: a communication problem" author Omar Iván Trejos Buriticá. Both theses seek to humanize the engineering teaching and learning process and the articulation of future engineers with the real needs of today's society.*

**Keywords:** Science, Technology, Engineering, Arts, Maths, Reading & Writing

## ***Introducción***

Son muchas las preguntas que surgen en la planeación y desarrollo de un programa de formación universitaria en Ingeniería. ¿Se está cumpliendo con lo que el Ingeniero debe saber? (Prince, 2004) ¿Se está pensando en el entorno en el cual el futuro ingeniero se va a desempeñar? (Gomez Alvarez, Sanchez Dams, & Barón Salazar, 2018) ¿Estamos fortaleciendo la formación de ingenieros de hoy o los estamos preparando para el mañana? (Ben Haim, 2000). Son éstas, posiblemente, algunas de las preguntas que los docentes de ingeniería se hacen y más aún cuando nuestras asignaturas forman parte del corpus disciplinar propio de la ingeniería de manera directa.

La formación en habilidades o competencias ha abierto una discusión de cómo debe orientarse un programa de ingeniería (Trejos Buriticá, 2012): hacia el desarrollo de conocimientos que le permiten al ingeniero desempeñarse en situaciones en las cuales se ha entrenado (habilidades) o desarrollo de conocimientos para enfrentar y resolver situaciones con las cuales no se ha enfrentado (competencias) (Díaz Barriga & Hernández Rojas, 2002). Esta discusión ha permitido que la formación de ingenieros se dinamice, se enriquezca y se abran nuevas formas de comprender el papel de los ingenieros en la sociedad (Díaz Golpe, 2016).

La presente ponencia es un producto derivado de la tesis doctoral “Modelo de socialización y desarrollo de competencias blandas interdisciplinarias de estudiantes de ingeniería a partir del aprendizaje de la programación de computadores. Caso: Ingeniería de Sistemas y Computación Universidad Tecnológica de Pereira” del Ingeniero MSc Luis Eduardo Muñoz Guerrero (Muñoz Guerrero, 2019) y dirigido por el Ingeniero PhD en Ciencias de la Educación Omar Iván Trejos Buriticá (Trejos Buriticá, Tesis Doctoral "Aprendizaje en Ingeniería: Un problema de Comunicación", 2012).

El tema se justifica porque en tiempos posmodernos, cuando tantas áreas del conocimiento están siendo cuestionadas, se requiere tener un panorama más amplio y, por lo tanto, más enriquecido de nuevas miradas, nuevas tendencias y nuevas estrategias para lograr que la labor de los docentes ingenieros no sólo sea efectiva en el corpus de conocimiento (Blanchard, 2008) sino en el mismo devenir del tiempo tal que esfuerzos y cambios confluyan en puntos comunes para bien de la formación de los futuros ingenieros (Ballester Valori, 2011).

Alrededor de la formación de ingenieros se han asociado muchos modelos y teorías que han permitido comenzar a investigar sobre la forma más apropiada para aproximarse al aprendizaje en ingeniería. Por esta razón, la propuesta que se plantea en esta ponencia es solo un aporte más a la discusión pero no es el modelo excelso a seguir, a menos que las pruebas, experimentos e investigaciones lo demuestren así de la mano del paso del tiempo.

El problema a investigar puede definirse como la necesidad de enriquecer la enseñanza y el aprendizaje (Falcao, Nov 2017) en la formación de ingenieros a partir de tendencias y estrategias que van apareciendo en tiempos recientes y que, por lo menos, vale la pena investigar y experimentar para poder conocer, puestas en escena, las ventajas y desventajas que tienen si se incorporan dentro de las diferentes formas de llegar a la base cognitiva de los estudiantes de ingeniería.

La temática es importante si se analizan las nuevas necesidades que tiene la sociedad moderna, plena de tecnologías, de redes, de nuevos medios de comunicación e información, de nuevas formas de relacionarse con otros, en donde la ingeniería tiene un papel preponderante (Johnson & Wetmore, 2008), hoy más que nunca, en la solución de los problemas que se derivan de esos nuevos escenarios.

Lo novedoso en esta ponencia radica en poner en escena un conjunto de estrategias como el modelo STEAMRW (Watson & Watson , 2013) para reflexionar sobre él, para apropiarlo, analizarlo y aplicarlo en los programas de formación de ingeniería y para analizar sus posibles impactos y efectos dentro del corpus de contenido de las asignaturas propias de la ingeniería.

Esta ponencia se plantea en los términos de conocer las características principales de la estrategia STEAMRW (Yakman & Lee, 2012), de apropiarla y aplicarla en la asignatura Programación I de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Tecnológica de Pereira y de analizar el impacto, tanto en lo cuantitativo como en lo cualitativo, de su incorporación dentro de las actividades docentes tendientes a fortalecer el conocimiento propio de la ingeniería. Es de anotar que los estudios al respecto de esta estrategia, el impacto sobre los resultados de aprendizaje de la programación de computadores y su respectivo análisis ha sido trabajo de los dos investigadores, autores de esta ponencia, durante los últimos seis semestres académicos.

En el presente artículo se quiere mostrar la metodología, los resultados y las conclusiones que se obtuvieron a partir de la I fase de la Tesis Doctoral en mención y que tiene que ver con la adopción de STEAMRW en el proceso de aprendizaje de Ingeniería de Sistemas y Computación.

## ***Metodología***

Para el desarrollo del proyecto de investigación que inspira la presente ponencia se procedió metodológicamente de la siguiente forma:

Se escogieron al azar dos cursos de Programación I (asignatura de 1er semestre de Ingeniería de Sistemas Universidad Tecnológica de Pereira). La idea era conducir uno de los grupos (también escogido al azar) adoptando la estrategia STEAMRW y el otro grupo por los métodos tradicionales de enseñanza de la programación.



El curso, que dura 16 semanas, y que tiene un contenido orientado a la apropiación del paradigma de programación declarativa en su arista funcional bajo el lenguaje de programación Scheme entorno IDE DrRacket, se enriqueció con los elementos que componen la estrategia STEAMRW (Science, Technology, Engineering, Arts, Maths, Reading & Writing).

Para ello se procedió de la siguiente forma:

- o Science (Ciencia): Fortalecimiento del conocimiento de la evolución de los modelos matemáticos que soportan la programación, los entornos de desarrollo y sus lenguajes de programación asociados y su relación con la evolución del hardware, todo esto con el objetivo de que se conozca la génesis y motivación que ha llevado a concluir, bajo el paradigma de programación funcional, la alta utilidad de privilegiar el procesamiento por encima del almacenamiento.

- o Technology (Tecnología): Fortalecimiento del lenguaje de programación Scheme desde la perspectiva de sus recursos, su relación con el modelo matemático que lo soporta y las aplicaciones que se pueden derivar de él así como sus aportes para el aprendizaje de otros paradigmas y lenguajes de programación.

- o Engineering (Ingeniería): Apropiación de, por lo menos, una metodología para el desarrollo de una solución posible a un problema computable, su concepción, su enlace con el problema, su algoritmización y transformación en términos de la lógica computacional y su forma de articularse con las características y posibilidades de un lenguaje de programación.

- o Arts (Artes): Aplicación del lenguaje de programación en áreas como el diseño y la construcción de programas que simplifiquen y faciliten la representación gráfica utilizando los recursos y herramientas que provee el lenguaje de programación Scheme.

- o Maths (Matemáticas): Conocimiento, apropiación y profundización acerca del modelo matemático que subyace al paradigma de programación funcional y que corresponde al cálculo Lambda.

- o Reading (Lectura): Se han entregado a los estudiantes, lecturas recomendadas alrededor de los temas vistos en cualquiera de los componentes STEAMRW tanto en español como en inglés y se han realizado debates, exposiciones y discusiones al respecto. También se han realizado controles de lectura comprensiva.

- o Writing (Escritura): Se ha intentado fortalecer la parte escritural de los estudiantes quienes, a pesar de estar en una etapa inicial de la formación en ingeniería, ya se sabe que no desarrollan todo su potencial a lo largo de la carrera Ingeniería de Sistemas y Computación en lo que corresponde a la comunicación escrita pero también se sabe de la ingente necesidad de desarrollar estas competencias blandas.

Las bases epistemológicas de este proceder, y que son las que fortalecen STEAMRW, son las siguientes:

- o Science: Conocer la evolución de la ciencia facilita una comprensión de sus posibilidades y de su proyección de cara al futuro (Cao, 2018).

- o Technology: La aplicación y uso de la tecnología es una fortaleza indispensable en el mundo posmoderno amén de la alta penetración que se tiene de dispositivos, servicios y modelos tecnológicos e informáticos (Johnson & Wetmore, 2008).

- o Engineering: El aprendizaje de los elementos propios del corpus de la Ingeniería es lo mínimo en lo cual se debe enfatizar en tratándose de un programa como Ingeniería de Sistemas y Computación (Bugliarello, 2002).

- o Arts: La aproximación al arte permite una aproximación al pensamiento y evolución del ser humano y eso permite advertir tendencias y necesidades futuras de la sociedad (Araya Alemparte, 2017).

- o Maths: Conocer los elementos, conceptos, teorías y modelos matemáticos que subyacen a la puesta en escena de un paradigma de programación es recorrer el camino más expedito para capitalizarlo y aprovecharlo en su máxima expresión (Boyer, 2010).

- o Reading: El profesional de hoy debe desarrollar, en grado sumo, unas altas competencias en lectura teniendo en cuenta que en tiempos posmodernos se lee con todos los sentidos y que se han desarrollado, para ello, diferentes formas de lectura (Estrada Esponda, 2017).

- o Writing: De la misma forma se requieren profesionales, en el mundo posmoderno, que sepan aprovechar la comunicación escrita como uno de sus grandes fundamentos para poder decir lo que quiere decir, lo que debe decir y en el momento en que debe decirlo, todo ello desde la perspectiva que posibilita la escritura (Lindsay, 2011).

Durante el desarrollo del curso de la asignatura Programación I se incorporaron estrategias que versaban sobre temas como: Historia del pensamiento matemático (Science, Maths), historia de la computación gráfica (Technology, Arts), evolución de la programación (Science, Technology), fundamentos de cálculo Lambda (Engineering, Maths), Fundamentos de programación funcional (Technology, Engineering), metodología para el desarrollo de programas (Technology, Engineering).

Todos estos temas se promovían entre los estudiantes de Programación I a partir de lecturas de artículos seleccionados y escritos para tal fin de manera que su nivel les permitiera aproximarse al conocimiento que se requería. De la misma manera siempre se solicitó que los estudiantes escribieran, en extensión no superior a un párrafo de 12 líneas, resúmenes, opiniones, críticas y observaciones al respecto de lo leído. En cada ejercicio se especificaba exactamente qué era lo que se solicitaba, al tiempo que se designaban no más de 5 estudiantes para que, en tiempo inferior a 5 minutos, realizaran una lectura o exposición de sus conclusiones e inferencias, según fuere el ejercicio.

Las evaluaciones parciales incluyeron elementos que acuden a los componentes de la estrategia STEAMRW y fueron realizadas en el curso donde ésta se adoptó. En el respectivo curso paralelo, se realizaron evaluaciones parciales equivalentes sin estas componentes, es decir, se mantuvo el fondo pero no la forma.

El examen final, cuyo contenido privilegiaba la programación funcional, fue el mismo para ambos cursos paralelos y se desarrolló manteniendo las mismas características de lugar, condiciones, hora y entorno de manera que no existieran variables exógenas que pudieran influir en los resultados. En este caso se mantuvo la forma y también se mantuvo el fondo en el diseño de la evaluación.

El enfoque de la investigación, en principio, fue exploratorio pero luego se pudo consolidar el proceso hasta llegar al análisis de unos resultados que posibilitaron conclusiones. El método se basó en el análisis cuantitativo comparativo de los resultados obtenidos en las pruebas que se realizaron con ambos grupos. Como instrumentos de recolección de información se aprovechó la realización de las pruebas parciales y la encuesta final realizada a los alumnos. El análisis de información se realizó de forma comparada tanto en lo cuantitativo como en lo cualitativo.

## Resultados

Tabla 1. Estudiantes participantes en la investigación

<i>Año</i>	<i>Sem</i>	<i>Curso con STEAMRW</i>	<i>Curso sin STEAMRW</i>	<i>Total x Sem</i>
2017	<i>I</i>	22	21	43
	<i>II</i>	20	23	43
2018	<i>I</i>	22	25	45
	<i>II</i>	21	20	41
2019	<i>I</i>	21	21	42
	<i>II</i>	23	21	44
<b>Promedio</b>		<b>129</b>	<b>131</b>	<b>258</b>

Tabla 2 A. Resultados pruebas parciales – Cursos con STEAMRW

<i>Año</i>	<i>Sem</i>	<i>I P</i>	<i>II P</i>	<i>III P</i>	<i>Prom</i>
2017	<i>I</i>	4,7	4,6	4,8	4,7
	<i>II</i>	4,8	4,6	4,9	4,8
2018	<i>I</i>	4,8	4,7	4,7	4,7
	<i>II</i>	4,5	4,7	4,6	4,6
2019	<i>I</i>	4,6	4,6	4,8	4,7
	<i>II</i>	4,7	4,8	4,9	4,8
<b>Promedio</b>		<b>4,7</b>	<b>4,7</b>	<b>4,8</b>	<b>4,7</b>

Tabla 2 B. Resultados pruebas parciales - Cursos sin STEAMRW

<i>Año</i>	<i>Sem</i>	<i>I P</i>	<i>II P</i>	<i>III P</i>	<i>Prom</i>
2017	<i>I</i>	3,2	3,1	3,1	3,1
	<i>II</i>	3,5	3,2	3,3	3,3
2018	<i>I</i>	3,2	3,2	3,4	3,3
	<i>II</i>	3,1	3,3	3,4	3,3
2019	<i>I</i>	3,2	3,3	3,1	3,2
	<i>II</i>	3,1	3,2	3,3	3,2
<b>Promedio</b>		<b>3,2</b>	<b>3,2</b>	<b>3,3</b>	<b>3,2</b>

Tabla 3. Resultados Comparativos Examen Final

<i>Año</i>	<i>Sem</i>	<i>Ex Fin con STEAMRW</i>	<i>Ex Fin sin STEAMRW</i>	<i>Dif</i>
2017	<i>I</i>	4,8	3,2	1,6
	<i>II</i>	4,7	3,1	1,6
2018	<i>I</i>	4,6	3,1	1,5
	<i>II</i>	4,7	3,3	1,4
2019	<i>I</i>	4,6	3,2	1,4
	<i>II</i>	4,8	3,1	1,7
<b><i>Promedio</i></b>		<b>4,7</b>	<b>3,2</b>	<b>1,5</b>

## ***Hallazgos***

Entre los principales hallazgos pueden incluirse los siguientes:

- La cantidad de estudiantes que participaron en la investigación es estadísticamente significativa dado que corresponde, por semestre, a una proporción aproximada al 40% de la población estudiantil de I semestre que están viendo la asignatura Programación I, el 15% de la población estudiantil de Ingeniería de Sistemas y Computación que se encuentra en el área de Programación y 4% del total de estudiantes del programa en mención.
- Los resultados en las pruebas parciales son notoriamente favorables, en lo cuantitativo, a los grupos en los cuales se adoptó STEAMRW. Es de anotar que en las pruebas parciales se mantuvo la temática y las condiciones en cada curso de manera que no se acudiera a los elementos conceptuales directos heredados de STEAMRW. También debe tenerse en cuenta que, en lo cualitativo, la observación directa de los estudiantes con STEAMRW mostró un avance en el aprendizaje de la programación funcional más destacado que en los grupos en los cuales no se adoptó esta estrategia.
- Los resultados del examen final, prueba escrita que compendia todo lo aprendido durante el semestre, son contundentes en favor de los grupos con los cuales se adoptó STEAMRW.
- Para facilitar el análisis de los datos, se promediaron las notas de los grupos que participaron en la investigación. Se adoptó el promedio como medida de tendencia

central dado que permite interpretar los datos teniendo en cuenta los valores extremos de un conjunto de datos. Vale la pena anotar que, en el caso de las pruebas realizadas en la investigación, los valores extremos no fueron muy distantes del promedio. Este detalle puede verificarse muy fácil con el cálculo de la desviación estándar.

## ***Discusión***

Si bien debe tenerse en cuenta la parte cuantitativa que, de una u otra forma orienta las inferencias, no se puede desconocer lo puramente cualitativo. En lo cuantitativo se incluyen los resultados de las pruebas parciales, el resultado de la evaluación de talleres, ejercicios y enunciados, que se han incorporado dentro de la nota de la evaluación parcial, y en lo cualitativo se incluyen todos los factores que terminan siendo el resultado de la adopción de STEAMRW y que no se cuantifican, al menos, en el desarrollo de esta investigación.

Tal es el caso del nivel de aprendizaje, la motivación del estudiante, su avance en la comprensión y aplicación de la programación de computadores y la apropiación de los conceptos, metodologías y modelos que subyacen a la programación funcional como centro de atención del corpus de conocimiento de la asignatura Programación I. La actitud de los estudiantes de I semestre es un factor decisivo en el desarrollo de su avance dentro del proceso de formación como Ingeniero de Sistemas y la adopción de una estrategia como STEAMRW, acondicionada y soportada con material audiovisual, lecturas digeribles y material que puede ser alcanzable por el estudiante dentro de un marco coherente de premios y castigos, es un factor de alta importancia, por lo que se ha observado en la investigación para que se logre el aprendizaje en Programación I en los términos y características que se esperan desde la perspectiva investigativa.

Debe tenerse en cuenta que los resultados y la metodología adoptada es efectiva si se mantienen las condiciones que se han presentado razón por la cual vale la pena pensar en hacer extensiva la estrategia STEAMRW hacia otras áreas y, por ende, a otras asignaturas de forma que pueda tenerse un panorama mucho más amplio de los beneficios y ajustes que implica adoptarla dentro del contexto de plan de estudios de un programa de Ingeniería o de otro programa universitario de formación profesional.

La investigación educativa a nivel de los programas universitarios en Ingeniería se va convirtiendo poco a poco en una necesidad ingente en tiempos posmodernos no sólo porque se necesitan explorar nuevos caminos para apropiar los horizontes que cada vez se abren al

conocimiento en la sociedad moderna sino porque el cúmulo de conocimientos en cualquier área es cada vez más amplio y más exigente. Son estos los tiempos en que todas las formas de pensamiento, los modelos, las teorías y los conceptos que subyacen al conocimiento que tradicionalmente se ha dado por cierto, se están cuestionando, evaluando y revisando por parte de las personas que los requieren, los aplican y los retroalimentan. La Ingeniería en cualquiera de sus formas no es la excepción y, debido a la formación de los ingenieros docentes, es posible que sea una de las áreas de conocimiento en las cuales la investigación más se requiera.

Para lograrlo, se necesita que los docentes de ingenierías pasen por cinco etapas de su accionar como docentes:

- Concientizarse de la necesidad de fortalecer tanto el conocimiento disciplinar propio como el conocimiento de los conceptos, modelos y teorías que se han heredado de la investigación educativa dado que un ingeniero docente es tanto ingeniero, por la relación que tiene con el corpus conocimiento al cual se debe, como docente por la labor que realiza y que cristaliza la relación con dicho conjunto de conocimientos.
- Arriesgarse a participar en programas de formación avanzada en relación con la investigación educativa de manera que pueda apropiarse, aplicar, asimilar, retroalimentar y evaluar nuevos caminos para compartir con los estudiantes sus conocimientos, su experiencia y sus aportes. Entender que la formación de alto nivel no sólo se requiere dentro del contexto de la Ingeniería como tal sino dentro del marco de las labores que realiza como docente que, finalmente, es el centro de atención de sus actividades laborales cuando está vinculado a un programa de formación de ingenieros.
- Tomar partido en diplomados, cursos, maestrías y doctorados desde donde se cuestione la labor docente en las áreas de ingeniería, se analicen los impactos de las diferentes formas de llevar el conocimiento hacia otras personas y se exploren caminos que hagan que esta labor sea más efectiva aprovechando la generación de nuevas teorías, nuevas formas de pensar y, sobre todo, nuevas formas de concebir tanto la docencia como la ingeniería, su compromiso social, su relación con el futuro de los estudiantes y con las expectativas que los motivan y su impacto en la sociedad a las cuales se deben presentar propuestas de investigación desde las cuales se pueda evaluar, con metodologías apoyadas científicamente, las maneras como se cambia la base cognitiva y el conocimiento previo de los

estudiantes en pos de actualizar y apropiar la información, la experiencia y las aplicaciones que se derivan de un área específica de la ingeniería.

- Gestionar proyectos de investigación que, a la par de la investigación en ingeniería, también vayan ahondando en la aplicación de esos modelos, teorías y conceptos que subyacen a la investigación educativa y que tienen plena aplicación en áreas aparentemente tan disímiles como la formación de ingenieros pero cuyo nexo es más cercano y más necesario de lo que los ingenieros docentes pueden imaginarse.

## ***Conclusiones***

Una investigación, con el rigor científico que le corresponde, implica la preparación en temas como la Estadística que permite confiabilizar dicha investigación a la luz de las inferencias que de ella se puedan derivar y que tienen como base un conjunto de parámetros que se han decantado con el tiempo y que hoy posibilitan poder tener tanto la certeza de los procesos de investigación con el respectivo nivel de error que es el que posibilita un conocimiento orientado a la investigación y dado a la profundización del impacto de una determinada estrategia investigativa frente a las necesidades de formación en un campo tan especial como la ingeniería. De allí el por qué, conceptos como universo, población y muestra se convierten en factores de gran importancia para poder proceder a investigar y poder confiar en los resultados que se obtengan de dicha investigación.

Las pruebas comparativas son la forma de saber si una determinada estrategia tiene impacto sobre un proceso o no. Es posible que no sea el único camino que provee la investigación para lograr tal fin sin embargo es claro que cuando se comparan resultados de un grupo con el cual se ha adoptado una determinada estrategia educativa versus otro grupo con el cual no se adoptó la misma estrategia, los resultados que de dicha comparación resultaren dicen mucho y posibilitan realizar inferencias acorde con esos mismos resultados.

Es de anotar que se ha establecido, en este documento, como método tradicional el conjunto de estrategias que, de manera natural, los docentes universitarios (que no han tenido ningún tipo de formación especial en el campo educativo) en el desarrollo de sus actividades como líderes y responsables de una determinada asignatura.

La estrategia STEAMRW pareciera ser la medida de lo que se requiere en el desarrollo del plan de estudios de una ingeniería como la Ingeniería de Sistemas y



Computación. Propiciar espacios académicos para que los alumnos entren en contacto con la ciencia, la tecnología, la ingeniería, las artes y las matemáticas dentro de un marco de lectura y escritura, facilita la comprensión del papel de esta ingeniería en la sociedad y, de paso, simplifica la relación entre los conocimientos previos y nuevos conocimientos motivando al estudiante a conocer más con el aprovechamiento de su interacción con las nuevas tecnologías de la información y la comunicación.

La estrategia STEAMRW se convierte en un reto para el docente porque lo invita a prepararse mejor tanto en lo puramente disciplinar como en lo metodológico, toda vez que el desarrollo de la formación de ingenieros desde el marco universitario implica de uno y de otro. Los fundamentos epistemológicos sobre los que se soporta esta tendencia moderna son suficientemente sólidos si se miran desde la perspectiva del proceso de formación de un programa de ingeniería y permite que no sólo se conozca el presente de la tecnología computacional sino que se pueda digerir el pasado visto desde su evolución y el futuro visto desde las perspectivas y proyecciones que pueden facilitar la articulación entre los ingenieros de hoy y el mundo actual que es el que van a vivir y con el cual van a interactuar.

La aproximación a cada una de las componentes de la estrategia STEAMRW desde la perspectiva de la ingeniería, fortalece a la misma ingeniería como campo disciplinar y le entrega al estudiante la posta que le permite proyectar sus conocimientos hacia la solución de los nuevos problemas y los nuevos escenarios que van apareciendo en el mundo posmoderno. Es complejo pensar que un corpus de conocimiento está concebido para aprenderse sin conocer su evolución histórica, su génesis y sus implicaciones en el pasado así como las diferentes aplicaciones que de él se pueden desarrollar, las proyecciones que se pueden plantear y los horizontes nuevos que se pueden abrir cuando maduramos dicho conocimiento en bien de la sociedad.

La investigación cuantitativa y cualitativa se complementa cuando se acude a ellas como mecanismos de verificar los resultados de la investigación y como formas de comparar si tal o cual metodología, teoría o modelo han generado impactos positivos o negativos, todo ello de la mano de la investigación científica tanto en su método como en su interacción y bajo parámetros que hagan cada vez más confiables las inferencias que se obtengan.

El complemento perfecto para la ingeniería, en el campo de la docencia universitaria, es el campo de la educación puesto que aquella provee el conocimiento disciplinar mientras que esta provee las metodologías, modelos y estrategias que hagan efectivo que los estudiantes en formación accedan e interioricen dichos conocimientos disciplinares.

En relación con los objetivos del presente trabajo cuyo problema radicaba en tener elementos de juicio para comparar el rendimiento académico y el aprendizaje de la programación en cursos paralelos bajo el marco referencial de la estrategia STEAMRW, se puede concluir que la metodología adoptada ha demostrado que es mucho más claro para los estudiantes acceder a dicho conocimiento por el camino que esta estrategia le marca que acceder por los caminos tradicionales. En este contexto el gran beneficiado es el estudiante, futuro ingeniero, y con él toda la sociedad pues ésta provee los problemas y aquel provee las soluciones desde el conocimiento ingenieril.

## **Referencias**

- Annanth, M. (23 de Marzo de 2016). *Humanities and Engineering Education*. Recuperado el 18 de 08 de 2018, de <http://www.t5eiitm.org/2016/03/importance-humanities-engineering-education/>
- Araya Alemparte, D. (15 de Junio de 2017). *La educación como desarrollo personal: propuesta de innovación educativa*. *Revista Educación y Ciudad*, 32, Págs. 43-51.
- Ballester Valori, A. (2011). *Meaningful Learning in practice*. Islas Canarias: Universitat de les Illes Balears.
- Ben Haim, J. (2000). *Why the best engineers should study Humanities*. *The international journal of mechanical engineering education*, 28, 195 - 200.
- Bisquerra Alcina, R. (2004). *Metodología de la investigación educativa*. Madrid (España): Editorial La Muralla S. A.
- Blanchard, B. (2008). *System Engineering Management (4th Ed. ed.)*. New York: Wiley Publish.
- Boyer, C. (2010). *Historia de la Matemática*. Madrid: Alianza Editorial.
- Bugliarello, G. (2002). *The social function of Engineering: A current assessment*. New York: *Engineering as a Social Enterprise*. National Academy Press.
- Cao, L. (2018). *Data Science Thinking*. Berlin (Alemania): Springer.
- Diaz Barriga, F., & Hernandez Rojas, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. México: McGraw Hill.
- Diaz Golpe, V. (2016). *El Camino hacia el Sol: Economía, Energía, Medio Ambiente y Sociedad*. New York: CreateSpace Independent Publishing .
- Estrada Esponda, R. (Julio de 2017). *La lectura y la escritura como herramientas pedagógicas para la enseñanza de Ingeniería de Software*. *Revista Educación en Ingeniería - ACOFI*, 12(24), 83-88.
- Falcao, R. (Nov 2017). *Improving learning outcomes assessment in Engineering Education*. Lovaina (Bélgica): Universidad Nova de Lisboa - ENAEE Members Forum 2017.

- Gomez Alvarez, M., Sanchez Dams, R., & Barón Salazar, A. (Junio de 2018). *A Representation Proposal of Practices for Teaching and Learning Software Engineering Using a Semat Kernel Extension*. *Revista Ingenierías*, 17(32), 129-154.
- Johnson, D., & Wetmore, J. (2008). *Technology and Society: building our sociotechnological future*. Boston: The MIT Press.
- Lindsay, D. (2011). *Scientific Writing Thinking in Words*. Sidney, Australia: CSIRO Publishing.
- Mohd Nasir, I., Ngah, N., & Umar, I. (2010). *Instructional strategy in the teaching of computer programming: A need assessment analysis*. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 9(2), 125 - 131.
- Muñoz Guerrero, L. (2019). *Tesis Doctoral Modelo de socialización del conocimiento profesional aprovechando NTICs, redes sociales y sus servicios asociados y desarrollo de competencias blandas con grupos interdisciplinarios en Ing de Sistemas*. Pereira (Risaralda): Doctorado en Ciencias de la Educación RudeColombia.
- Prince, M. (Julio de 2004). *Does Active Learning work?* *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231.
- Teachers Created Materials*. (2017). *Environment: A World of Change*. New York: Teachers Created Materials.
- Trejos Buriticá, O. (2012). *Significado y Competencias*. Pereira (Risaralda) - Colombia: Editorial Papiro.
- Trejos Buriticá, O. (2012). *Tesis Doctoral "Aprendizaje en Ingeniería: Un problema de Comunicación"*. Pereira (Risaralda): Doctorado en Ciencias de la Educación RudeColombia - CADE UTP.
- Trejos Buriticá, O. (Febrero de 2018). *Metodología 4321 de trabajo en grupo para fortalecer el aprendizaje de la programación usando aprendizaje colaborativo y aprendizaje cooperativ*. *Revista Educación en Ingeniería - ACOFI*, 13(25), 28-36.
- Watson, A., & Watson, G. (2013). *Transitioning STEM to STEAM: reformation of engineering education*. *The journal for quality and participation*, 1-5.
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). *Exploring the Exemplary STEAM Education in the U.S. as a practical education framework for Korea*. *J Korea Assoc. Sci. Edu*, 32(6), 1072 - 1086.

# 10

## ***Aplicación de modelos de competitividad empresarial para una empresa del sector de la remodelación en la ciudad de Pereira***

### ***Application of business competitiveness models for a company in the remodeling sector in the city of Pereira***

Laura Daniela Marín Monedero<sup>1</sup>, Laura Yurany Vega Cañola<sup>2</sup> Paola Andrea Echeverri Gutiérrez<sup>3</sup> Jesús David Valencia Salazar<sup>4</sup>

#### ***Resumen***

La competitividad de una compañía se entiende de diversas formas, inicialmente trata de vencer a la competencia del sector en que se desenvuelve, utilizando herramientas comerciales y empresariales que permitan adquirir una posición dominante para el negocio en dicho mercado.

Para el sector de la remodelación en Colombia se presentan pocos antecedentes que permitan comparar las compañías participantes e identificar la ventaja competitiva de cada una de estas, de manera tal que sea posible analizar cuáles son aquellos aspectos a mejorar; no obstante, las empresas objeto de estudio (3 compañías de la ciudad de Pereira que se consideran como la líder, seguidora y retadora, las cuales se identificarán como X, Y y Z) presentan problemas como: retrasos en sus procesos logísticos, generando inconformidad en los clientes finales por incumplimiento en entregas, además, aunque existe garantía de

---

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniería Comercial, Universidad Libre Seccional Pereira, [laurad-marinm@unilibre.edu.co](mailto:laurad-marinm@unilibre.edu.co)

<sup>2</sup> Estudiante Ingeniería Comercial, Universidad Libre Seccional Pereira, [lauray-vegac@unilibre.edu.co](mailto:lauray-vegac@unilibre.edu.co)

<sup>3</sup> MBA, Ingeniera, Universidad Libre Seccional Pereira, [paola.echeverrig@unilibre.edu.co](mailto:paola.echeverrig@unilibre.edu.co)

<sup>4</sup> MBA, Ingeniero, Universidad Libre Seccional Pereira, [jesusd.valencias@unilibre.edu.co](mailto:jesusd.valencias@unilibre.edu.co)

servicio técnico para productos importados, no es lo suficientemente efectiva, por lo que se retrasa la garantía con el cliente, llevando a una disminución en las ventas; un tercer problema radica en las largas esperas de los clientes para ser atendidos en el área de ventas, razón por la cual, buscan otras opciones, el cuarto inconveniente es que las compañías no cuentan con servicio de entrega de material hasta las obras, ya que no tienen vehículos propios para brindar este servicio, lo que para el consumidor se traduce en falta de valor agregado. Teniendo en cuenta lo anterior, surge la pregunta de investigación ¿Cuál es la ventaja competitiva para la empresa objeto de estudio en el sector de la remodelación?

El estudio tuvo como objetivo realizar un análisis del entorno empresarial aplicando cuatro modelos de competitividad, inicialmente se empleó el «*modelo de las cinco fuerzas*» de Porter (1985), el cual establece un marco para analizar las características del sector de los productos de remodelación, determinar la intensidad de la competencia y rivalidad en este sector. En una segunda fase, se aplicó la «cadena de valor» del mismo autor, herramienta estratégica que se usó para analizar las actividades de la empresa líder (X) y así identificar fuentes de ventaja competitiva; en la tercera etapa se aplicó la «*Matriz de Planificación Estratégica y Evaluación de la Acción (PEEA)*» para establecer la tendencia que deben seguir las estrategias de esta compañía, finalmente se aplicó el «*Modelo de Competitividad Empresarial*» de Manuel Humberto Jiménez (2006) para analizar la empresa X con respecto a dos de sus principales competidores en el sector (Y y Z), mostrando en qué nivel de competitividad se encuentra cada una, para así determinar que estrategias se pueden implementar y en qué puntos se puede mejorar.

Este estudio fue descriptivo, basado en el método inductivo-deductivo y mediante la metodología cualitativa, los datos fueron recolectados a través de la técnica de encuesta y cuestionario estructurado.

Dentro de los principales hallazgos se identificó que en el sector de la remodelación, la fuerza que genera mayor impacto es la amenaza de productos sustitutos y la rivalidad entre competidores; la fuerza menos representativa es el poder de negociación para los proveedores y el poder de negociación de los clientes. Así mismo se establecieron los elementos que generan valor y la tendencia de las estrategias implementadas por la empresa X. Finalmente se determinó la competitividad de las compañías objeto de estudio (X, Y y Z), así como los factores en los cuales se destacan y deben mejorar para hacer el sector más competitivo.

**Palabras clave:** *Competitividad, Remodelación, Modelo de Competitividad Empresarial, cadena de valor, cinco fuerzas de Porter.*

## ***Abstract***

*The competitiveness of a company is understood in different ways, initially it tries to beat the competition of the sector in which it operates, using commercial and business tools that allow it to acquire a dominant position for the business in said market.*

*For the remodeling sector in Colombia, few antecedents are presented that allow comparing the participating companies and identifying the competitive advantage of each one of them, so that it is possible to analyze which aspects are to be improved; However, the companies under study (3 companies in the city of Pereira that are considered the leader, follower and challenger, which will be identified as X, Y and Z) present problems such as: delays in their logistics processes, generating disagreement in the final customers for non-compliance in deliveries, also, although there is a technical service guarantee for imported products, it is not effective enough, so the guarantee with the client is delayed, leading to a decrease in sales; A third problem lies in the long waiting times for customers to be served in the sales area, which is why they are looking for other options. The fourth drawback is that companies do not have a material delivery service until the works, since they do not have their own vehicles to provide this service, which for the consumer translates into a lack of added value. Considering the above, the research question arises: What is the competitive advantage for the company under study in the remodeling sector?*

*The objective of the study was to carry out an analysis of the business environment by applying four competitiveness models. Porter's (1985) "five forces model" was initially used, which establishes a framework to analyze the characteristics of the remodeling products sector. , determine the intensity of competition and rivalry in this sector. In a second phase, the author's "value chain" was applied, a strategic tool that was used to analyze the activities of the leading company (X) and thus identify sources of competitive advantage; In the third stage, the "Strategic Planning and Action Evaluation Matrix (PEEA)" was applied to establish the trend that the strategies of this company should follow, finally the "Business Competitiveness Model" of Manuel Humberto Jiménez (2006) was applied. ) to analyze company X with respect to two of its main competitors in the sector (Y and Z), showing what level of competitiveness each one is in, in order to determine what strategies can be implemented and at what points it can be improved.*

*This study was descriptive, based on the inductive-deductive method and using the qualitative methodology, the data was collected through the survey technique and structured questionnaire.*

*Among the main findings, it was identified that in the remodeling sector, the force that generates the greatest impact is the threat of substitute products and rivalry between competitors; the least representative force is the bargaining power for suppliers and the*

*bargaining power of customers. Likewise, the elements that generate value and the trend of the strategies implemented by company X were established. Finally, the competitiveness of the companies under study (X, Y and Z), as well as the factors in which they stand out and they must improve to make the sector more competitive.*

**Keywords:** *Competitiveness, Remodeling, Business Competitiveness Model, value chain, five Porter forces*

## ***Introducción***

El sector de la remodelación en Colombia ha crecido considerablemente debido a la demanda del mercado, como lo sostiene el vicepresidente de la división de revestimiento, materiales y pinturas de Corona (Dinero, 2018), empresa líder del segmento de la remodelación, en el primer semestre del 2018 este subsector reflejó un crecimiento del 10 % para la compañía, a pesar de que el sector de la construcción en el país para el primer trimestre presentó una reducción del 8,2 %, lo que ha posibilitado el surgimiento de nuevas compañías, nuevos formatos (Outlet Corona) o que las empresas ya existentes amplíen su portafolio para llegar a *«nuevos mercados con innovaciones tanto en productos como en procesos de venta»* (Dinero, 2018), buscando ser altamente competitivas, por lo cual han determinado implementar nuevas estrategias con el fin de mejorar su posición dentro del sector. De esta manera surgen los modelos de competitividad que ayudan a perfeccionar el nivel competitivo dentro de la empresa, la cual se considera como *«el grado en el que un país puede producir bienes y servicios capaces de competir exitosamente en mercados globalizados y a la vez mejorar las condiciones de ingreso y calidad de vida de su población»* (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2006).

La competitividad de una compañía se entiende de diversas formas, entre otras, tratar de superar a la competencia del sector utilizando para ello herramientas comerciales y empresariales que permitan adquirir una posición dominante para el negocio en dicho mercado. Para responder a este reto de diferenciación, el sector de la cerámica, porcelana y loza ha estructurado tres segmentos: productos para construcción y remodelación (ladrillos, pisos cerámicos, baldosines, enchapes, griferías), locería y utensilios (vajillas y artefactos) y productos para el sector de la energía (aisladores eléctricos en porcelana). En este sector como lo sostiene el Comité del Sector Cerámico (ANDI, 2019), con sus empresas afiliadas: *«Alfa, Cerámica San Lorenzo, Corona y Eurocerámica representan el 90% de la producción nacional de pisos y revestimientos cerámicos»*.

Para enfrentar la crisis de la construcción que se presentó en la segunda mitad de los 90, los principales ceramistas en Colombia tomaron medidas de productividad y una de ellas fue activar el potencial de los mercados internacionales (Dinero, 2001); en la actualidad, este sector se enfrenta a nuevos retos como trabajar con el «*Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la elaboración de una propuesta normativa que no afecte la salud ni el ambiente sano y que permita al sector industrial en Colombia seguir produciendo en condiciones competitivas y bajo parámetros internacionales*» (CAEM, 2019).

Para este trabajo se consideraron como antecedentes los estudios asociados al sector de la remodelación como: «*Beneficios de la implementación de la tecnología de identificación en los productos de los procesos logísticos: Almacenes Corona S.A.*» (Angarita Nova, 2012); «*Planteamiento de la estrategia de negocios CRM (Customer Relationship Management) para el canal constructor de Corona* » (Arias González, 2014); «*Crecimiento construcción mundial superará al PIB esta década: PWC*» (Roumeliotis, 2011); «*El modelo de las cinco Fuerzas de Porter como instrumento para la adopción de decisiones estratégicas organizacionales: aplicación al sector de la Construcción Naval Militar*» (Hoyos, 2015); «*Internacionalización del sector de la construcción Colombiano: Caso de la organización corona en Brasil*» (Parente-Laverde, Guisao, Carmona, & Giraldo, 2017), todos estos estudios permitieron una aproximación a la dinámica del sector, no obstante, el aporte de este estudio redonda en un análisis de la competitividad en las empresas consideradas, según la estrategia de marketing competitiva, en la cual se definen estas organizaciones como la líder, la retadora y la seguidora (Kotler & Armstrong, 2012).

Este trabajo está fundamentado en el estudio de competitividad que tiene la actividad comercial de la remodelación en la ciudad de Pereira entre el año 2018 - 2019, cuyo propósito consistió en la aplicación de cuatro modelos: las cinco fuerzas de Porter para identificar las fuerzas que hacen competitivo éste sector, la «*cadena de valor*» para analizar las actividades de la empresa objeto de estudio (denominada X) y así identificar sus fuentes de ventaja competitiva, la «*Matriz de Planificación Estratégica y Evaluación de la Acción (PEEA)*» para establecer la tendencia que deben seguir las estrategias de esta compañía y el modelo de «*Competitividad Empresarial*» de Manuel Humberto Jiménez para realizar un análisis comparativo de la empresa X con dos de sus principales competidores (identificadas como Y, Z), con el fin de determinar qué ventajas, desventajas y procesos por mejorar se deben considerar frente a la competencia.



## ***Metodología***

Para el desarrollo del proyecto se emplean los modelos: Las cinco fuerzas competitivas (M. E. Porter, 2008), Cadena de Valor desarrollada por el mismo autor en 1987, Matriz de la posición estratégica de mercado (PEEA) de A. Rowe, R. Mason y K. Dickel creada en 1982 y el modelo de competitividad empresarial (M. H. Jiménez Ramírez, 2006). Esta investigación se realizó entre el año 2018-2019, se aplicaron encuestas estructuradas a los altos directivos de las compañías X, Y y Z en las cuales se indago sobre los factores de gestión gerencial, gestión comercial, gestión de producción, gestión financiera, ciencia y tecnología e internacionalización. Así mismo se tuvo en cuenta la información que se encuentra en la página web de cada una de estas compañías y de la Superintendencia Financiera para obtener los estados financieros de las mismas. De otro lado se utilizaron artículos de bases de datos especializadas como “Scopus” y “Science Direct”, así como información obtenida del Comité Sector Cerámico de la ANDI para caracterizar esta industria.

Así mismo para el desarrollo de la Matriz de la posición estratégica de mercado (PEEA), se realizó la evaluación tanto interna como externa de la X y se identificó la tendencia de las estrategias con base en cuatro cuadrantes que contiene la matriz en: agresiva, conservadora, defensiva o comparativa.

Finalmente se consideran elementos de metodología de la investigación de (Bernal, 2010; Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014; Méndez Álvarez, 2006), los cuales permitieron formular una estrategia para la empresa objeto de estudio.

### **Aplicación del modelo de 5 fuerzas de Porter en el sector de la remodelación.**

La aplicación de los modelos inicia con las 5 fuerzas de Michael Porter (2006), el cual permite analizar el nivel de competencia de una organización dentro del sector al que pertenece. Esta teoría propone cinco fuerzas importantes que determinan el poder competitivo de la organización: Poder de Negociación de los Clientes, Poder de Negociación de los Proveedores o Vendedores, Amenaza de Nuevos Competidores entrantes, Amenaza de Productos Sustitutos y Rivalidad entre los Competidores.

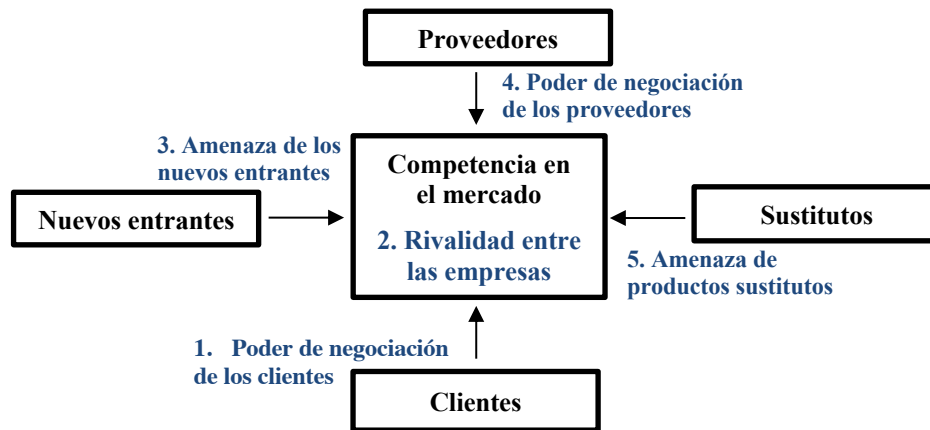


Figura 1. Cinco fuerzas de Porter. Fuente: (M. E. Porter, 2006)

Al realizar la aplicación al sector de la remodelación, se encontró para cada una de las fuerzas lo siguiente:

### **Amenaza de entrada nuevos competidores**

En este sector se requiere de «*gran inversión en infraestructura e investigación, gran conocimiento de la industria y sus procesos, certificaciones de calidad y personal técnico para los procesos de producción, lo que indica que existen barreras altas para el ingreso de nuevos competidores, sin embargo no es imposible acceder al mercado Colombiano ya que no existen leyes o normatividades que lo impidan*» (M. Touzet Figueroa; E. Salinas Córdova, 2014).

De acuerdo a lo expuesto, una compañía dedicada al sector de los materiales de remodelación requiere de una alta inversión, tiempo y conocimiento, por lo tanto, para la empresa X, considerada por los investigadores como la líder con base en el nivel de ventas, posee presencia a nivel nacional, un buen músculo financiero y alto posicionamiento, por lo cual no se encuentra en riesgo y su amenaza es baja, seguida de la empresa Y, considerada como retadora, la cual tiene a su favor la trayectoria que tiene en el mercado, diferente a la Empresa Z, seguidora, que presenta alto riesgo porque no posee según las entrevistas realizadas a la alta dirección un alto posicionamiento en el mercado y respaldo financiero suficiente para defenderse.

### **Amenaza de ingreso de productos sustitutos**

Esta fuerza puede ser un factor determinante para las compañías, dado que, si el producto de ésta no tiene ninguna ventaja específica en comparación con productos similares, la amenaza es mayor. En este caso se cuenta con 3 compañías (X, Y y Z) que, si bien son fabricantes de sus productos, pueden estar en riesgo, dado que a diario se introducen al mercado bienes sustitutos de menor valor.

### **Poder de Negociación de los Proveedores**

Teniendo en cuenta el sector y las empresas evaluadas (X, Y, Z) se puede identificar lo siguiente: El sector cuenta con proveedores exclusivos ya sea para materia prima como para producto terminado, esto no es un factor positivo con el que cuentan todas las compañías, en especial una de ellas, la compañía Z, ésta cuenta con el mayor número de proveedores externos para abastecer una considerable parte de su portafolio, lo que podría constituir una alta amenaza puesto que compromete su capacidad de supervivencia por tener como proveedor a su principal competidor. La compañía X, tiene como casa matriz un almacén altamente competente en el sector de la remodelación, por lo tanto, si este sector tiene sobredemanda de un producto, el proveedor a la primera empresa que enviaría el material sería a sus filiales (puntos de venta propios), lo cual afectaría a la empresa Z. Por otro lado, las compañías X y Y no manejan tanta dependencia de productos diferentes a los que fabrican, sin embargo, cuentan con proveedores exclusivos que les brindan mayor estabilidad en calidad y tiempos de entrega, siendo muy estrictos en cada detalle para ser cumplidos con cada proceso.

### **Poder de negociación con los compradores**

Este sector, va muy ligado al sector de la construcción, por lo que su segmentación está más enfocada en las constructoras, arquitectos, ingenieros y demás profesionales dedicados a la construcción o remodelación. Así mismo en este sector se manejan líneas de productos básicos a bajos costos o líneas de revestimientos novedosos para estratos altos.

En el Eje Cafetero, especialmente en la ciudad de Pereira, se implementan algunas estrategias de mercado sujetas al comportamiento del consumidor, procurando que los productos se destaquen en la relación precio-calidad, añadiendo buen servicio con el fin de obtener un clientes satisfechos y fidelizados, algunas compañías implementan diferentes estrategias para generar recordación de su marca y así incrementar sus negocios, la compañía X implementó dos clubs, el «*club profesional*» y el «*club maestro*» buscando brindar

beneficios a maestros y arquitectos para que de esta manera se sientan parte del almacén y así se fortalezca el conocimiento y continúe el crecimiento de la compañía. Además, ha implementado estrategias para mejorar sus canales de distribución a través del montaje de “Home Centers”.

Por otra parte, para manejar el poder de negociación con los compradores, la compañía Y tiene un proceso logístico tecnológico, el cual favorece la entrega a tiempo del material a sus clientes, esto produce gran impacto sobre el sector, dado que otras compañías no cuentan con este mecanismo, el cual consiste en que los clientes pueden visualizar a través de una página web el producto disponible y a su vez reservarlo, para así asegurar la mercancía que requiere y reclamar la misma sin contratiempos. En el caso de la compañía Z, no establece un valor que genere impacto en sus clientes, por este motivo se encuentra en alto riesgo en comparación a lo ofrecido por la competencia.

### **Rivalidad entre competidores**

En el sector de remodelación; la compañía X, Y y Z, se podrían identificar como las más competentes, por su aplicación de estrategias de marketing competitivas (empresa líder, retadora y seguidora), por lo tanto, se presenta cierta rivalidad entre ella; no obstante, poseen cualidades similares como: trayectoria, la calidad de sus productos y en el servicio, la innovación, aplicación de apoyo tecnológico, entre otras.

Es de destacar que la compañía X es líder del sector de remodelación en la ciudad de Pereira, debido a su nivel de activos e ingresos, lo cual se refleja en que sea la compañía que mayor participación tiene en el mercado. Además, se destaca por la amplia gama de productos que ofrece, servicio personalizado, diseño computarizado, alternativas de pago y financiación, entrega a domicilio y garantía.

Las empresas en este sector tienen un importante posicionamiento debido a que *«buscan eficiencia en sus procesos y porque se mantienen en una competencia fuerte, tratan de prevalecer con innovación y mejores prácticas, para hacerle frente a la competencia de productos que traen de otros países como China, generalmente a precios muy inferiores»* (D. Garzón Ortégón, 2016).

En síntesis, este modelo contribuye en la generación de nuevas estrategias en esta industria de acuerdo a las necesidades presentadas en las diferentes áreas del sector, tanto internas como externas. Teniendo en cuenta cada uno de las fuerzas estudiadas al desarrollar el modelo, se evidencia que la fuerza que genera mayor impacto es *«Amenaza de productos*

*sustitutos*», ya que estos cumplen las mismas características y sustituyen con facilidad la misma opción a un menor costo.

Por otro lado «*Rivalidad entre competidores*» es también de alto impacto, dado que se presenta cierta rivalidad entre ellas, puesto que tienen cualidades similares como; la trayectoria, la calidad, el servicio, la innovación, la tecnología, entre otras.

La fuerza «*Poder de negociación de los proveedores*» presentó un impacto bajo, dado que el sector cuenta con proveedores exclusivos, tanto para materia prima como para producto terminado. La mayoría de compañías cuentan con este beneficio puesto que son fabricantes y comercializadoras.

Otra de las fuerzas que intervienen en el desarrollo del modelo es el «*Poder de negociación de los clientes*», esta no ejerce tanto dominio sobre el sector, a pesar de que los clientes que normalmente pertenecen al sector de la construcción (constructoras, arquitectos, ingenieros, profesionales que realizan labores de remodelación) son cada vez más exigentes y buscan la misma calidad a un menor precio, las compañías desarrollan más estrategias para suplir la necesidad de economía y calidad que los clientes exigen.

Por último «*Amenaza de nuevos competidores entrantes*» es una fuerza que no genera alto impacto dentro del sector, dado que, de acuerdo al estudio, cualquier empresa que desee ingresar en esta industria requiere de una alta inversión, adicional algunas de las compañías estudiadas son fabricantes, por tanto, cuentan con un nivel alto de producción y tienen la capacidad de ser diferenciadoras en sus productos, facilidad de modificar e innovar y dar un mejor precio.

### **Cadena De Valor Empresa X (Líder – Objeto De Estudio)**

Se analiza la cadena de valor de la empresa líder en el mercado (X) con sus actividades principales, actividades de apoyo, matriz DOFA y la matriz estratégica sugerida, también se analizaron los elementos que generan valor y reducen costos con los respectivos indicadores para medir los beneficios de estos.

Las empresas crean valor para sus compradores por medio de la realización de actividades. El valor definitivo que crea una empresa se mide por el precio que los compradores están dispuestos a pagar por su producto o servicio.

Todas las actividades de la cadena de valor contribuyen a acrecentar el valor para el comprador. Estas pueden dividirse, a grandes rasgos, en dos grupos; aquellas que se refieren a la producción, comercialización, entrega y servicio posventa del producto, dentro de un plano cotidiano (actividades primarias) y aquellas que proporcionan recursos humanos, tecnología e insumos comprados, o funciones generales de infraestructura para apoyar las otras actividades (M. Porter, 1991).

A continuación, se analiza la cadena de valor de la empresa objeto de estudio:

La empresa X comercializa soluciones para pisos, baños y cocinas, ofrece diseño asequible para todos los gustos, amplias opciones de financiación y de servicios relacionados con la transformación del hogar. Esta compañía cuenta con 40 puntos de venta a nivel nacional que además de vender la más amplia gama de productos y de las mejores marcas nacionales e internacionales, se especializa en la ejecución de proyectos completos haciendo más simple la remodelación, aportando valor agregado a los consumidores, facilitando este proceso por medio de asesoría personalizada, diseño computarizado, alternativas de pago y financiación, entrega a domicilio y garantía.

Con base en la teoría se identifican las actividades primarias y de apoyo de la organización:



Figura 2. Cadena de valor Empresa (X)  
Fuente: Elaboración propia.

Complementariamente, se procede a la elaboración de la perfilación de la compañía X a través de la matriz DOFA, la cual constituye una opción para encontrar el mejor

acoplamiento entre las tendencias del medio (oportunidades y amenazas) y las capacidades internas (fortalezas y debilidades). En correspondencia con Serna Gómez (2014), dicho análisis permitió formular estrategias para aprovechar sus fortalezas, prevenir el efecto de sus debilidades, utilizar a tiempo oportunidades y anticiparse a potenciales amenazas.

Tabla 1. Matriz DOFA

<b>D O F A</b>	<u>FORTALEZAS – F</u>	<u>DEBILIDADES – D</u>
	<b>F1: Aseguramiento de la calidad.</b> <b>F2: Uso de planes estratégicos.</b> <b>F3: Participación en el mercado.</b> <b>F4: Sistemas de recompensas.</b> <b>F5: Pertenencia hacia la compañía.</b> <b>F6: Costos Logísticos</b> <b>F7: Estabilidad en costos.</b>	<b>D1: Agresividad para enfrentar la competencia.</b> <b>D2: Capacidad de innovación.</b> <b>D3: Exclusividad del producto o servicio.</b> <b>D4: Movimiento del inventario.</b> <b>D5: Ventas perdidas.</b> <b>D6: Nivel tecnológico usado en productos o servicios.</b>
<u>OPORTUNIDADES – O</u>	<u>ESTRATEGIAS – FO</u>	<u>ESTRATEGIAS – DO</u>
<b>O1: Eficiencia en las comunicaciones.</b> <b>O2: Proyecto con impacto social.</b> <b>O3: Aceptabilidad de clientes en usar tecnología.</b> <b>O4: Comercio Electrónico</b> <b>O5: Desarrollo de nuevos productos o servicios.</b> <b>O6: Alianzas estratégicas.</b>	<b>F7+O1: Campañas de mercadeo utilizando las TIC.</b>  <b>F3+O4: Implementar ventas online para productos especiales.</b>  <b>F2+O2: Pintar colegios con pinturas Corona.</b>	<b>D5+O1: Hacer ofrecimientos de ofertas vía telefónica.</b>  <b>D1 + O4 +O5: Realizar alianza con empresas de construcción, publicación masiva en páginas web más buscadas.</b>  <b>D6+O3: Actualizar el portafolio con referencias que brinden más especificaciones técnicas.</b>
<u>AMENAZAS – A</u>	<u>ESTRATEGIAS – FA</u>	<u>ESTRATEGIAS – DA</u>
<b>A1: Capacitación del personal. Desempleo.</b> <b>A2: Retraso de la entrega de productos.</b> <b>A3: Productos sustitutos.</b> <b>A4: Dependencia de proveedores.</b> <b>A5: Contratación del personal por la competencia</b>	<b>F1+A4: Fortalecimiento de marca en calidad del producto.</b>  <b>F4+F5+A6: Nuevo incentivo para los colaboradores.</b>  <b>F6+F7+A3: Disminución de costos y cumplimiento de tiempos de entrega.</b>	<b>D1+A2: Vender una serie de productos complementarios.</b>  <b>D2+A1: Capacitación continua del personal.</b>  <b>D3+D4+A5: Establecer estructura para el movimiento del inventario, además acordar total exclusividad.</b>

A continuación, se detallan los elementos a considerar dentro de las estrategias dado que generan valor, los cuales son oportunidades para diferenciarse de los competidores.

Tabla 2.Elementos que generan valor y reducen costos

<b>INDICADORES PARA MEDIR LOS BENEFICIOS DE LA CADENA DE VALOR</b>	
<b>ELEMENTO</b>	<b>¿CÓMO MEDIRLO?</b>
Incremento de Clientes promotores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NPS: Momentos de verdad</li> </ul>
Crecimiento de la tasa de conversión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PEOPLE SOFT: Número de cotizaciones convertidas en pedidos.</li> <li>• VIRTUAL DECOR: Número efectivo de pedidos por diseño realizado.</li> </ul>
Mayor satisfacción de los clientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PQRSF: Libros LOLA (proceso interno empresa X), Servicio al cliente.</li> </ul>

De acuerdo al resultado, es evidente que la empresa X es una marca que busca que sus clientes sean lo más importante a partir de cada uno de los procesos internos y externos que permiten brindar un excelente producto y así mismo un comfortable servicio. Además, para la empresa, los asesores son un factor importante en la cadena de valor, ya que son el canal para comunicar correctamente la propuesta de valor, fortalecido por las capacitaciones constantes.

### **Matriz PEEA**

La matriz «*Posición estratégica y evaluación de acciones*» (PEEA) (Serna Gómez, 2014) permite identificar la posición competitiva en la que se encuentra la compañía mediante la evaluación del ambiente interno y externo de la misma. Además, esta herramienta ayuda a conocer las perspectivas de las estrategias. La matriz contiene cuatro cuadrantes que identifican si la organización es capaz de diseñar estrategias con tendencia agresiva, conservadora, defensiva o comparativa.

A continuación, se realiza la aplicación de la matriz a la compañía X para evaluar sus ambientes tanto interno como externo y posterior a esto definir el tipo de estrategia que la compañía debería aplicar de acuerdo a sus posibilidades.

#### **Ambiente Interno.**

Para el desarrollo de esta matriz, se consideraron los siguientes factores internos. Los cuales se evaluaron (E) del 0 (Nula capacidad) al 10 (Capacidad Total), de acuerdo a la capacidad que tiene la empresa para hacer frente a los cambios y tendencias de esos factores.



Tabla 3. Matriz PEEA.

<i>Factor</i>	<i>Evaluación (E)</i>	<i>Importancia (W)</i>	<i>(E)x(W)</i>	<i>Total</i>	<i>Semáforo</i>
<b>ADMINISTRACIÓN</b>	<b>8,70</b>	<b>0,2</b>	<b>1,74</b>	<b>7,42</b>	<b>7 a 10</b> <i>Fortaleza</i>
<b>PLANEACIÓN</b>	<b>8,5</b>				<b>3 a 7</b> <i>Neutral</i>
Establecimiento de metas y objetivos	10	10	100		<b>1 a 3</b> <i>Debilidad</i>
Establecimiento de estrategias para competir	8	6	48		
Monitoreo de ambiente externo	5	3	15		
Anticipación de acciones y reacciones de la competencia	7	6	42		
Monitoreo y anticipación de necesidades	8	7	56		
Presupuesto	10	10	100		
Enfoque de administración estratégica	9	8	72		
Misión por escrito	10	5	50		
Planes de contingencia	8	7	56		
Asignación de recursos basado en metas	10	9	90		
Objetivos, estrategias, metas y políticas de soporte claras	10	9	90		
<b>ORGANIZACIÓN</b>	<b>8,6</b>				
Organigrama formal	10	6	60		
El organigrama refleja la estructura deseable	7	5	35		
El organigrama refleja radios de control aceptables	7	6	42		
Se agrupan las actividades apropiadamente	8	7	56		
El organigrama incluye funciones staff de manera apropiada	7	5	35		
El organigrama tiene unidad de mando	7	4	28		
Delegación correcta de autoridad	10	8	80		
Descripción de puestos por escrito	10	9	90		
Especificación de puestos por escrito	10	6	60		
Trabajos significativos, retadores y con recompensa	10	10	100		
<b>MOTIVACIÓN</b>	<b>8,50</b>				
Moral del empleo	10	10	100		
Moral del gerente	10	9	90		
Satisfacción en el trabajo	8	8	64		
Estilo de administración	10	9	90		
Promoción de la creatividad	5	5	25		
Ausentismo	10	8	80		
Rotación de personal	8	10	80		
Grupos informales	5	5	25		
Comunicación	9	7	63		
Liderazgo	8	6	48		
Recompensa y sanciones	10	8	80		
Adaptación al cambio	7	8			
Satisfacción necesidades empleados	9	9	81		
Apoyo de las políticas a las metas	10	9	90		

Continuación Tabla 3. Matriz PEEA.

<b>PERSONAL</b>	<b>8,91</b>		
Existe departamento de recursos humanos	10	9	90
Reclutamiento, entrevista, prueba, selección y despido	10	10	100
Entrenamiento y desarrollo de empleados	10	10	100
Beneficios razonables para el empleado	10	8	80
Sistema de evaluación de actuación	9	8	72
Sueldos y salarios	10	10	100
Políticas disciplinarias	9	8	72
Planeación de carrera	10	7	70
Higiene y seguridad	6	5	30
Oportunidades iguales de empleo	6	4	24
Promoción de empleados	7	6	42
Existe un código de ética	10	9	90
<b>CONTROL</b>	<b>9,00</b>		
Sistema de control financiero	10	10	100
Sistema de control de inventarios	10	9	90
Sistema de control de gastos	10	10	100
Sistema de control de trabajadores	10	10	100
Sistema de control de calidad	8	7	56
Sistema de control de información	8	6	48
Estándares de productividad	9	9	81
Monitoreo	8	8	64
Acciones correctivas	10	8	80
Apoyo de sanciones y recompensas al sistema de control	7	6	42
Control de falta de ética	10	5	50
Sistemas de control rápidos, exactos y totales	8	7	56
<b>VINCULACIÓN Y MERCADOTECNIA</b>	<b>6,66</b>	<b>0,2</b>	<b>1,33</b>
Sistema de inteligencia	9	5	45
Uso de resultados de la investigación de mercados	8	7	56
Pronósticos	7	6	42
Planeación de la mercadotecnia	6	5	30
Asignación de metas	10	9	90
Análisis de servicios, mercados y territorio	9	7	63
Desarrollo de nuevos productos y servicios	10	10	100
Se cumplen objetivos por cada servicio específico	8	6	48
Qué productos y/o servicios deben agregarse y/o retirarse	7	7	49
Satisfacción de empleadores y sociedad	7	6	42
Publicidad	6	6	36
Promoción personal	6	5	30
Promoción por diversos medios	7	4	28

Continuación Tabla 3. Matriz PEEA.

<b>FINANZAS</b>	<b>7</b>	<b>0,2</b>	<b>1,4</b>
Liquidez	10	10	100
Apalancamiento	9	9	81
Recursos extraordinarios	8	8	64
Crecimiento	8	10	80
<b>PROCESOS CLAVES</b>	<b>7,33</b>	<b>0,2</b>	<b>1,47</b>
<b>PROCESO ENSEÑANZA- APRENDIZAJE, INV</b>	<b>7,8</b>		
Diseño	6	5	30
Costos	8	10	80
Tecnología	10	9	90
Secuencia	7	7	49
<b>CAPACIDAD</b>	<b>7,67</b>		
Pronóstico de Demanda	9	10	90
Programación	8	8	64
Estrategia para demanda no uniforme	6	5	30
<b>INVENTARIOS</b>	<b>6</b>		
Sistema de control confiable	6	7	42
<b>FUERZA DE TRABAJO</b>	<b>7,2</b>		
Estudios de tiempos y movimientos	7	6	42
Diseño de trabajo	7	5	35
Empleados de administración	7	7	49
Estándares claros, razonables y efectivos	10	9	90
Sanciones y recompensas de productividad	9	8	72
Políticas de trabajo	10	8	80
Ausentismo de personal	5	5	25
Rotación de personal	8	8	64
Liderazgo administración	9	10	90
<b>CALIDAD</b>	<b>8</b>		
Filosofía de calidad	7	8	56
Sistema de control de calidad	8	9	72
Determinación costos de calidad	9	7	63
<b>SISTEMAS DE INFORMACIÓN</b>	<b>7,4</b>	<b>0,2</b>	<b>1,48</b>
Uso de SI en la toma de decisiones	8	9	72
Departamento de SI	10	7	70
Actualización de datos	6	8	48
Contribución del departamento del SI	7	6	42
Seguridad en el SI	9	9	81
Conocimiento del SI de la competencia	5	7	35
El SI es amigable	8	6	48
Conocimiento de las ventajas competitivas del SI	8	8	64
Capacitación en SI	7	5	35
Mejoramiento continuo del SI	6	4	24
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>7,42</b>	

## Ambiente Externo.

Para el desarrollo de la matriz, se consideraron los siguientes factores externos. Los cuales se evaluaron (E) del 0 (Nula capacidad) al 10 (Capacidad Total), de acuerdo a la capacidad que tiene la empresa para hacer frente a los cambios y tendencias de esos factores.

Tabla 4. Matriz PEEA

<i>Factor</i>	<i>Evaluación (E)</i>	<i>Importancia (W)</i>	<i>(E)x(W)</i>	<i>Total</i>	<i>Semáforo</i>	<i>Capacidad de respuesta</i>
<b>ECONÓMICO</b>	<b>8,71</b>	<b>0,2</b>	<b>1,74</b>	<b>8,21</b>	<b>7 a 10</b>	<b>Alta</b>
Inflación	8	9	72		<b>3 a 7</b>	<b>Media</b>
Consumo	10	10	100		<b>1 a 3</b>	<b>Baja</b>
Empleo	9	9	81			
Inversión	10	10	100			
Política fiscal	8	10	80			
Política Monetaria	9	10	90			
Apoyos económicos	7	9	63			
<b>POLÍTICO /LEGAL</b>	<b>8,57</b>	<b>0,1</b>	<b>0,86</b>			
Poder político	7	9	63			
Ideologías diferentes	8	6	48			
Grupos de interés	9	10	90			
Estabilidad social	10	10	100			
Legislación	9	8	72			
Regulaciones	9	10	90			
Apoyo gubernamental	8	10	80			
<b>SOCIOCULTURAL</b>	<b>8,33</b>	<b>0,1</b>	<b>0,83</b>			
Cambios en preferencias y gustos	10	10	100			
Preocupaciones ambientales	8	10	80			
Movilidad	7	8	56			
Educación	6	7	42			
Valores familiares	9	8	72			
Actitud ante el trabajo y los negocios	10	10	100			
<b>TECNOLÓGICO</b>	<b>7,80</b>	<b>0,1</b>	<b>0,78</b>			
Velocidad de los cambios tecnológicos	7	10	70			
Disponibilidad futura de tecnologías	8	10	80			
Costos de la tecnología	9	10	90			
Desarrollo tecnológico	7	9	63			
Ciclo de vida de los productos y/o servicios	8	10	80			

Continuación Tabla 4. Matriz PEEA.

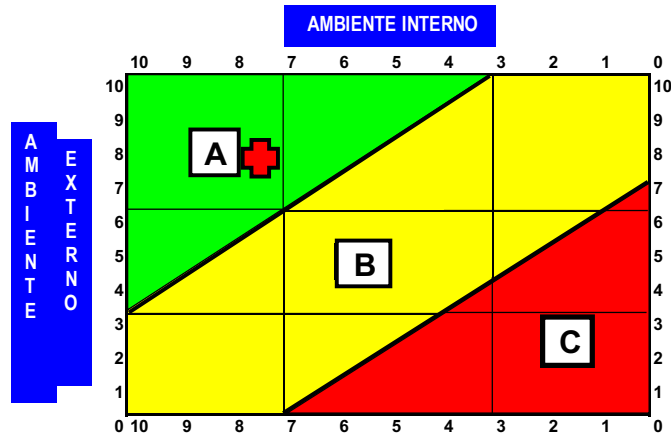
<b>COMPETENCIA/ GLOBAL</b>	7,50	0,4	3,00
Entrada y salida de competidores	7	10	70
Principales estrategias de competidores	8	10	80
Tamaño de los competidores	8	8	64
Mercados emergentes	9	10	90
Capacidad de los competidores	6	10	60
Localización de los competidores	7	9	63
Métodos de los competidores	6	9	54
Competidores internacionales	9	10	90
<b>DEMOGRÁFICO</b>	<b>10,00</b>	<b>0,1</b>	<b>1</b>
Estructura de edades de la población	10	10	100
Tamaño de la población	10	10	100
Distribución geográfica de la población	10	10	100
<b>TOTAL</b>		<b>1</b>	<b>8,21</b>

**POSICION COMPETITIVA**

AMBIENTE EXTERNO	<b>8,21</b>
------------------	-------------

AMBIENTE INTERNO	<b>7,42</b>
------------------	-------------

<b>A</b>	CRECER
<b>B</b>	MANTENERSE O MEJORAR
<b>C</b>	FORTALECERSE O DESINVERTIR



Como conclusión de la evaluación, según el modelo, el resultado obtenido determina que la compañía se encuentra con tendencia «agresiva», esta es una excelente posición, ya que se da la oportunidad de utilizar las «fortalezas internas» identificadas de la misma con el objetivo de aprovechar las «oportunidades externas»; vencer las «debilidades internas» y esquivar las «amenazas externas». Las estrategias influyen principalmente en los siguientes puntos: la penetración en el mercado, el desarrollo del mercado, el desarrollo de productos,

la integración hacia delante, la integración hacia atrás, la integración horizontal o una combinación de ellas puede ser factible, teniendo en cuenta las circunstancias específicas que afronte la empresa.

### **Modelo de Competitividad Empresarial aplicado a la empresa X en la ciudad de Pereira.**

El modelo de competitividad empresarial (M. Jiménez Ramírez, 2006) concibe la competitividad en función de la capacidad de gestión de la gerencia en todos los aspectos del negocio. En el modelo se definen los siguientes factores que determinan la competitividad: gestión comercial (GC), gestión financiera (GF), gestión de producción (GP), ciencia y tecnología (CT) e internacionalización (I) y gestión gerencial (GG). Todos los factores son necesarios en el momento de establecer el nivel de competitividad, considerándose con un peso más preponderante en el modelo, el factor de gestión gerencial (GG).

El modelo de competitividad empresarial propuesto por Jiménez (2006), se define por:

$$\text{Competitividad} = G.G. (G.C.+G.F.+G.P.+C.T.+I) (1)$$

Dónde: G.G. es Gestión Gerencial, G.C. la Gestión Comercial, G.F. indica Gestión Financiera, G.P. la Gestión de Producción, C.T. hace referencia a Ciencia y Tecnología e I. a la Internacionalización.

Los factores incluidos en el paréntesis, se califican con un puntaje máximo, que para cada caso es: G.C equivale a 30 puntos, G.F a 20 puntos, G.P a 20 puntos, C.T corresponde a 10 puntos, finalmente la variable I a 20 puntos. De esta forma el puntaje Crecimiento económico y desarrollo sustentable máximo obtenido será de 100 puntos. Así mismo el factor G.G. corresponde a un valor entre 0 y 1. En el cual se destaca la capacidad de tomar decisiones de los gerentes.

En el modelo se analizan tres tipos de decisores gerenciales (d1, d2, y d3) así: el decidor 1, presenta una actitud cuidadosa y conservadora; es un decidor con aversión al riesgo. El decidor 2, corresponde a un decidor con preferencia al riesgo y el decidor 3, tiene una política de indiferencia hacia el riesgo. De conformidad con Gutierrez Ossa, Vega Zuluaga, Concha, & Osorio Alvarez (2019), este modelo plantea que las empresas son el reflejo de sus gerentes, el estilo gerencial y las decisiones gerenciales son la causa directa de los resultados y el posicionamiento de las organizaciones.

La tabla de puntajes para clasificar las empresas en una escala de competitividad es la siguiente:

Tabla 5. Puntajes modelo de competitividad

<i>Puntaje</i>	<i>Clasificación</i>
90 – 100 puntos	Muy competitiva
80 – 89 puntos	Competitiva
70 – 79 puntos	Baja competitividad
0 – 69 puntos	No competitiva

Fuente: Modelo de competitividad empresarial (Jiménez, 2006c)

Para esta segunda etapa, se definieron los criterios para calificar las diferentes gestiones planteadas en el modelo, así:

Tabla 6. Criterios de evaluación del modelo de competitividad por factor

<b>GESTIÓN O FACTOR</b>	<b>CRITERIO</b>
Gestión gerencial	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Nivel educativo del gerente</li> <li>. Experiencia como gerente</li> <li>. Antigüedad en la empresa</li> <li>. Manejo de idiomas</li> <li>. Tipo de decisor</li> <li>. Logros o reconocimientos por su labor</li> </ul>
Gestión Comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Años de experiencia en el mercado</li> <li>. Canales de distribución</li> <li>. Estratos a los que están dirigidos los productos y servicios</li> <li>- Publicidad</li> <li>. Ingresos por <i>e-commerce</i></li> <li>. Tiempo de entrega de los productos no disponibles</li> </ul>
Gestión Financiera	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rentabilidad.</li> <li>. Patrimonio</li> <li>. Capacidad de endeudamiento</li> <li>. Liquidez</li> <li>. Fuentes de financiación</li> <li>. Retorno a la inversión</li> </ul>

Continuación Tabla 6. Criterios de evaluación del modelo de competitividad por factor.

Gestión de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Capacidad para atender clientes</li> <li>. Antigüedad de los equipos</li> <li>. Nivel educativo de los colaboradores</li> <li>. Proveedores</li> <li>. Capacitación en producción</li> <li>. Experiencia productiva</li> </ul>
Ciencia y Tecnología	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Investigación y desarrollo</li> <li>. Patentes</li> <li>. Actualización de software</li> <li>. Tipos de software implementados</li> <li>. Tecnologías implementadas para el funcionamiento</li> <li>. Inversión en nuevos equipos</li> </ul>
Internacionalización	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Exportaciones</li> <li>. Sedes en otros países</li> <li>. Clientes internacionales</li> <li>. Valor de las importaciones realizadas</li> <li>. Ruedas o ferias internacionales</li> <li>. Procesos de internacionalización</li> </ul>

Fuente: Modelo de competitividad empresarial (Jiménez, 2006c)

Luego de calificar cada empresa con base en los criterios, se obtuvieron los subtotales de cada una de las gestiones y se determinó el nivel de competitividad empresarial para las compañías X, Y y Z.

### **Empresa X**

Es una compañía especializada en la elaboración y comercialización de cerámica, porcelana sanitaria, pegantes, pinturas, y todo tipo de locería para hogar e institucional, esta cuenta con más de 100 años de historia empresarial, además se destaca por ser una empresa líder en sector de la remodelación y un sólido competidor en varios países.

Todas las operaciones internas y externas de la empresa están sustentadas en un código de Ética que recoge los valores de la compañía y busca promover prácticas empresariales transparentes. La empresa está comprometida con el desarrollo sostenible de la sociedad y el planeta desde la perspectiva de la triple cuenta de resultados, es decir, en términos sociales, económicos y ambientales.



Las siguientes tablas muestran los resultados obtenidos por la aplicación del modelo a la compañía

Tabla 7. Aplicación del modelo de competitividad por factor a la empresa X.

EMPRESA X		CALIFICACIÓN PARA LA EMPRESA	TOTAL
FACTOR	CRITERIO		
Gestión gerencial	. Nivel educativo del gerente	0,08	<b>1</b>
	. Experiencia como gerente	0,2	
	. Antigüedad en la empresa	0,2	
	. Manejo de idiomas	0,12	
	. Tipo de decisor	0,2	
	. Logros o reconocimientos por su labor	0,2	
Gestión Comercial	- Años de experiencia en el mercado	5	<b>23</b>
	. Canales de distribución	4	
	. Estratos a los que están dirigidos los productos y servicios	5	
	- Publicidad	5	
	. Ingresos por <i>e-commerce</i>	2	
. Tiempo de entrega de los productos no disponibles	2		
Gestión Financiera	- Rentabilidad.	3,3	<b>18,8</b>
	. Patrimonio	3,3	
	. Capacidad de endeudamiento	3,3	
	. Liquidez	3,3	
	. Fuentes de financiación	3,3	
	. Retorno a la inversión	2,3	
Gestión de producción	. Capacidad para atender clientes	1	<b>14,2</b>
	. Antigüedad de los equipos	2,3	
	. Nivel educativo de los colaboradores	1	
	. Proveedores	3,3	
	. Capacitación en producción	3,3	
	. Experiencia productiva	3,3	
Ciencia y Tecnología	. Investigación y desarrollo	1,66	<b>9,24</b>
	. Patentes	1,66	
	. Actualización de software	1,2	
	. Tipos de software implementados	1,4	
	. Tecnologías implementadas para el funcionamiento	1,66	
	. Inversión en nuevos equipos	1,66	
Internacionalización	. Exportaciones	3,33	<b>19,35</b>
	. Sedes en otros países	3,33	
	. Clientes internacionales	3,33	
	. Valor de las importaciones realizadas	3,33	
	. Ruedas o ferias internacionales	3,33	
	. Procesos de internacionalización	2,7	

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por la organización (2019).

### Aplicación de la fórmula

$$\begin{aligned} \text{Competitividad empresa X} &= G.G. (G.C.+G.F.+G.P.+C.T.+I) \\ &= 1*(23+9.24+19.35+18.8+14.2) = \underline{\underline{84.59}} \end{aligned}$$

De acuerdo al modelo aplicado, la empresa X *es competitiva*.

### Empresa Y

La empresa Y es una organización especializada en la elaboración de revestimiento y comercialización de porcelana sanitaria de alto diseño e incomparable calidad, esta cuenta con más de 30 años de experiencia en el sector de la construcción y en la remodelación con más de 250 almacenes entre aliados estratégicos y puntos de venta propios de la marca a nivel nacional e internacional. La compañía actualmente exporta sus productos a Guatemala, México, Estados Unidos, Ecuador, Perú, Chile y Panamá, a través de alianzas estratégicas que realiza con diferentes almacenes del sector en dichos países; su propósito es extenderse sobre todo en Sudamérica.

A continuación, se exponen en las tablas los resultados obtenidos por la aplicación del modelo.

Tabla 8. Aplicación del modelo de competitividad por factor a la empresa Y.

<i>EMPRESA Y</i>		<i>CALIFICACIÓN PARA LA EMPRESA</i>	<i>TOTAL</i>
<i>FACTOR</i>	<i>CRITERIO</i>		
Gestión gerencial	. Nivel educativo del gerente	0,2	<b>0,84</b>
	. Experiencia como gerente	0,08	
	. Antigüedad en la empresa	0,2	
	. Manejo de idiomas	0,12	
	. Tipo de decisor	0,04	
	. Logros o reconocimientos por su labor	0,2	
Gestión Comercial	- Años de experiencia en el mercado	5	<b>23</b>
	. Canales de distribución	4	
	. Estratos a los que están dirigidos los productos y servicios	5	
	- Publicidad	5	
	. Ingresos por <i>e-commerce</i>	2	
	. Tiempo de entrega de los productos no disponibles	2	
Gestión Financiera	- Rentabilidad.	3,3	<b>17,5</b>
	. Patrimonio	3,3	
	. Capacidad de endeudamiento	3,3	
	. Liquidez	3,3	
	. Fuentes de financiación	3,3	
	. Retorno a la inversión	1	

Continuación Tabla 8. Aplicación del modelo de competitividad por factor a la empresa Y.

Gestión de producción	. Capacidad para atender clientes	1	<b>15,5</b>
	. Antigüedad de los equipos	2,3	
	. Nivel educativo de los colaboradores	2,3	
	. Proveedores	3,3	
	. Capacitación en producción	3,3	
	. Experiencia productiva	3,3	
Ciencia y Tecnología	. Investigación y desarrollo	1,66	<b>8,04</b>
	. Patentes	1,66	
	. Actualización de software	1,66	
	. Tipos de software implementados	1,66	
	. Tecnologías implementadas para el funcionamiento	1,4	
	. Inversión en nuevos equipos	1,2	
Internacionalización	. Exportaciones	3,33	<b>19,98</b>
	. Sedes en otros países	3,33	
	. Clientes internacionales	3,33	
	. Valor de las importaciones realizadas	3,33	
	. Ruedas o ferias internacionales	3,33	
	. Procesos de internacionalización	3,33	

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por la organización (2019).

### Aplicación de la fórmula

$$\begin{aligned} \text{Competitividad empresa Y} &= G.G. (G.C.+G.F.+G.P.+C.T.+I) \\ &= 0.84*(23+8.04+19.9+17.5+15.5) = \underline{\underline{70.51}} \end{aligned}$$

De acuerdo al modelo aplicado, la empresa Y no es competitiva.

### Empresa Z

Z es una compañía especializada en la comercialización de productos de remodelación, aliada estratégico de marcas como, organización Corona, San Lorenzo, entre otros pequeños proveedores. Ofrece un amplio portafolio de productos para la remodelación de hogar, esto le permite atender a diferentes estratos dado que cuenta con una amplia diversidad de productos con precios cómodos para todo tipo de clientes.

En las siguientes tablas se podrá evidenciar y analizar los resultados obtenidos por la aplicación del modelo.

Tabla 9. Aplicación del modelo de competitividad por factor a la empresa Z.

<i>EMPRESA Z</i>		<i>CALIFICACIÓN PARA LA EMPRESA</i>	<i>TOTAL</i>
<i>FACTOR</i>	<i>CRITERIO</i>		
Gestión gerencial	. Nivel educativo del gerente	0,04	<b>0,72</b>
	. Experiencia como gerente	0,08	
	. Antigüedad en la empresa	0,08	
	. Manejo de idiomas	0,12	
	. Tipo de decisor	0,2	
	. Logros o reconocimientos por su labor	0,2	
Gestión Comercial	- Años de experiencia en el mercado	5	<b>18</b>
	. Canales de distribución	3	
	. Estratos a los que están dirigidos los productos y servicios	4	
	- Publicidad	4	
	. Ingresos por <i>e-commerce</i>	0	
	. Tiempo de entrega de los productos no disponibles	2	
Gestión Financiera	- Rentabilidad.	3,3	<b>15,5</b>
	. Patrimonio	2,3	
	. Capacidad de endeudamiento	3,3	
	. Liquidez	3,3	
	. Fuentes de financiación	2,3	
	. Retorno a la inversión	1	
Gestión de producción	. Capacidad para atender clientes	2,5	<b>16,2</b>
	. Antigüedad de los equipos	2,3	
	. Nivel educativo de los colaboradores	1,5	
	. Proveedores	3,3	
	. Capacitación en producción	3,3	
	. Experiencia productiva	3,3	
Ciencia y Tecnología	. Investigación y desarrollo	1,66	<b>4,26</b>
	. Patentes	0	
	. Actualización de software	0	
	. Tipos de software implementados	0	
	. Tecnologías implementadas para el funcionamiento	1,4	
	. Inversión en nuevos equipos	1,2	
Internacionalización	. Exportaciones	0	<b>6,66</b>
	. Sedes en otros países	0	
	. Clientes internacionales	0	
	. Valor de las importaciones realizadas	3,33	
	. Ruedas o ferias internacionales	3,33	
	. Procesos de internacionalización	0	

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por la organización (2019).

### Aplicación de la fórmula

$$\begin{aligned}\text{Competitividad la empresa Z} &= G.G. (G.C.+G.F.+G.P.+C.T.+I) \\ &= 0.72*(18+4.26+6.66+15.5+16.2) = \mathbf{43.64}\end{aligned}$$

De acuerdo al modelo aplicado, la empresa Z es baja en competitividad.

Se destaca que la empresa X con un puntaje de 84.59 es competitiva producto de su experiencia en producción, inversiones altas en equipos (factor «*ciencia y tecnología*»), apuestas en investigación / desarrollo - patentes, además utilizan más de 3 canales de distribución para llegar a todo tipo de clientes, adicional a esto, ejecutan diferentes softwares los cuales hacen de cada actividad un proceso más rápido y satisfactorio para el cliente. En cuanto al factor «*Gerencia*», muestra el mejor puntaje, explicado por su capacidad de decisión y la forma de afrontar el riesgo.

Por otro lado, se encuentra la empresa Y con una calificación de 70.51 siendo no competitiva, debido a que la organización obtiene valoraciones mínimas con respecto a los criterios planteados por el modelo; uno de ellos es en la «*gestión comercial*», ya que el ingreso por ventas *E-commerce* es muy bajo, adicionalmente presentan problemas en los tiempos de entrega. Con respecto al factor «*gestión gerencial*» el criterio de experiencia como gerente en el sector es menor a 3 años y en el criterio tipo de decisor el gerente se percibe como prudente, lo que incide que su toma de decisión frente al riesgo sea muy cauta; lo anterior lo limita a afrontar nuevas oportunidades.

Por último, la empresa Z se halla con la calificación más baja de 43.64 siendo baja en competitividad, éste resultado permite identificar un bajo nivel en el funcionamiento de la compañía, ya que presenta bajas valoraciones, según el modelo, en los factores «*gestión comercial*», «*ciencia y tecnología*», «*Internacionalización*», puesto que no cuenta con herramientas informáticas utilizadas en las otras compañías, no invierten en Investigación y Desarrollo y tienen una cobertura de mercado local.

Tabla 10. Puntajes de aplicación del modelo de competitividad por factor a empresas X, Y y Z.

X	Y	Z
84,59	70,51	43,64
COMPETITIVA	NO COMPETITIVA	BAJA EN COMPETITIVIDAD

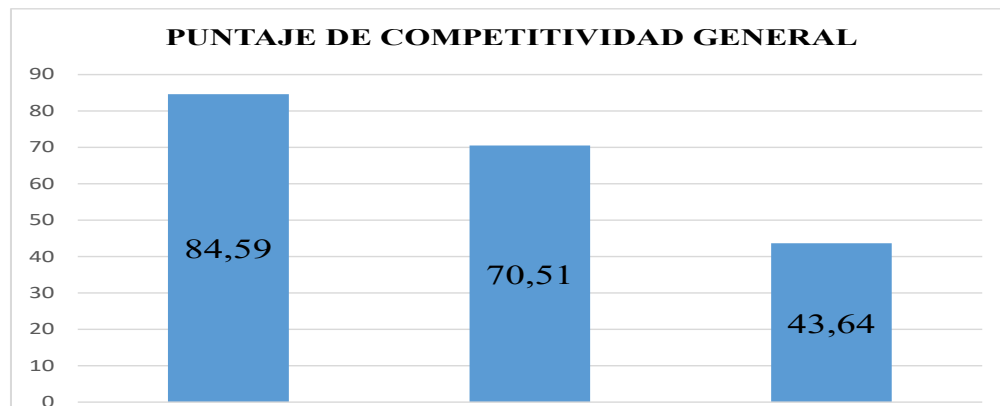


Figura 1. Puntajes de competitividad de todos los factores de las empresas X, Y y Z

## Conclusiones

De acuerdo a la aplicación de los diferentes modelos y su respectivo análisis, se puede concluir que:

El modelo estratégico de Porter «Cinco fuerzas» permitió identificar las características de este sector. Se evidenció que las fuerzas que generan mayor impacto son «Amenaza de productos sustitutos» y «Rivalidad entre competidores»; Así mismo, se pudo establecer que las fuerzas «Poder de negociación de los proveedores», «Poder de negociación de los clientes» y «Amenaza de nuevos competidores entrantes» son las menos influyentes en el sector.

Con respecto a la «Cadena de valor» se pudo identificar los elementos que generan valor en la compañía y permitió definir y redefinir estrategias de la compañía.

En el modelo posicionamiento estratégico - revisión estratégica global - Posición estratégica y evaluación de acciones (PEEA) se determina que la compañía se encuentra con tendencia «agresiva», esta es una excelente posición ya que se da la oportunidad de utilizar las «fortalezas internas» ya identificadas de la misma con el objetivo de aprovechar las «oportunidades externas»; vencer las «debilidades internas» y esquivar las «amenazas externas». Las estrategias influyen principalmente en los siguientes puntos: la penetración en el mercado, el desarrollo del mercado, el desarrollo de productos, la integración hacia delante, la integración hacia atrás, la integración horizontal o una combinación de ellas puede ser factible, teniendo en cuenta las circunstancias específicas que afronte la empresa.

Para finalizar en el modelo de competitividad del autor Manuel Humberto Jiménez luego de la aplicación se obtienen los siguientes resultados; la empresa X con un puntaje de 84.59 siendo una empresa competitiva en diferentes áreas como: «Gestión gerencial» «Gestión comercial» «Ciencia y Tecnología».

Finalmente, la bondad de aplicar 4 propuestas de análisis empresarial permite una aproximación a la realidad del sector y de la empresa desde diferentes visiones que a su vez conceden un enriquecimiento en la formulación de la planeación estratégica.

## Referencias

- ANDI. (2019). *Comité Cerámico - Información General*. Retrieved from <http://www.andi.com.co/Home/Camara/5-comite-ceramico>
- Angarita Nova, I. L. (2012). *Beneficios de la implementación de la tecnología de identificación en los productos de los procesos logísticos: Almacenes Corona S.A. Universidad Pontificia Bolivariana*.
- Arias González, A. R. (2014). *Planteamiento de la estrategia de negocios CRM (Customer Relationship Management) para el canal constructor de Corona. Universidad Libre Seccional Bogotá*.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la Investigación. (P. Educación, Ed.) (3rd ed.)*. Bogotá.
- CAEM. (2019). *¿Hace parte del sector cerámico? Esto le interesa*. Retrieved from <http://www.corporacionambientalempresarial.org.co/contenido/categoria.aspx?catID=105>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2006). *Documento Copes 3439. Institucionalidad y principios rectores de política para la competitividad y productividad. Copes 3439, 1–40*.
- D. Garzón Ortigón. (2016). *Corona y Alfa, líderes en el negocio de baldosas*. Retrieved from <https://www.larepublica.co/empresas/corona-y-alfa-lideres-en-el-negocio-de-baldosas-2347921>
- Dinero, R. (2018). *El salvavidas de Corona para enfrentar la caída del sector de la construcción*. Retrieved from <https://www.dinero.com/empresas/articulo/estrategias-de-corona-para-enfrentar-la-caida-en-la-construccion/261304>
- Gutierrez Ossa, J. A., Vega Zuluaga, J. D., Concha, J. R., & Osorio Alvarez, S. (2019). *Estructura gerencial internacional de las empresas en Colombia en el marco del modelo exportador y de liberación económica. Universidad & Empresa*. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.6466>

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (M. Hill, Ed.) (6th ed.). México.
- Hoyos, G. (2015). *El modelo de las cinco Fuerzas de Porter como instrumento para la adopción de decisiones estratégicas organizacionales: aplicación al sector de la Construcción Naval Militar, 2017–2018*.
- Jiménez Ramírez, M. (2006). Modelo de competitividad empresarial. *UMBral Científico*, (9), 115–125.
- Jiménez Ramírez, M. H. (2006). Modelo de Competitividad Empresarial. *UMBral Científico*, (9), 115–125. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2263196>
- Kotler, P., & Armstrong, G. (2012). *Marketing*. McGraw Hill (14th ed.).
- M. Touzet Figueroa; E. Salinas Córdova. (2014). “plan estratégico 2010 – 2012 colcerámica – compañía colombiana de cerámica s. a.” Universidad del Pacífico. Retrieved from [http://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/1156/Milagros\\_Tesis\\_maestria\\_2014.pdf?sequence=1](http://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/1156/Milagros_Tesis_maestria_2014.pdf?sequence=1)
- Méndez Álvarez, C. E. (2006). *Metodología de la investigación*. (Limusa, Ed.) (4th ed.).
- Parente-Laverde, A. M., Guisao, E. Y. G., Carmona, R. J., & Giraldo, L. H. (2017). Internacionalización del sector de la construcción Colombiano: Caso de la organización corona en Brasil. *Espacios*, 38(39).
- Porter, M. (1991). *La ventaja competitiva de las naciones*. (Vergara, Ed.). Buenos Aires.
- Porter, M. E. (2006). *Estrategia y ventaja competitiva*. (Deusto, Ed.), *Líderes del management*.
- Porter, M. E. (2008). Las cinco fuerzas competitivas de Michael E Porter. *Harvard Business Review*. América Latina, 1–18. Retrieved from [https://utecno.files.wordpress.com/2014/05/las\\_5\\_fuerzas\\_competitivas-michael\\_porter-libre.pdf](https://utecno.files.wordpress.com/2014/05/las_5_fuerzas_competitivas-michael_porter-libre.pdf)
- Revista Dinero. (2001). Remodelación. *Revista Dinero*.
- Roumeliotis, G. (2011). Crecimiento construcción mundial superará al PIB esta década: PWC. Reuters.
- Serna Gómez, H. (2014). *Gerencia Estratégica*. (Panamericana & 3R Editores, Eds.) (11th ed.). Bogotá.



# 11

## ***Las ferias comerciales como modelo de innovación empresarial para las nuevas empresas y emprendedores: Caso La Feria Pereira***

### ***Trade fairs as a model of business innovation for new companies and entrepreneurs: Case La Feria Pereira***

Ana María Barrera Rodríguez<sup>1</sup>, Orlando Rodríguez García<sup>2</sup>, Cristian Camilo Duque Gómez<sup>3</sup>, Marlen Isabel Redondo Ramírez<sup>4</sup>, Leidy Johanna Hernández Ramírez<sup>5</sup>

### ***Resumen***

Las ferias tienen sus inicios en la edad media en la que en pequeños mercados se practicaba el trueque de diferentes productos. En la actualidad, son consideradas como articuladores del comercio con la comunidad. Hoy por hoy, las ferias empresariales constituyen una herramienta empresarial novedosa de promoción y comercialización para

---

<sup>1</sup> Magíster en Administración, MBA. Docente investigadora de la Universidad Libre Seccional Pereira. Correo electrónico: [anam.barrerar@unilibre.edu.co](mailto:anam.barrerar@unilibre.edu.co)

<sup>2</sup> Candidato doctoral en Economía de los Recursos. Docente Universidad Tecnológica del Pereira.

<sup>3</sup> Economista Universidad Libre Seccional Pereira.

<sup>4</sup> Magíster en Administración, MBA. Directora Centro de Investigaciones CEAD Universidad Libre Seccional Pereira. Correo electrónico: [isabel.redondo@unilibre.edu.co](mailto:isabel.redondo@unilibre.edu.co)

<sup>5</sup> Magister en Contaduría. Docente investigadora de la Universidad Libre Seccional Pereira. Correo electrónico. [leidyj.hernandezr@unilibre.edu.co](mailto:leidyj.hernandezr@unilibre.edu.co)

pequeños empresarios o emprendedores que no necesariamente son artesanos y quienes por limitaciones económicas no tienen la posibilidad de invertir en estrategias de mercadeo especializadas. En la ciudad de Pereira desde el año 2014, gracias a una iniciativa privada y con el apoyo del sector público, se ha desarrollado, una o dos veces al año, una feria itinerante llamada la Feria Pereira dirigida a pequeñas empresas y nuevos emprendedores de productos y servicios de moda, diseño, arte y alimentación que se encuentren interesados en publicitar y vender sus productos y por el otro, a la ciudadanía en general del eje cafetero. Aunque la feria se ha realizado de forma periódica no se tiene claridad sobre sus características en cuanto a las estrategias de mercado utilizadas, a los propósitos y beneficios obtenidos por los ofertantes y al tipo de cliente que la visita. La investigación busca responder la pregunta ¿cuáles son las principales características de la feria itinerante, la Feria Pereira? La investigación se posiciona desde un paradigma post positivista, sigue un enfoque mixto. Dentro de los resultados se encontraron que los principales motivos de los ofertantes de participar en la feria radican en que como método de comercialización brindan una oportunidad de dar a conocer negocio, vender productos y de tener un acercamiento directo con los clientes. En cuanto a las características de los ofertantes la gran mayoría no se encuentran constituidos legalmente y que los productos comercializados son de origen regional. De igual forma, se evidencia que tanto los organizadores, los ofertantes y clientes se caracterizan por ser un población joven que buscan nuevas formas de mercados diferentes a las tradicionales como los centros comerciales.

**Palabras clave:** Feria itinerante, emprendedores, estrategias, oferta, demanda.

### ***Abstract***

*The fairs had their beginnings in the Middle Ages when the barter of different products was practiced in small markets. At present, they are considered as articulators of trade with the community. Today, business fairs are an innovative business tool for promotion and marketing for small entrepreneurs or entrepreneurs who are not necessarily artisans and who, due to economic limitations, do not have the possibility to invest in specialized marketing strategies. In the city of Pereira since 2014, thanks to a private initiative and with the support of the public sector, a traveling fair called the Pereira Fair has been developed, once or twice a year, aimed at small companies and new product entrepreneurs and fashion, design, art and food services that are interested in advertising and selling their products and, on the other hand, to the general public of the coffee axis. Although the fair has been held periodically, there is no clarity about its characteristics in terms of the market strategies used, the purposes and benefits obtained by the bidders, and*

*the type of client that visits it. The research seeks to answer the question: what are the main characteristics of the traveling fair, the Pereira Fair? The study is positioned from a post-positivist paradigm; it follows a mixed approach. Among the results, it was found that the main reasons for the bidders to participate in the fair are that as a marketing method, they provide an opportunity to publicize business, sell products, and to have a direct approach with customers. As for the characteristics of the bidders, the vast majority are not legally constituted and that the products marketed are of regional origin. In the same way, it is evident that both the organizers, the providers, and clients are characterized by being a young population who are looking for new forms of markets different from the traditional ones, such as shopping centers.*

**Keywords:** *Traveling fair, entrepreneurs, strategies, supply, demand.*

## ***Introducción***

Las ferias comerciales corresponden a una táctica de mercadeo que facilita el cumplimiento de estrategias, como posicionamiento de marca, promoción de ventas y relaciones públicas. Además, permite a los empresarios tener un contacto directo con su público objetivo para recibir una retroalimentación sobre la oferta.

Tienen sus inicios en la civilización fenicia (1200 a. C.-539 a. C) en la que en pequeños mercados se practicaba el trueque de diferentes productos, en su mayoría agrícolas. Puchalt Sanchís & Munuera Alemán (2008) afirman que las ferias se originan en la “Edad Media, para favorecer el desarrollo del comercio entre unos territorios separados geográfica, cultural y políticamente” (p. 7). De acuerdo con Rodríguez Oromendía, Muñoz Martínez, & González Crespo “en sus inicios las ferias se asocian principalmente con el Antiguo Egipto, la Civilización Griega y el Imperio Romano, cuando los comerciantes ambulantes se reunían con los productores locales en bazares y mercados” (2013, p. 451).

Su evolución se da gracias a los desarrollos en las formas de pago y a los avances tecnológicos de la época (Jiménez, Cazorla, & Linares, 2002). Navarro (2001) comenta que las celebraciones de las ferias frecuentemente coincidían con las fiestas patronales y las festividades religiosas de la época, las cuales fueron extendidas rápidamente por todo el continente Europeo. Posteriormente, en la Revolución Industrial y debido a las necesidades de los clientes y empresarios y a la situación económica, social y tecnológica del mundo, las ferias pasan “de ser lugares donde se producen intercambios comerciales a ser medios para la promoción de los avances tecnológicos de un país y medios para promover la actividad

comercial en el extranjero” (Rodríguez Oromendía et al., 2013, p. 453) y se constituyen “en el mercado empresarial como una de las formas de promoción más rentables, al ser uno de los instrumentos del marketing que mejor se ha adaptado a la pequeña y mediana empresa” (Gázquez Abad & Jiménez Guerreño, 2002, p. 76). Es posible afirmar que hoy en día las ferias son “fenómeno comercial complejo, rico y eficaz para el desarrollo de los mercados” (Molina Castillo & Cuestas Díaz, 2008, p. 141).

Esman (1982) considera que las ferias ayudan a identificar y conservar “el reflejo y reforzamiento del orden social y los valores importantes de las comunidades” (p. 199). De igual forma, se consideran que “son recursos patrimoniales únicos y generalmente están vinculados a un interior rural a su alrededor, aunque también pueden ser de interés para los turistas o visitantes” (P. G. Munjal, 2015, p. 351) y son identificadas por la Unesco como dominios culturales (UIS, 2009).

De acuerdo con Jiménez et al. (2002), las ferias posibilitan a los empresarios la exposición de sus productos y servicios y además, tienen la característica de permitir la realización de encuentros iniciales que luego pueden transformarse en ventas (Godar & O’Connor, 2001). Según Busso, las ferias “articulan el espacio comercial y el de sociabilidad” (2011, p. 108) y afirma que “no son sólo espacios de aprovisionamiento e intercambios locales o regionales, sino también expresión visible y transparente de las relaciones sociales” (2011, p. 109). Según Lampel (2011) permiten evaluar las organizaciones en dos contextos: en primer lugar el capital de mercado, donde el comerciante conoce cuál es el costo promedio de sus productos y/o servicios, y en segundo lugar el capital social, donde el ofertante puede verificar el posicionamiento de su empresa frente a la industria.

De igual forma, las ferias contribuyen tanto a la economía de la región impulsando su desarrollo como a la sociedad fortaleciendo la cultura, valores, tradiciones y a la promoción del turismo (Babu & Munjal, 2015; Çalışkan, 2019; Esman, 1982; Jauhari & Munjal, 2010; Kifleyesus, 2007; Sharma & Sharma, 2015) y a influir en la generación de identidad del lugar fortaleciendo el sentido de pertenencia de las personas involucradas (Jaeger & Mykletun, 2013). Lo anterior se logra al generar “más vínculos sociales y el fortalecimiento de los lazos entre las personas. Estos festivales también pueden ayudar a reforzar las raíces y valores culturales y permitir a las comunidades preservar sus tradiciones también” (S. Munjal & Jauhari, 2015, p. 417) pues como lo indica Garat “tienen un carácter excepcional y una fuerza particular para atraer muchas personas” (Garat, 2005, p. 265).

Es así como las ferias son consideradas por los pequeños empresarios o emprendedores como una herramienta muy valiosa debido a que “muchas pequeñas y medianas empresas no invierten nada o muy poco en publicidad, promoción, investigación de mercados, desarrollo de nuevos productos u otras actividades de marketing, pero la mayoría participa en las ferias” (Sanchís, 2008, p. 30).

De acuerdo con Busso (2011), la caracterización de comerciantes y clientes en las ferias comerciales se realiza a partir de dos aspectos: sociodemográfico y comercial. En primer lugar, el aspecto comercial incluye tipo de productos, origen de los productos, relación laboral, volumen y valores comercializados. Aquí se define, si la feria es vertical u horizontal. La feria vertical consiste en la oferta de productos que pertenecen a un mismo subsector económico. La feria horizontal cubre diferentes subsectores económicos y tipos de productos. En segundo lugar, el aspecto sociodemográfico señala clases sociales intervinientes, descripción según el género, edad, nivel educativo, procedencia y motivaciones. Este aspecto identifica las cualidades del público objetivo y del origen de los productores.

De acuerdo con Crompton y McKay (1997) las principales motivaciones que tienen los visitantes o clientes para asistir a una feria son la exploración cultural, la novedad (deseo de experimentar algo nuevo) y regresión (deseo experimentar un comportamiento que recuerda a la niñez), recuperación del equilibrio (búsqueda de descanso, relajación y/o escape), socialización con amigos o grupos conocidos, interacción externa con personas y grupos desconocidos y la unión familiar.

Las ferias comerciales según Molina Castillo & Cuestas Díaz (2008) se encuentran vigentes e indican que más del 95% de los gerentes de mercadeo resaltan los beneficios de las ferias para cumplir el plan estratégico de mercadeo y que en compañía de estrategias innovadoras como el la aplicación del marketing digital generadas por la “revolución del internet y su uso extensivo en la población” (Barrera-Rodríguez & Rodríguez, 2018) les permiten estar cada vez más presentes en el mercado.

## ***Metodología***

La investigación se posiciona desde un paradigma post positivista que según Mendoza (2018) “este paradigma afirma que la concepción de la realidad se construye desde una postura reflexiva como una aproximación imperfectamente aprehensible” (p. 33), sigue un enfoque mixto (Creswell, 2014) que es “la integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio con el fin de obtener una “fotografía” más

completa del fenómeno” (Hernández Sampieri, Fernández, & Babtista, 2010, p. 546) y un tipo de investigación descriptivo, basado en señalar “las características fundamentales del objeto de estudio y su descripción detallada de las partes, categorías o clases de ese objeto” (Bernal, 2010, p. 113) como los “aspectos sociodemográficos, económicos, motivaciones de los consumidores mediante la aplicación de encuestas y su posterior análisis estadístico” (Barrera-Rodríguez, Redondo-Ramírez, & Hernández-Ramírez, 2020, p. 136).

En ese orden de ideas, en primer lugar, se describen las estrategias y tácticas diseñadas por los coordinadores de la feria comercial; en segundo lugar, se identifican las características de los ofertantes y, en tercer lugar, se identifican las características de los clientes. La población objetivo está constituida por tres grupos:

- Ofertantes: 150 empresas que ofrecen los productos y/o servicios en la feria.
- Clientes: clientes que visitan la Feria Pereira.
- Organizadores: Creadores de la feria y encargados de la logística.

El proceso de recolección de información se realizó mediante la aplicación de dos entrevistas en profundidad definidas como “una conversación que, una vez lograda la confianza entre el entrevistador y el entrevistado, permite que fluya la información que no podría obtenerse mediante un cuestionario tradicional” (Benassini, 2009, p. 68) a los organizadores y de dos encuestas cara a cara (Mooi & Sarstedt, 2014) a los ofertantes y clientes de la feria. El tipo de muestreo utilizado en los dos casos fue el no probabilístico a conveniencia, en el que investigador elige los elementos que se encuentren en el lugar y momento (Malhotra, 2008; Proctor, 2005).

Para calcular los tamaños de las muestras de los ofertantes y de clientes se realizó el siguiente proceso:

**Ofertantes:**

- Tamaño de la muestra para una población de 150 ofertantes
- Supuesto 1: Z: nivel confianza del 90%,
- Supuesto 2: p: escenario conservador, por lo tanto  $p=0.50$
- Supuesto 3: El margen de error de un  $\pm 7\%$
- $N=72$

**Clientes:**

- Tamaño de la muestra para una población no conocida
- Supuesto 1: Z: nivel confianza del 90%,
- Supuesto 2: p: escenario conservador, por lo tanto  $p=0.50$

- Supuesto 3: El margen de error de un +/- 7%
- N=196

## Resultados

La caracterización de los ofertantes y clientes de la feria se realizó a partir del aspecto sociodemográfico y el comercial. La descripción de los dos aspectos anteriores permite conocer productos los ofrecidos, los clientes que asisten a la feria y las estrategias utilizadas por parte de los ofertantes para de esta manera identificar el tipo de personalidad que posee la feria (Busso, 2011). En la investigación, en total aplicaron 72 encuestas a ofertantes, 196 a clientes y dos entrevistas en profundidad. A continuación, se presentan los principales resultados.

### Caracterización Ofertantes

En la caracterización sociodemográfica de los ofertantes se encontró que 7 de cada 10 ofertantes eran mujeres. En cuanto a la edad, el 58% de los ofertantes se encuentran en el rango entre los 18 y 30 años, el 22% entre 31 y 40 años, el 14% entre los 41 y 50 años y el 6% tienen más de 51 años. Se evidencia que la gran mayoría de ofertantes son jóvenes.

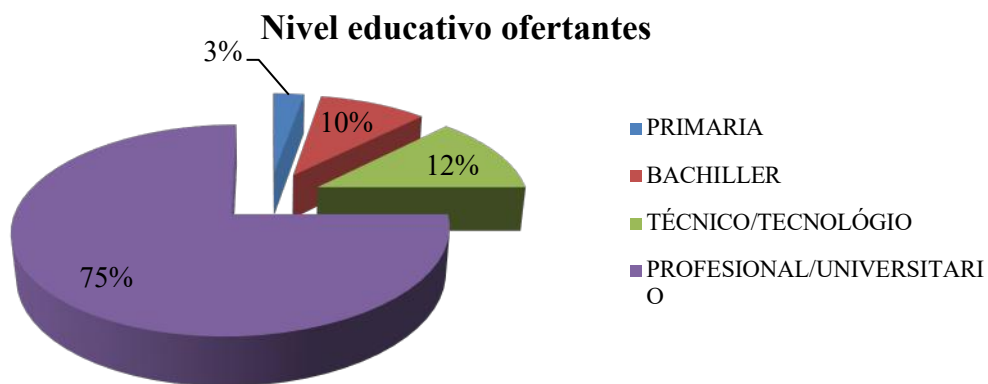


Figura 1. Nivel educativo ofertantes

Fuente: Trabajo de campo

El nivel educativo de los ofertantes en su gran mayoría es profesional universitario con un 75%. De acuerdo con el tipo de formación, 4 de cada 10 ofertantes posee un título

profesional en las áreas administrativas, económicas y contables, 1 de cada 10 en ingeniería y derecho y 2 de cada 10 no cuenta con un título profesional.

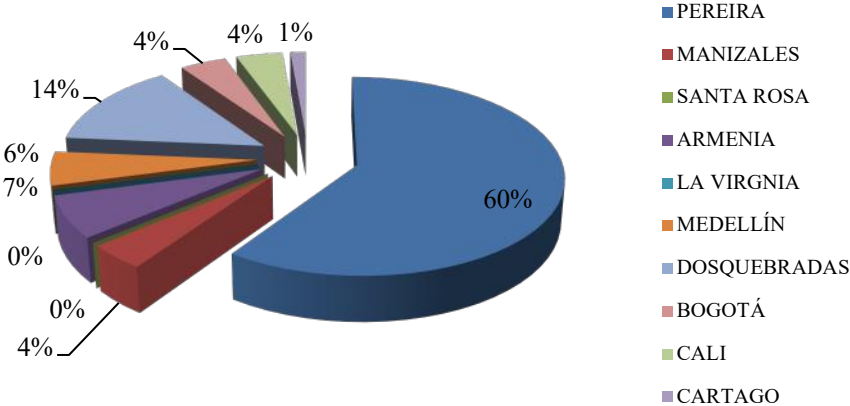


Figura 2. Lugar de residencia ofertantes  
Fuente: Trabajo de campo

El 60% de los ofertantes residen en la ciudad de Pereira, el 14% en Dosquebradas y el 15% provienen de ciudades como Bogotá, Medellín y Cali. En cuanto al lugar de funcionamiento 4 de cada 10 ofertantes funcionan en un local comercial, 3 de cada 10 funcionan en casa y 2 de cada 10 funciona a través de internet, por medio de las redes sociales o tiendas virtuales.

La caracterización comercial arrojó que el 30% de los ofertantes venden comidas y bebidas, el 24% joyería y accesorios y el 18% ropa y el calzado. Estos tres ítems son los de mayor representación, abarcando el 72% del mercado total. En cuanto al origen de los productos ofertados, se encontró que el 4 de cada 10 ofertantes vende productos de origen local, el 3 de cada 10 de origen nacional y el 2 de cada 10 de origen extranjero. De acuerdo con el tipo de organización se encontró que 8 de cada 10 ofertantes no están constituidos legalmente, en el que el 43% de las empresas ofertantes se encuentran en el primer año de funcionamiento, el 19% tiene 2 años de antigüedad y el 37% lleva 3 años o más de funcionamiento. Se encontró que en 7 de cada 10 ofertantes el principal interés para participar en la feria es dar a conocer a la empresa, mientras que en 3 de cada 10 ofertantes es vender productos.



## Resultados Encuestas Clientes

Para la realización de la caracterización de los clientes en total se realizaron 196 encuestas y se encontró que 6 de cada 10 clientes eran mujeres, que el 45% de los clientes se encuentra entre los 18 y 30 años, el 25% entre los 31 y 40 años, el 14% entre los 41 y 50 años y por último, el 16% tiene más de 51 años.

El 47% de los clientes de la feria tienen como objetivo principal la compra de los productos y /o servicio ofrecidos en la Feria, el 37% asistente con el deseo conocer la oferta comercial, convirtiéndose en clientes potenciales o futuros y el 15% que llegan a la feria buscando una forma de descanso y/o recreación.

Se evidencia que 6 de cada 10 de los clientes supo de la realización de la feria mediante la voz a voz y 4 de cada 10 a través de las redes sociales. Los medios tradicionales como el periódico y la radio fueron muy poco seleccionados por los clientes.

El 67% de los clientes encuestados realizaron compras entre los \$50.000 y \$100.000. En segundo lugar, con el 31% se encuentran los clientes realizaron compras por menos de \$50.000, el 13% de clientes realizó compras entre los \$100.000 y \$150.000, y finalmente sólo el 4% de visitantes que realizaron compras por más de \$150.000.

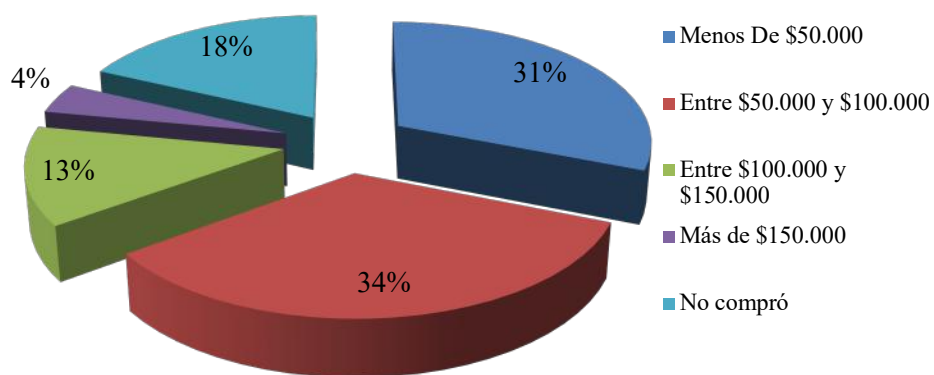


Figura 3. ¿Cuál es el valor de su compra el día de hoy?

Fuente. Trabajo de campo

El 18% los clientes no realizaron ningún tipo de compra, los cuales solo fueron como espectadores de la Feria.

En cuanto al tipo de producto adquirido se encontró que 3 de cada 10 de clientes encuestados realizaron compras en productos de comida y bebidas, 2 de cada 10 en ropa y calzado y accesorios y bisutería, cada uno, 1 de cada 10 en belleza y bienestar. En los últimos lugares, se encuentran los productos para bebés y productos para mascotas.

El 42% de los clientes han asistido 2 veces a la feria, el 22% ha participado 3 veces de esta, y el 19% asiste por primera vez. En último lugar encontramos con un 11% clientes con asistencia de 4 veces y un 6% para más de 4 veces

### **Resultados Entrevista en Profundidad**

Las entrevistas en profundidad se realizaron a las dos personas organizadoras de la feria. A continuación, los aspectos más importantes obtenidos.

La feria nace de la búsqueda de suplir la necesidad detectada por los organizadores de encontrar un espacio de comercio relacionados con la moda, arte y cultura diferente a los centros comercial y en propender que empresarios y emprendedores muestren sus productos y servicios, dejando de lado a las tradicionales artesanías.

“... veíamos que en Pereira no había un espacio donde se reuniera diseño, moda, arte, cultura, gastronomía, pero cosas bonitas que fueran realidad, o sea, porque artesanías hay, pero es un mercado diferente y es algo diferente y eso ha existido toda la vida. Pero un tema ya de la feria, más de moda, un poco más enfocado al diseño es diferente. Entonces dijimos hay que hacerla” (Entrevistada 1)

Se evidencia que para escoger los ofertantes de la feria se tiene un enfoque en la búsqueda de productos o servicios que tengan una buena imagen y alta calidad. En los criterios de selección de los ofertantes se tiene el diseño, la presentación, el empaque, la etiqueta, los colores, entre otros de los productos.

“Somos muy selectivos con las personas que ingresan a la Feria, porque la idea es que las personas encuentren cosas bonitas, y encuentren cosas que no va a encontrar en otro lado” (Entrevistada 1)

En la feria se utilizan canales directos de distribución, enfocándose en propiciar un contacto personal de los oferentes con los clientes y tiene como objetivo ser una vitrina de exposición de productos y servicios.

“No, mira que la feria es todo. La feria es eso. La feria es mercadeo, la feria se hace para que la gente venga, muestre sus productos, hay gente que nos pregunta ¿yo puedo ir a ofrecer un servicio, es que yo no voy a vender nada? Claro, es que la feria es pa` que te vean, es que una feria se trata, si tu vendes pues muy rico porque vendiste y esto, ¿cierto? Pero la idea es que la gente te vea, vea que estás ahí, vea que es una vitrina” (Entrevistada 2)

La comunicación con los ofertantes y clientes y la generación de recordación de la feria, se realiza permanentemente mediante la utilización tanto de estrategias de mercadeo tradicionales y como de las nuevas tendencias.

“Ehh. Tenemos redes sociales, tenemos periódicos, vallas” (Entrevistada 1)

## ***Discusión y conclusiones***

El crecimiento acelerado de la feria, ha sido consecuencia del conjunto de estrategias manejadas, tales como: el uso de las redes sociales, las relaciones públicas con los diferentes gremios, el valor agregado de los productos o servicios ofrecidos y los lugares seleccionados para la realización de la feria, que han generado una percepción de calidad y distinción.

La evidencia que tanto la organizadoras, los ofertantes y clientes sean principalmente un población joven; contrasta directamente con las tendencias empresariales de las generaciones mileniales y centeniales, caracterizados por una constante de emprendimiento y creación de empresa.

Se percibe que aunque las ferias como método de comercialización, fueron originadas en la edad media; aun tienen validez en la actualidad, ya que permiten un acercamiento directo con los clientes y una oportunidad de negocio importante para los ofertantes, con la diferencia que se hacen de una forma más especializada y moderna.

Si bien es cierto, las estadísticas mundiales indican que hay mayor emprendimiento en la población masculina que femenina; en los últimos años se ha visto un crecimiento sustantivo de la creación de empresas por parte del sexo femenino, esto a causa del empoderamiento que se está enseñando a la mujer actual.

Las redes sociales se catalogaron como el medio de comunicación con mayor alcance de población para la difusión de la feria; lo que a su vez, tiene concordancia con la era digital y la forma de comunicación de las nuevas generaciones: mileniales y centeniales.

Las cifras de periodicidad en la asistencia, demuestran que tanto los clientes como los ofertantes de la Feria, presentan un nivel de satisfacción alto, ya que su primera participación les motivó a continuar haciendo parte de este evento.

La feria estudiada en la investigación sigue un tipo de comercialización horizontal en la que de acuerdo con Busso (2011) se ofrecen productos y servicios de diferentes subsectores económicos.

Se pudo comprobar que una de las motivaciones más importantes que tienen los clientes para asistir a la feria es buscar una forma de descanso y/o recreación, lo que valida los resultados de la investigación de Crompton y McKay (1997).

## ***Agradecimientos***

A los auxiliares de investigación, estudiantes del programa de Administración de Empresas de la Universidad Libre Seccional Pereira, Janeth López Cuervo, Sebastián Maturana Llano y Daniela Ramírez Matías.

## ***Referencias***

- Babu, V., & Munjal, S. (2015). *Oachira panthrandu vilakku: A study of a culturally embedded festival aligned with economic benefits. Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 7(4), 403–416. <https://doi.org/10.1108/WHATT-03-2015-0009>
- Barrera-Rodríguez, A. M., Redondo-Ramírez, I., & Hernández-Ramírez, L. J. (2020). *El consumidor de bebidas alcohólicas: Caso de estudio población de estrato 2 del Área Metropolitana Centro Occidente. In Universidad Tecnológica de Pereira (Ed.), La investigación un proceso de alianzas para el desarrollo regional (pp. 120–136). Pereira.*
- Barrera-Rodríguez, A. M., & Rodríguez, O. (2018). *Uso del mercadeo digital en el sector de hotelería en Risaralda. In U. Libre (Ed.), La investigación como herramienta para el emprendimiento y desarrollo de la región (pp. 49–68). Pereira: Universidad Libre.*
- Busso, M. (2011). *Las ferias comerciales también un espacio de trabajo y socialización. Aportes para su estudio The market places also a work and socialization*

- space. *Contributions for its study. Trabajo y Sociedad*, XV(16), 105–123.
- Çalışkan, P. V. (2019). *Gradually Disappearing Organizations Among Modern Fairs and Festivals : Traditional County and Village Fairs. Milli Folklor*, 2019(121), 65–80.
- Crompton, J. L., & McKay, S. L. (1997). *Motives of visitors attending festival events. Annals of Tourism Research*, 24(2), 425–439. [https://doi.org/10.1016/s0160-7383\(97\)80010-2](https://doi.org/10.1016/s0160-7383(97)80010-2)
- Esman, M. R. (1982). *Festivals, Change, and Unity: The Celebration of Ethnic Identity among Louisiana Cajuns. Anthropological Quarterly*, 55(4), 199. <https://doi.org/10.2307/3317149>
- Garat, I. (2005). *La fête et le festival, éléments de promotion des espaces et représentation d'une société idéale. Annales de Géographie*, 114(643), 265–284. <https://doi.org/10.3917/ag.643.0265>
- Gázquez Abad, C., & Jiménez Guerreo, F. (2002). *Las ferias comerciales en la estrategia de marketing. Distribución y Consumo*, 76–83.
- Godar, S. H., & O'Connor, P. J. (2001). *Same Time Next Year - Buyer Trade Show Motives. Industrial Marketing Management*, 30(1), 77–86. [https://doi.org/10.1016/S0019-8501\(99\)00100-5](https://doi.org/10.1016/S0019-8501(99)00100-5)
- Jaeger, K., & Mykletun, R. J. (2013). *Festivals, Identities and belonging. Event Management*, 17(3), 213–226. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3727/152599513X13708863377791>
- Jauhari, V., & Munjal, S. (2010). *Fairs and festivals in India: the cultural and economic potential. Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 7(4), 324–330. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/WHATT-03-2015-0012> Downloaded
- Jiménez, J., Cazorla, I., & Linares, E. (2002). *Ferias comerciales en España: Un análisis sectorial. Distribución y Consumo*, 12(61), 61–74.
- Kifleyesus, A. (2007). *Folk-fairs and festivals: Cultural conservation and national identity formation in Eritrea. Cahiers d'Etudes Africaines*, 47(2), 249–276. <https://doi.org/10.4000/etudesafricaines.7023>
- Lampel, J. (2011). *Afterword: Converting values into other values: Fairs and festivals as resource valuation and trading events. Negotiating Values in the Creative Industries: Fairs, Festivals and Competitive Events*, 334–347. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511790393.015>
- Malhotra, N. K. (2008). *Investigación de Mercados (Quinta Edi; P. Educación, Ed.)*. México, DF.
- Molina Castillo, J. F., & Cuestas Díaz, P. J. (2008). *Las Ferias Comerciales Y El Marketing Electrónico: Un Análisis Comparativo. CE, Infomación Comercial Española: Revista de Economía*, (840), 141–154. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Francisco\\_Jose\\_Molina-Castillo/publication/28204645\\_Las\\_ferias\\_comerciales\\_en\\_el\\_marketing\\_electronico](https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Jose_Molina-Castillo/publication/28204645_Las_ferias_comerciales_en_el_marketing_electronico)

[\\_un\\_analisis\\_comparativo/links/02e7e525442b2e3407000000/Las-ferias-comerciales-en-el-marketing-electronico-un-analisis](#)

- Munjal, P. G. (2015). *The potential of a participatory approach in sustaining the fairs and festivals of small towns the case of Sohna, Haryana*. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 7(4), 347–366. <https://doi.org/10.1108/WHATT-03-2015-0008>
- Munjal, S., & Jauhari, V. (2015). *Leveraging the cultural and economic value of fairs and festivals in India*. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 7(4), 417–423. <https://doi.org/10.1108/WHATT-03-2015-0006>
- Navarro, F. (2001). *Estrategias de Marketing Ferial* (ESIC Edito). Madrid.
- Proctor, T. (2005). *Essentials of marketing research* (Cuarta Edi; P. Education, Ed.). <https://doi.org/10.1108/eb049676>
- Puchalt Sanchís, J., & Munuera Alemán, J. L. (2008). *Panorama Internacional de las Ferias Comerciales*. *ICE, Infomación Comercial Española: Revista de Economía*, (840), 7–28. Retrieved from [http://www.revistasice.com/cache/pdf/ICE\\_840\\_7-28\\_0885FD07C246C39A2C0CD5542C51B958.pdf](http://www.revistasice.com/cache/pdf/ICE_840_7-28_0885FD07C246C39A2C0CD5542C51B958.pdf)
- Rodríguez Oromendía, A., Muñoz Martínez, A., & González Crespo, D. (2013). *Historia, definición y legislación de las ferias comerciales*. *Anuario Jurídico y Económico Escorialense*, 46(1), 449–466.
- Sanchís, J. P. (2008). *La actividad ferial en el contexto europeo*. *CE, Infomación Comercial Española: Revista de Economía*, (840), 29–50. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.552>
- Sharma, S., & Sharma, S. (2015). *Understanding pithoragarh's cultural jewels: Its fairs and festivals*. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 7(4), 331–346. <https://doi.org/10.1108/WHATT-03-2015-0007>
- UIS. (2009). *2009 UNESCO Framework for Cultural Statistics*. In *Journal of Cultural economics* (UNESCO Ins). Montral, Canada.

# 12

## ***Diagnóstico y evolución de la oferta de crowdfunding en Colombia***

### ***Diagnosis and evolution of the crowdfunding offer in Colombia***

María Fernanda Gravier Caez<sup>1</sup>, Enrique Carlos Ordoñez Villarreal<sup>2</sup>,  
Vera Judith Santiago Martínez<sup>3</sup>

#### ***Resumen***

El crowdfunding es una nueva modalidad considerada disruptiva para el mercado financiero tradicional. El crowdfunding es un proceso de capitalización financiera basada en plataformas de Internet que favorece un mercado abierto a todo mundo. A nivel mundial, el crowdfunding ha sido una práctica revolucionaria con ya más de una década y billones de dólares movilizados. Desde su inicio ha mostrado un crecimiento importante año tras año tanto en dinero como en número de plataformas dedicadas a este tipo de operación y cobertura en países a lo largo del mundo.

En Colombia, el crowdfunding es reciente y se encuentra en pleno desarrollo constituyendo una nueva área de oportunidad que ha exhibido un crecimiento importante en su corta vida (Jiménez, Rojas y Ramírez, 2017). En el país es evidente el desconocimiento relacionado a cuántas y cuáles son y han sido las plataformas de crowdfunding en Colombia.

---

<sup>1</sup> *Estudiante de Ingeniería Industrial, VI Semestre, Miembro Semillero IDEA Facultad de Ingeniería Universidad Libre Seccional Barranquilla, mariaf-gravierc@estunilibrebaq.edu.co*

<sup>2</sup> *Estudiante de Ingeniería Industrial, V Semestre, Miembro Semillero IDEA Facultad de Ingeniería Universidad Libre Seccional Barranquilla, enriquec-ordonezv@unilibre.edu.co*

<sup>3</sup> *Doctor en Desarrollo Empresarial y Gerencial, Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Industrial Universidad Libre Seccional Barranquilla, veraj.santiagom@unilibre.edu.co*

En general existe desconocimiento del crowdfunding en el País como alternativa de financiación. En respuesta a este problema de investigación se desarrolló el presente estudio cuyo propósito fue brindar un diagnóstico sobre dicho fenómeno y su evolución en Colombia.

Para dar respuesta a la pregunta de investigación ¿cómo es y ha sido el crowdfunding en Colombia? se dividió el trabajo en tres etapas con objetivos diferentes y secuenciales: 1) Hacer un inventario de las plataformas de crowdfunding en Colombia y determinar el estatus de las mismas; 2) Caracterizarlas usando las variables descriptivas comunes y 3) Construir una línea de tiempo de la evolución del crowdfunding en Colombia.

Los resultados obtenidos permitieron identificar un grupo de 20 plataformas de crowdfunding tanto nativas como internacionales que han operado a lo largo de los últimos 7 años en Colombia. La dinámica del financiamiento colectivo en el país se ha dado en las diferentes modalidades: crowdfunding de donación, recompensa, préstamo e inmobiliario. Del grupo de plataformas identificadas se encontró que el 80% son netamente colombianas y que la modalidad dominante es la del crowdfunding tradicional de donación y recompensa. También dominan las plataformas especializadas, es decir, que atienden a un sector específico (artes, educación y emprendimiento). Todas la plataformas internacionales son no especializadas, es decir, permiten la publicación de proyectos diversos y ofrecen un amplio número de categorías.

La investigación involucró estudiar la trazabilidad de las operaciones de las plataformas permitiendo identificar cuáles plataformas no se encuentran activas, en este aspecto se halló que el 50% de las plataformas identificadas ha cerrado. Solamente una era internacional y las 9 restantes eran colombianas.

El crowdfunding nativo en Colombia inició en 2013 con 4 plataformas colombianas creadas ese año y ese número se duplicó entre 2014 y 2017. Una segunda cohorte de solo 2 plataformas figura entre 2018 y 2019. Sin embargo esta cohorte trae diversificación en material del tipo de crowdfunding que manejan ambas plataformas que son el de préstamo e inmobiliario. En la caracterización de sus modelos de negocios y operación se obtuvo que en su gran mayoría las plataformas permiten al proponente o creador de proyecto fijar el monto mínimo a contribuir. Las plataformas cobran en promedio comisiones por sus servicios que van desde el 4% al 17% sobre el monto recaudado.

***Palabras clave:*** Plataformas crowdfunding Colombia, fintech, evolución del crowdfunding

## ***Abstract***

*Crowdfunding is a new modality which are considered disruptive into the traditional financing market. Crowdfunding is a financial capitalization process based on internet platforms and it is characterized to give a market open to everyone. Globally, crowdfunding*



*has been a revolutionary practice with more a decade and billions of dollars collected. Since its inception, it has shown significant growth year after year both in money and in the number of platforms dedicated to this type of operation and coverage in countries throughout the world.*

*Crowdfunding is a recent practice and it is in development in Colombia. Crowdfunding is a new opportunity field and it has exhibited significant growth in its short life (Jiménez, Rojas y Ramírez, 2017). In the country, the lack of knowledge regarding how many and which are and have been the crowdfunding platforms in Colombia is evident. In general, there is ignorance of the phenomenon of crowdfunding in the country as a financing alternative. It is in response to this research problem that the present study was developed with the purpose to provide a diagnosis of crowdfunding in Colombia and its evolution.*

*To answer the research question: how is and had been the crowdfunding practice in Colombia? The present study was divided into three parts: 1) develop an inventory of platforms and determinate the operation status of them; 2) characterize the platforms using descriptive variables and 3) build a time line to show the evolution.*

*The results show a group of 20 platforms that have existed in Colombia in the last 7 years, 80 % of the platforms are natives or national. The whole group of platforms includes donation-based, reward-based, loan-based, equity-based and others modalities of crowdfunding. Donation and reward crowdfunding are the dominant model into the group of platforms. Specialized focus platforms are more representative into the native platforms. All international platforms are non-specialized.*

*In other hand, the study found the chronological order of creation for 18 platforms of the group of 20. The 50 % of this platforms are inactive o closed at 2019.*

*Crowdfunding in Colombia began on 2013 with 4 platforms created that year and the number was duplicated between 2014 and 2017. A second group of 2 platforms emerged between 2018 and 2019. However, this cohort brings diversification in material of the type of crowdfunding that both platforms handle, which are the loan and real estate. In the characterization of its business and operation models, it was obtained that the majority of the platforms allow the project proponent or creator to set the minimum amount to contribute. The platforms charge between 4 % and 17 % for service fee. The fee is calculated based on the money collected.*

**Keywords:** *Colombian crowdfunding platforms, FinTech, crowdfunding evolution*

## ***Introducción***

El crowdfunding se define como la financiación de un proyecto por una multitud de individuos en lugar de instituciones de crédito profesionales (Larralde & Schwienbacher,

2010). Esta modalidad innovadora para gestión de fondos (Beaulieu, Sarker, Sarker, 2015) ha sido importante en los países en vía de desarrollo (Ruiz, 2015). En el contexto latinoamericano, los empresarios no cuentan con el capital suficiente para financiar sus negocios (Bartesaghi et al., 2017).

No obstante, el crowdfunding es muy utilizado para todo tipo de proyectos (Lehner 2013) y son cada vez más numerosas las plataformas donde personas de todo el mundo suben proyectos de cualquier tipo para que otros pueden decidir si donarles dinero o invertir. Las plataformas facilitan el contacto entre demandantes de fondos y donantes o inversores (Ordanini et al., 2011). El crowdfunding permite la co-creación de valor entre un conjunto de actores que se relacionan en un entorno de carácter virtual (Quero y Ventura, 2014).

La práctica del crowdfunding tiene más de una década y ha mostrado grandes resultados. A 2015, el crowdfunding a nivel mundial había logrado mover decenas de billones de dólares según las cifras publicadas en el informe del sector de la firma Massolution. Esta modalidad de financiación se inició en Estados Unidos, avanzó rápidamente a Europa y Asia, llegando a Latinoamérica recientemente (Otero, 2015). Según el BID en 2012 había más de 45 naciones de todos los continentes que contaban con plataformas de crowdfunding. En 2013, el número de plataformas al finalizar el año era mayor a 600 y el país que lideraba las estadísticas era Estados Unidos con 191 plataformas (Best, Neiss, Swart, Lambkin y Raymond, 2013). A 2014 en Europa existían ya más de 600 plataformas, en Norteamérica se contabilizaban 375, 169 en Asia, 50 en Suramérica, 37 en Oceanía y 19 en África. De acuerdo a la tendencia, para los años venideros se esperaba que la cantidad de plataformas creciera sustancialmente (Camacho, Cubero, Rojas y Picado, 2015).

Según Rentería (2016) en América Latina, Brasil, Chile y México son los países que mostraron una rápida adopción del fenómeno del crowdfunding. Se señala a Colombia entre los países con adopción tardía en este tipo de práctica y figura como uno de los países con mayor número de plataformas activas junto a Brasil, Argentina y México. En dicho estudio se analizaron 46 plataformas latinoamericanas, identificándose 4 plataformas activas y 2 cerradas en Colombia.

A 2019, Colombia figura como el tercer país en la región con mayor número de emprendimientos en nuevas tecnologías financieras sobresaliendo las plataformas de crowdfunding como uno de ellos (Colombia Fintech, 2019). Según algunas investigaciones en Colombia han operado 14 plataformas con ámbito nacional o internacional (Jiménez y Valeta, 2016; Jiménez, Rojas y Ramírez, 2017 y Rodríguez, 2017). Las plataformas son de reciente creación lo que hace evidente que en Colombia, el crowdfunding es reciente también.

Tomando en cuenta que las modalidades más comunes de crowdfunding son: Donación, Recompensa, Inversión y Préstamos (Caccuri, 2014; Peñas, 2016), según Jiménez y Valeta, en Colombia a 2016 sólo se habían presentado las dos primeras modalidades, las otras todavía no. Esto último podría haberse debido a que las otras dos modalidades de crowdfunding exigen un mayor compromiso frente al crédito o la propiedad (Ramos, 2016). No obstante en Colombia empezó a regir el Decreto 1357 de 2018 que regula la actividad de crowdfunding financiero en el país por lo cual se reconoce e impulsa dicha práctica en el país. Es el crowdfunding inmobiliario precisamente una de estas industrias que ha incursionado recientemente en el mercado colombiano (Niño, 2016).

A partir de lo anterior, es evidente el desconocimiento relacionado a cuántas y cuáles son y han sido las plataformas de crowdfunding en Colombia. En general existe desconocimiento del fenómeno mismo del crowdfunding en el País como alternativa de financiación. Es en respuesta a este problema de investigación que se desarrolló el presente estudio cuyo propósito fue brindar un diagnóstico sobre dicho fenómeno y su evolución en Colombia. Hay diversas razones por las que el impacto y la aceptación de crowdfunding han sido escasamente investigados en Colombia y otros países de Latinoamérica. Una de estas razones es la carencia de información sobre las plataformas de crowdfunding existentes en los países. En este sentido toma importancia esta investigación y sus aportes al caracterizarlas y trazar en una línea de tiempo su aparición y desarrollo. En general la mayor parte de los estudios se enfocan en las grandes plataformas y países desarrollados (Gerber, Hui y Kuo, 2012; Hemer, 2011; Agrawal, Catalini y Goldfarb, 2014). Tomando en cuenta que las fuentes clásicas de financiación están resultando ineficientes (Estarellas, 2015) resulta importante la creación de nuevo conocimiento que apunte a herramientas diferentes que pueden aportar al desarrollo económico del país.

## ***Metodología***

La presente investigación es de tipo exploratoria-descriptiva desarrollada con un enfoque mixto que apunta al logro del objetivo del estudio en cuanto a diagnosticar la oferta de crowdfunding en Colombia y presentar cómo ha sido su evolución. El estudio es exploratorio dado que la temática es reciente y es descriptivo ya que el abordaje que se hace busca generar una caracterización de las plataformas y del crowdfunding tal como ha sido en el País. Las variables de estudio que permiten dicha caracterización son de tipo cuantitativo y cualitativo permitiendo cumplir mejor con dicho propósito a partir de un enfoque mixto.

Como método para el desarrollo del estudio se dividió el trabajo en tres etapas con objetivos diferentes y secuenciales:

Etapa 1: Hacer un inventario de las plataformas de crowdfunding en Colombia y determinar el estatus de las mismas.

Etapa 2: Caracterizar las plataformas a partir de las variables descriptivas comunes.

Etapa 3: Construir una línea de tiempo que represente la evolución de la oferta del crowdfunding en Colombia.

Para llevar a cabo la primera etapa se realizó una búsqueda digital en diferentes páginas de internet para identificar las plataformas de crowdfunding en Colombia. Se indagaron noticias, blogs, páginas institucionales, documentos académicos entre otros para conocer los nombres de las plataformas que se conocen en Colombia. Partiendo de algunas plataformas referenciadas en la literatura consultada para realizar esta investigación se pudo en algunos casos conocer el nombre de algunas plataformas. En estos casos el método fue visitar directamente la página web de la plataforma y verificar si estaba operando aún. Si no estaba activa se buscaba información de referencia para determinar su fecha de creación y otras características. Esta primera etapa de búsqueda llevó principalmente a determinar el número de plataformas existentes en Colombia entre 2013 y 2019. El producto final en esta etapa fue el inventario de plataformas donde se identificó el estatus de operación de la misma a 2019 y se recolectó información general sobre la misma, identificándose principalmente si aún continuaba en funcionamiento.

Para la segunda etapa se hizo un registro preliminar de información específica de las plataformas. A partir de este registro se identificaron las 7 variables descriptivas de la investigación:

- 1) Año de creación de la plataforma
- 2) Tipo de crowdfunding: tomando en cuenta que existe crowdfunding de donación, de recompensa, donación y recompensa, préstamo, equidad o acciones.
- 3) Número de categorías, es decir, de grupos, etiquetas o clasificaciones definidas en la plataforma y que debe seleccionar el creador para identificar su proyecto como parte del proceso de creación y publicación. Las etiquetas también ayudan e informan al donante o inversionista sobre los proyectos publicados.
- 4) Enfoque de Operación, tomando en cuenta que hay plataformas que se enfocan en un tipo de proyecto (especializada) y otras que permiten diversidad (no especializada).
- 5) Tipo de plataforma, según su origen y presencia nacional o nativa e internacional.
- 6) Comisiones por servicio cobrado por la plataforma y expresado en porcentaje del monto final que recaude el proyecto.
- 7) Montos mínimos de contribución o inversión, si las impone la plataforma o son de elección del creador.

Esta información fue consignada en una ficha técnica individual y posteriormente ingresada a una tabla para desarrollar el análisis descriptivo y la caracterización de las mismas. En el análisis se hicieron observaciones generales y específicas, se trazaron gráficos y sub-tablas que permitieran comparaciones entre las plataformas estudiadas. Todas las variables de estudio fueron utilizadas para caracterizar a la población de 20 plataformas analizadas.

Para el caso de la primera variable, año de creación, se tomó la información contenida en la misma analizándose de forma cronológica para determinar el orden de creación de cada plataforma. Lo anterior con el propósito de construir la línea del tiempo que ilustraría la evolución de la oferta del crowdfunding en Colombia. En esta última etapa de la investigación fue evidente que a pesar que el crowdfunding inició hace más de dos décadas en el Reino Unido y Estados Unidos y que su expansión hasta América Latina fue posterior, en Colombia se introdujo mucho tiempo después y una vez en el País tuvo auge.

El desarrollo metodológico de esta investigación permitió el cumplir con el alcance trazado para la misma y garantizar el desarrollo de nuevo conocimiento sobre las plataformas de crowdfunding en Colombia cuya difusión resulta importante para continuar con el desarrollo de esta práctica en el País.












## ***Resultados***

El presente estudio parte de una postura académica establecida en el problema de investigación dada la existencia de un desconocimiento relacionado a cuántas y cuáles son y han sido las plataformas de crowdfunding en Colombia. Por tanto el primer resultado obtenido en esta investigación es el inventario de 20 plataformas de crowdfunding que operan o han operado en el País. Este grupo de plataformas se muestra en la tabla 1. Como puede observarse en la tabla existen plataformas activas e inactivas. Este último grupo lo conforman plataformas que ya no están disponibles y algunas no han iniciado operaciones por ser nuevas o estar recién lanzadas al momento de realizar la investigación.

La primera plataforma en la Tabla 1 es Vaki, la cual a noviembre de 2019 se encontró activa. Esta plataforma cambió su nombre en 2018 ya que previamente se llamó La Vaquinha. En esta plataforma una Vaki es el nombre que se le da a los proyectos o “vacas en línea” que posibilitarán financiar proyectos de diversas causas y tipos. Uonset, era una plataforma especializada para el crowdfunding de proyectos musicales. Esta plataforma al momento de la investigación se encontró inactiva y se halló dada la referencia en blogs y noticias relacionadas al crowdfunding como en la investigación de Jiménez y Valeta (2016). A partir

de estas referencias se logró establecer que Uonset manejaba crowdfunding por recompensas y un modelo mixto o por retornos financieros bajo los esquemas de todo o nada. Este sistema implica que el proyecto debe alcanzar el 100% de su objetivo económico antes de que finalice el período de recaudación o de lo contrario, sus creadores no cobrarán nada y el dinero será devuelto a los colaboradores o donantes.

Tabla 1. Inventario de Plataformas que operan o han operado en Colombia

No.	Plataforma	Logo	URL	Estatus
1	Vaki		<a href="http://www.vaki.co">www.vaki.co</a>	Activa
2	Uonset		<a href="http://www.uonset.com">www.uonset.com</a>	Inactiva
3	Idea.me		<a href="http://www.idea.me">www.idea.me</a>	Activa
4	Kickstarter		<a href="http://www.kickstarter.com">www.kickstarter.com</a>	Activa
5	Fondeadora		<a href="http://www.fondeadora.com">www.fondeadora.com</a>	Inactiva
6	Súmame		<a href="http://sumameco.weebly.com/">http://sumameco.weebly.com/</a>	Inactiva
7	Filmantropo		<a href="http://filmantropo.com.co">http://filmantropo.com.co</a>	Inactiva
8	Help		<a href="http://www.fundacionhelp.org">www.fundacionhelp.org</a>	Activa
9	Little big money		<a href="http://www.littlebigmoney.org">www.littlebigmoney.org</a>	Activa
10	La chèvre		<a href="http://www.lachevre.co">www.lachevre.co</a>	Activa
11	Indiegogo		<a href="https://www.indiegogo.com/">https://www.indiegogo.com/</a>	Activa
12	Uprop		<a href="http://www.uprop.co">www.uprop.co</a>	Inactiva
13	YoApoyo		<a href="http://www.yoapovo.co">www.yoapovo.co</a>	Inactiva
14	SkyFunders		<a href="http://www.skyfunders.com">www.skyfunders.com</a>	Inactiva
15	Arma tu vaca		<a href="https://armatuvaca.com">https://armatuvaca.com</a>	Activa
16	Agrapp		<a href="https://agrapp.co">https://agrapp.co</a>	Activa
17	Mesfix		<a href="http://www.mesfix.com">www.mesfix.com</a>	Activa
18	Idbooster	No disponible	<a href="http://www.idbooster.com">www.idbooster.com</a>	Inactiva
19	HomeParte	No disponible	No disponible	Inactiva
20	Woodshare	No disponible	No disponible	Inactiva

Fuente: Elaboración propia

La plataforma Idea.me es una plataforma de crowdfunding habilitada para Latinoamérica incluyendo además de Colombia a países como Brasil, México, Uruguay,

Chile y Argentina. Ofrece financiamiento o recaudación tipo todo o nada y todo suma. Esta última modalidad permite que los creadores de proyectos se lleven lo recaudado aunque no alcancen la meta. A la fecha esta plataforma se encuentra en operación en todos los países en que tiene presencia y permite recaudar en moneda local de acuerdo al país en que se hallen los creadores del proyecto. Kickstarter es una plataforma estadounidense de gran penetración a nivel mundial. Opera bajo un modelo todo o nada para minimizar los riesgos para los creadores y al mismo tiempo darles confianza a los donantes. El tipo de crowdfunding que maneja es de recompensas. Fondeadora fue la plataforma más grande e importante de México, creada en 2011 y que llegó a tener presencia en otros países, entre ellos Colombia. La plataforma fue vendida a Kickstarter a finales de 2016 por lo que no se encuentra activa a la fecha de esta investigación. Sus fundadores iniciaron un banco “challenger” 100% digital que lleva el mismo nombre de la plataforma y que se lanzó en 2019. La plataforma Súmame es una plataforma de financiamiento colectivo colombiana que buscaba apoyar el financiamiento de creadores y proyectos diversos. Después de 4 años de apostarle al financiamiento colectivo y su poder de apoyar proyectos que aporten a la sociedad, Súmame entró en una etapa de reinención como lo indican en su página de internet y no se encuentra actualmente en operación. Filmántropo era una Plataforma de crowdfunding filmico cuyo objetivo fue estimular la creación y consumo de material filmico y audiovisual en Colombia. Su foco de interés y especialidad por tanto era la Filantropía audiovisual, por lo que se puede afirmar que opera un modelo tradicional de donación.

La plataforma Help es colombiana, está activa y enfocada en la educación. En esta plataforma los estudiantes aplican registrándose en ella y buscan el financiamiento de sus estudios. La plataforma no solo es un intermediario, ejerce un rol al verificar la veracidad de los solicitantes y sus historias, los califica de acuerdo a una matriz que incluye: número de créditos aprobados, si está activo estudiando o se ha retirado, sus necesidades económicas y promedio académico entre otros. Little Big Money surgió en Colombia en 2014 como una de las primeras plataformas de crowdfunding que ha llegado a tener un gran volumen de proyectos publicados. Está dedicada a proyectos empresariales, de impacto social o ambiental principalmente. El tipo de crowdfunding es de donación o recompensa y el modelo de financiamiento es todo o nada. La Chevre es la otra plataforma 100% colombiana que apoya la financiación colectiva de proyectos de tecnología, arte, teatro, editorial, cine y video, música, deportes y diseño. Los creadores eligen entre un modelo de donación o recompensa mientras que los donantes pueden contribuir a cualquier proyecto la cantidad que elijan y a tantos proyectos como quieran. Indiegogo es una plataforma fundada en Estados Unidos y con gran éxito a nivel internacional teniendo presencia en todo el mundo. Además de hacer crowdfunding, brinda apoyo a lo largo del proceso. Sus categorías son variadas y opera con

el sistema todo o nada y todo cuenta. Es comparable con Kickstarter por su trayectoria y reconocimiento.

Uprop es llamada por Fintech Colombia el “Kickstarter” de proyectos inmobiliarios en el País. El enfoque de Uprop es el de constituir una cartera de inversionistas que orbiten sobre la adquisición de un bien inmobiliario con potencial de inversión. La plataforma no se encontró activa al momento de la investigación y se hallaron reseñas que indicaban que aún se estaba proyectando su lanzamiento. Yo apoyo fue una plataforma colombiana que buscaba el financiamiento de proyectos de emprendimiento, artísticos, sociales y personales para que se hagan realidad. Al igual que Skyfunders ya no se encuentra activa. Esta última plataforma fue lanzada en el año 2015 y estaba especializada en el financiamiento de proyectos empresariales. Brindaba como un valor agregado al ofrecer el servicio de consultoría a los emprendedores. Funcionaba con un modelo de recompensas en el modelo todo o nada. Arma tu Vaca es una plataforma web colombiana que permite “armar la vaca”, es decir, reunir dinero entre varios pero online, de forma rápida y segura. Más que proyectos con impacto, esta plataforma se dedica a colectas comunes bien sea para comprar un regalo entre un grupo de amigos, para pagar la cena de navidad, los gastos de las vacaciones o recaudar dinero para una fiesta. El modelo con el que funciona es el modelo tradicional de donación. Agrapp es la primera plataforma colombiana de crowdfunding que se especializa en el sector agrario que surgió en 2019. Esta iniciativa busca la transformación de la agroindustria en Colombia con la idea de conectar inversionistas con proyectos agrícolas productivos y rentables, asegurando el retorno de la inversión con la asesoría especializada a agricultores. Similar a la anterior plataforma Mesfix es una plataforma innovadora y reciente en Colombia que se dedica al crowdfactoring es decir, a la venta con descuento de las facturas por cobrar de empresas ofreciendo un nuevo producto de inversión que opera con bajos montos, a corto plazo y con una alta rentabilidad y que mejora las condiciones de liquidez de las empresas.

Como puede verse en la tabla 1 se incluyen al final tres plataformas: Idbooster, HomeParte y Woodshares, de las cuales se obtuvo poca información ya que no se encontraron activas a la fecha del estudio. De la primera de identifiqué que es una plataforma web colombiana que ofrecía tres formas de financiación, una de ellas era el crowdfunding, otra los ángeles inversionistas y por último brindada conexión con el sistema financiero. HomeParte estuvo dedicada al crowdfunding inmobiliario al igual que Woodshares.

El inventario de plataformas se complementó con una caracterización de las plataformas a partir de un grupo de 7 variables descriptivas que fueron la base para hacer el análisis del grupo de plataformas identificado. La tabla 2 presenta de forma condensada los hallazgos en este aspecto. En algunos casos la información no se halló disponible y por ellos



el análisis de algunas de las variables se centró en las plataformas de las que si se obtuvo información.

La primera variable que se registró fue el año de creación, a partir de ella se identifica que la plataforma más antigua fue creada en 2008 y la más reciente en 2019. Los tipos de crowdfunding que predominan son el de donación y recompensa en conjunto. De las 20 plataformas 13 operan combinando ambos tipos y solamente 5 tienen el modelo de donación exclusivamente (Figura 1). Para una de las plataformas no fue posible determinar el tipo de crowdfunding ya que se encuentra inactiva y la plataforma Mesfix se dedica a una variación denominada crowdfactoring como se había mencionado antes.

Tabla 2. Caracterización de las plataformas según variables descriptivas

No.	Plataforma	Año de creación	Tipo de Crowdfunding	Número Categorías	Enfoque operación	Tipo de Plataforma	Comisiones: servicio o pago	Montos mínimos
1	Vaki	2015	Donación Recompensa	2	No especializada	Nativa	14% por cada aporte	Lo fija el emprendedor
2	Uonset	2015	Donación Recompensa	1	Especializada	Nativa	15% del monto adquirido	Lo fija el emprendedor
3	Idea.me	2011	Donación Recompensa	17	No especializada	Internacional	13% y el 17% + IVA	Lo fija el emprendedor
4	Kickstarter	2008	Donación Recompensa	15	No especializada	Internacional	4%	Lo fija el emprendedor
5	Fondeadora	2011	Donación Recompensa	4	Especializada	Internacional	6.5% + IVA	Lo fija el emprendedor
6	Súmame	2013	Donación Recompensa	22	No especializada	Nativa	15%	\$20.000 pesos colombianos
7	Filmántropo	2014	Donación Recompensa	3	Especializada	Nativa	4%	Lo fija el emprendedor
8	Help	2015	Donación	1	Especializada	Nativa	5%	Lo fija el emprendedor
9	Little Big Money	2013	Donación	10	No especializada	Nativa	14%	Lo fija el emprendedor
10	La Chèvre	2013	Donación	8	Especializada	Nativa	15%	Lo fija el emprendedor
11	Indiegogo	2008	Donación Recompensa	29	No especializada	Internacional	Entre el 8% y el 10%	Lo fija el emprendedor
12	Uprop	2019	Donación Recompensa	1	Especializada	Nativa	No disponible	No disponible
13	YoApoyo	2017	Donación	3	No especializada	Nativa	6% más IVA + Comisión para PayU Latam + Costo transacción	Lo fija el emprendedor
14	SkyFunders	2015	Donación Recompensa	18	Especializada	Nativa	5%	Lo fija el emprendedor
15	Arma tu vaca	2016	Donación	1	No especializada	Nativa	-	\$2.000 Pesos colombianos
16	Agrapp	2018	Donación Recompensa	1	Especializada	Nativa	-	Lo fija el emprendedor
17	Mesfix	2014	Donación Recompensa	1	Especializada	Nativa	17%	\$1.000.000 Pesos colombianos
18	Idbooster	2013	Donación Recompensa	1	Especializada	Nativa	-	Lo fija el emprendedor
19	HomeParte	No disponible	Donación Recompensa	1	Especializada	Nativa	15%	\$50.000 Pesos colombianos
20	Woodshare	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible

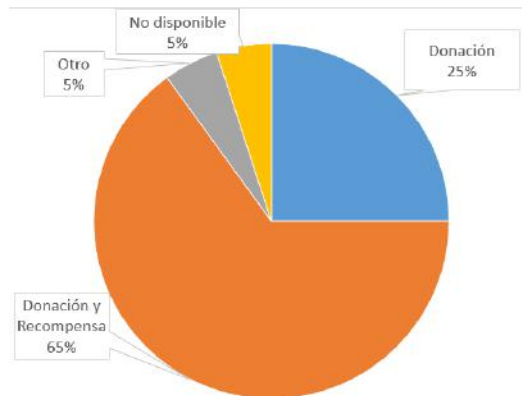


Figura 1. Plataformas en Colombia según tipo de Crowdfunding.

En la variable número de categorías se registró el número de opciones a las que se pueden asociar los proyectos que se publican en busca de fondos en cada plataforma. Las categorías son grupos o etiquetas que corresponden en algunos casos al propósito del proyecto (por ejemplo empresarial, social) o el campo de aplicación (por ejemplo tecnología, salud). El número mínimo de categorías es 1 y es éste la moda entre en grupo de las plataformas analizadas ya que 8 de ellas solamente manejan una categoría. El 70 % de las plataformas trabaja con 10 o menos. Sin embargo existen plataformas con más de 20 categorías.

En la investigación se identificó que el 50 % de las plataformas no eran especializadas y que la misma proporción es de plataformas que si se especializaban en un área o tipo de proyecto. En este grupo hay plataformas enfocadas en la educación, el arte filmico, el emprendimiento o montaje de negocios, la música y el sector inmobiliario. El enfoque más repetitivo es el emprendimiento y cabe resaltar que estas plataformas han cerrado.

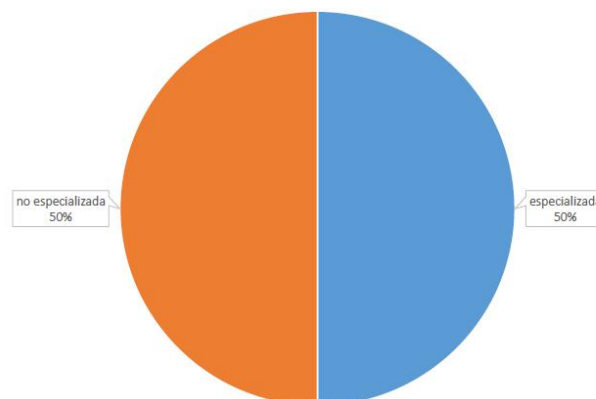


Figura 2. Plataformas en Colombia según enfoque de operación

De las 20 plataformas identificadas en el inventario hay 16 plataformas que son nativas de Colombia y cuya operación cubre o cubría el País únicamente. Las restantes 4 plataformas son de operación internacional y éstas son: Kickstarter, Indiegogo, Fondeadora e Ideame.

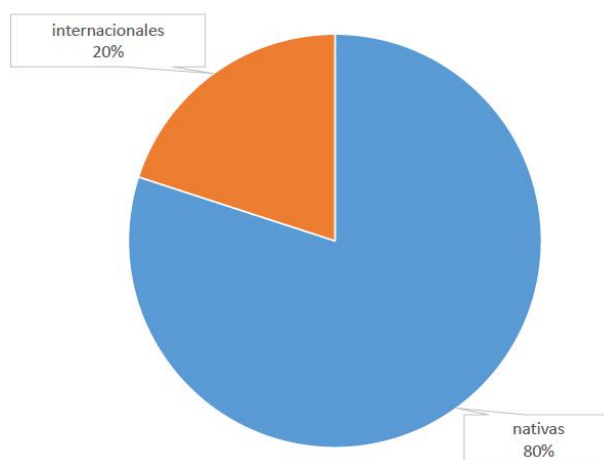


Figura 3. Plataformas en Colombia según clasificación: Nativas o Internacionales

Si se analizan las plataformas dividiéndolas en nativas e internacionales, dentro del primer grupo se encuentra que el 63% son especializadas y el restante no lo son. Mientras que en el grupo de las plataformas internacionales el 100% corresponde a plataformas que no son especializadas en su enfoque de operación, es decir, admiten proyectos de diversa índole.

Tabla 3. Distribución plataformas según tipo y enfoque

<i>Tipo / Enfoque</i>	<i>Especializada</i>	<i>No Especializada</i>	<i>Total</i>
Nativas	10	6	16
Internacionales	0	4	4
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>20</b>

Fuente: Elaboración propia

El histograma de la Figura 4 permite observar el número de categorías para un grupo de 8 plataformas nativas que se encuentran activas. La plataforma Súname es la de mayor número de categorías seguida por Little Big Money y La Chevre.

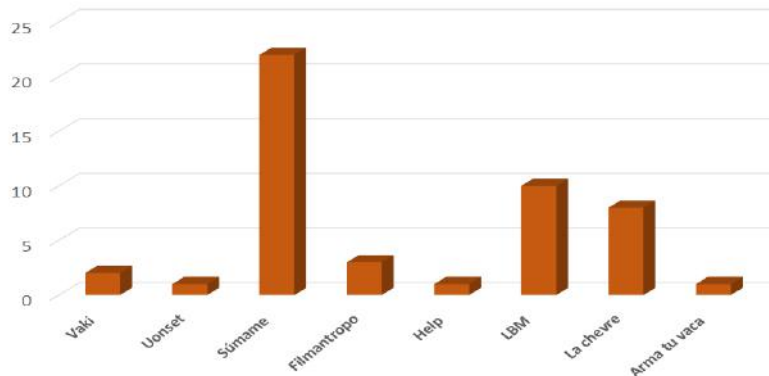


Figura 4. Número de categorías por plataforma.

También se identificó por cada plataforma el valor de las comisiones por servicio que le aplica a los proyectos publicados en ellas. Dicho valor se muestra en la tabla 2 y son bastante diversos. Todos responden a un porcentaje sobre el monto recaudado y este valor es el ingreso percibido por la plataforma. La menor comisión la cobra Kickstarter y Filmántropo la cual está en un 4 %. Help y la extinta plataforma Skyfunders le siguen con un 5 % de comisión. Fondeadora aplicaba un 6,5 % más IVA y en Indiegogo la comisión varía entre el 8 % y el 10 %. El restante grupo de plataformas aplica una comisión entre el 13 % y 17 %. Adicionalmente los proyectos deben asumir el valor cobrado por las entidades bancarias, intermediarios financieros o pasarelas de pago utilizadas para las transacciones. En la Figura 5 se grafica el valor de las comisiones por servicio para un grupo de 8 plataformas nativas.

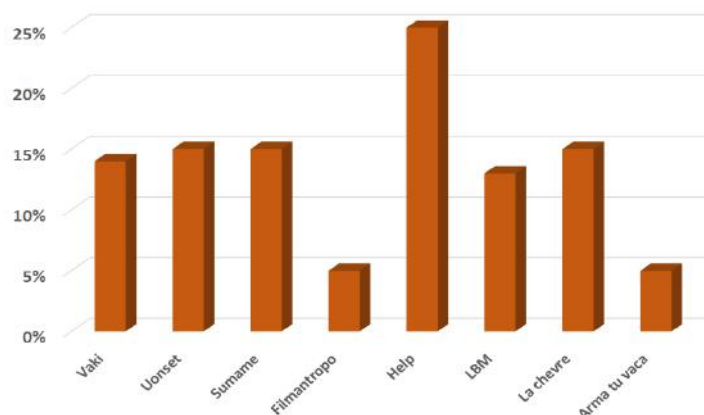


Figura 5. Comisión cobrada por la plataforma a los proyectos exitosos

Como última variable se identificó si la plataforma establecía un monto mínimo para las transacciones o si permitían que este valor quedara a discreción del creador del proyecto.

Solamente cuatro plataformas operan con un monto mínimo. El menor monto establecido es de \$2.000 pesos colombianos y es en la plataforma Arma tu vaca. Súmame establece este monto en \$20.000 pesos colombianos y le seguía Home Parte en \$50.000 pesos colombianos. La plataforma Mesfix por la naturaleza de las transacciones que maneja opera con un monto mínimo de \$1.000.000 de pesos colombianos.

La investigación tuvo como producto final elaborar una línea de tiempo que permitiera trazar la evolución de las plataformas de crowdfunding en Colombia. A partir de la información recabada determinando el año de creación de cada plataforma se logró cumplir con este objetivo de la investigación. La Figura 5 presenta la línea de tiempo en la cual se pueden observar 18 plataformas del grupo de 20 inventariadas, ya que para 2 plataformas no fue posible hallar la información de su año de creación. También cabe aclarar que en el caso de las plataformas internacionales se ha marcado en la línea de tiempo el año en que se creó cada una sin embargo, la penetración de dicha plataforma en el mercado colombiano no se logró determinar y se asume que la misma es similar a la aparición de las plataformas nativas.

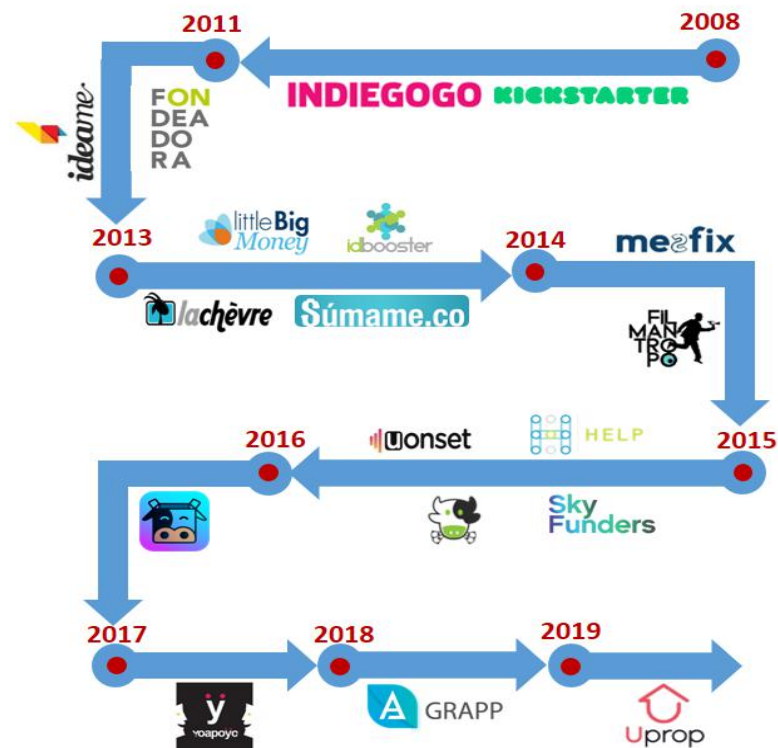


Figura 6. Línea de tiempo de las plataformas de crowdfunding en Colombia

## *Conclusiones*

El propósito principal de esta investigación fue recopilar información que permita superar el desconocimiento relacionado a cuántas y cuáles son y han sido las plataformas de crowdfunding en Colombia.

En primer lugar esta investigación permitió la identificación de un grupo de 20 plataformas que operando o han operado en Colombia a lo largo de los últimos 7 años. Este grupo incluye 4 plataformas internacionales que cuentan con un mayor periodo de existencia pero cuya presencia y operación en el país se determinó similar a las plataformas nativas que suman 16. El 75 % de las plataformas internacionales está aún presente en el País y se anticipa que pronto otras plataformas puedan incursionar también en el corto plazo. Principalmente plataformas dedicadas al crowdfunding financiero el cual se ha regulado recientemente en Colombia.

Contrastando con los antecedentes encontrados en la literatura se logró determinar un grupo más amplio de plataformas que las citadas en las investigaciones de Jiménez y Valeta, 2016; Jiménez, Rojas y Ramírez, 2017 y Rodríguez, 2017. Un hallazgo importante fue determinar que una práctica de crowdfunding financiero ya existía en Colombia previamente con la plataforma Mesfix. En la literatura se señalaba que solamente existían plataformas de crowdfunding de donación y/o recompensa. La presente investigación ha logrado determinar que la dinámica de la financiación colectiva en Colombia se ha dado en las diferentes modalidades: crowdfunding de donación, recompensa, préstamo e inmobiliario.

El estudio llevado a cabo sobre las plataformas de crowdfunding en Colombia permite concluir que sin lugar a dudas el crowdfunding está en pleno desarrollo en el País. Hay nuevas plataformas de crowdfunding inmobiliario, crowdfactoring y otras prácticas financieras más complejas que son las que a la luz de la reciente reglamentación exigen un mayor compromiso frente al crédito o la propiedad según lo estipulado en la ley colombiana.

El crowdfunding de inversión, es el que está tomando más fuerza dentro de la globalización de los mercados inmobiliarios como alternativa de financiación de proyectos en este sector; destacando el modelo colombiano que utiliza la figura de los derechos fiduciarios internacionales como instrumento de participación en grandes proyectos inmobiliarios; para finalmente presentar los proyectos que se han desarrollado, están en desarrollo y se desarrollarán con este modelo de financiación (Niño, 2016).

En los países más desarrollados la modalidad del financiamiento colectivo ha sido una verdadera revolución y en Colombia puede llegar a serlo. Las plataformas Crowdfunding Colombianas están ganando mercado y muchos usuarios que estaban olvidados por la banca tradicional están encontrando nueva alternativa.

Como se mencionó anteriormente, en Colombia se aprobó el decreto 1357 para regular el Crowdfunding y no llegar a escenarios de descontrol, como ha sucedido en el comercio electrónico por ejemplo, donde hay experiencias que así lo ilustran.

El ambiente en Colombia es propicio para el desarrollo del Crowdfunding. El país va a comenzar a utilizar, de manera segura para los inversionistas y los empresarios, la financiación colectiva y mucho se puede especular sobre esto, pero vale la pena detenerse a pensar que el financiamiento colectivo es una oportunidad para Colombia. Una oportunidad para formar personas y profesionales, para emprender y desarrollar sistemas productivos que sienten la base de la economía. Es sin duda una oportunidad de desarrollo que comenzará a generar gradualmente el cambio que requiere el país, y eventualmente llegar al desarrollo pleno y sostenible que hace falta en Colombia y América Latina.

A pesar que el crowdfunding inició hace más de dos décadas en el Reino Unido y Estados Unidos, desde donde logró expandirse hasta América Latina principalmente en México y Chile siendo estos los líderes en uso de estas plataformas, en Colombia, desafortunadamente se introdujo mucho tiempo después, y apenas logrando hoy a sus primeros frutos; pero aun para nuestra población no se ha cumplido al alcance que se debería, ya que esta no es una herramienta popular para futuros emprendedores, porque que el conocimiento y difusión de las plataformas no es el idóneo para la magnitud de las ventajas que están puedan llegar a tener y llegar a representar, siendo esta una opción de financiamiento confiable y viable para todos los colombianos que están incursionando y desarrollando sus nuevas propuestas, esto da lugar a que en la medida que se tome el trabajo de divulgar la información del crowdfunding, la población va a lograr tener esta alternativa como forma principal de generar y recolectar ingresos.

## ***Referencias***

- Agrawal, A. K., Catalini, C., & Goldfarb, A. (2014). Some simple economics of crowdfunding. Innovation Policy and the Economy, 14(1), 63-97.*
- Banco Interamericano de Desarrollo (2017). FINTECH: Innovaciones que no sabías que eran de América Latina y Caribe. BID y Finnovista. Disponible en:*

- <https://publications.iadb.org/handle/11319/8265#sthash.cfdqa5Pl.dpuf> y consultado el 1 de octubre de 2019.
- Bartesaghi, A., Silveira, S., Lasio, M., Varela, R., Veiga, L., Kew, P. & Herrington, M. (2016). *GEM América Latina y el Caribe 2015*. Global Entrepreneurship Research Association.
- Beaulieu, T., Sarker, S., & Sarker, S. (2015). *A Conceptual Framework for Understanding Crowdfunding*. *Communications of the Association for Information Systems*, 37(1), 1–31.
- Best, J.; Neiss, S.; Swart, R.; Lambkin, A.; Raymond, S. (2013). *Crowdfunding's potential for the developing world*. InfoDev. Washington DC; World Bank Group.
- Caccuri, D. (2014). *El crowdfunding y sus múltiples formas*. *Austral Comunicación*, 3(1), 23-31.
- Camacho, M. J.; Cubero, I.; Rojas, S.; y Picado, R. (2015). *Guía para el Uso del Crowdfunding a Base de Recompensas en Costa Rica*. Tesis de Pregado, Tecnológico de Costa Rica.
- Colombia Fintech (2019). *Informe General de Gestión y Estados Financieros 2019*. Recuperado de <https://www.colombiafintech.co/publicaciones/informe-general-de-gestion-colombia-fintech-2019-i>
- Estarrellas, K. B. (2015). *Crowdfunding, una nueva alternativa de financiación en auge*. Tesis de grado, Universidad de la Laguna, España.
- Gerber, E., Hui, J., & Kuo, P.-Y. P. (2012). *Crowdfunding: Why People are Motivated to Post and Fund Projects on Crowdfunding Platforms*. Seattle: Northwestern University.
- Hemer, J. (2011) *A Snapshot on Crowdfunding*. Working Papers "Firms and Region". Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI Competence Center "Policy and Regions" Germany.
- Jiménez, C.; y Valeta, K. (2016). *El fenómeno del Crowdfunding en Colombia*. Tesis de Pregado, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla – Colombia.
- Jiménez, J.I.; Rojas, F.S., y Ramírez, D.A. (2017). *Situación del Crowdfunding como mecanismo para la financiación de PyMEs en Colombia*. *Revista Espacios* Vol. 38 (N° 43) Año 2017. Pág. 24.
- Larralde, B., & Schwienbacher, A. (2010). *Crowdfunding of small entrepreneurial ventures*. *Handbook of Entrepreneurial Finance*, Oxford University Press, Forthcoming.
- Lehner, O. M. (2013). *Crowdfunding social ventures: a model and research agenda*. *Venture Capital*, 15(4), 289-311.
- Massolution (2015). *The crowdfunding industry report*. Disponible en: [http://reports.crowdsourcing.org/index.php?route=product/product&product\\_id=54](http://reports.crowdsourcing.org/index.php?route=product/product&product_id=54) consultado el 1 de octubre de 2019.
- Niño, A. B. (2016). *Crowdfunding inmobiliario como estrategia de financiamiento del sector edificador colombiano*. Tesis de Grado Universidad Militar de Granada, Colombia.
- Ordanini, A., Miceli, L., Pizzetti, M. and Parasuraman, A. (2011), *Crowd-funding: transforming customers into investors through innovative service platforms*. *Journal of Service Management*, Vol. 22 No. 4, pp.443-470.



- Otero, P. (2015). *Crowdfunding. Una nueva opción para la financiación de proyectos en salud. Arch Argent Pediatr 113(2) Pags154-157.*
- Peñas, Á. P. (2016). *Fuentes de financiación. ESIC Editores, Madrid, España.*
- Quero, M. J.; y Ventura, R. (2014). *Análisis de las relaciones de co-creación de valor. Un estudio de casos de crowdfunding. Universia Business Review Tercer Trimestre ISSN: 16985117.*
- Ramos, J. (2016). *Crowdfunding cómo conseguir financiación en Internet. Sevilla, España: Edición digital XII.*
- Rentería, C. (2016). *Las plataformas de crowdfunding en América Latina. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. IDRC Canadá.*
- Rodríguez, P. A. (2017). *Alternativas del Crowdfunding en Colombia. Visiones Estudiantes No.17. Universidad Central, Colombia.*
- Ruiz, G. (2015). *Crowdfunding para la Financiación de Microproyectos de Desarrollo en la República Dominicana. Tesis de Grado Universidad Politécnica de Madrid, España.*

# 13

## ***El fenómeno del crowdfunding no financiero en las economías emergentes de México, Chile y Colombia***

### ***The phenomenon of non-financial crowdfunding in the emerging economies of Mexico, Chile and Colombia***

Daniel Guillermo Parra Barreto<sup>1</sup>, Sebastián De Jesús Camargo Jesurum<sup>2</sup>,  
Vera Judith Santiago Martínez<sup>3</sup>

#### ***Resumen***

A diferencia de las economías desarrolladas los mercados emergentes, especialmente los latinoamericanos, no han sido abarcados ampliamente en la literatura del crowdfunding no financiero. Dada esta temática reciente y poco estudiada, la presente investigación tuvo como objetivo principal el estudio del fenómeno del crowdfunding no financiero en tres países: Chile, México y Colombia a partir de las características comunes y los elementos diferenciadores de los proyectos que buscaron este tipo de financiación. Se estructuró una metodología de trabajo que inició con la revisión de literatura y la contextualización con el tema en cada país que permitiera la selección de una plataforma nativa por país. Se estudiaron Idea.me en Chile, Michochinito.com en México y

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial, VI Semestre, Miembro Semillero IDEA Facultad de Ingeniería Universidad Libre Seccional Barranquilla, [danielg-parrab@estunilibrebaq.edu.co](mailto:danielg-parrab@estunilibrebaq.edu.co)

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial, VI Semestre, Miembro Semillero IDEA Facultad de Ingeniería Universidad Libre Seccional Barranquilla, [sebastiand-camargoj@estunilibrebaq.edu.co](mailto:sebastiand-camargoj@estunilibrebaq.edu.co)

<sup>3</sup> Doctor en Desarrollo Empresarial y Gerencial, Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Industrial Universidad Libre Seccional Barranquilla, [veraj.santiagom@unilibre.edu.co](mailto:veraj.santiagom@unilibre.edu.co)

LittleBigMoney en Colombia con un total conjunto de 230 proyectos. Las variables de estudio fueron: 1) Meta de financiación, 2) dinero recaudado, 3) Porcentaje de financiación obtenida, 4) Tipo de proyecto y 5) Número de donantes. La investigación tuvo un diseño descriptivo-explicativo y un enfoque mixto.

El análisis desarrollado en esta investigación se enfocó en generar una caracterización de cada país tomando como base el grupo de proyectos de la plataforma seleccionada. Un segundo producto de la investigación fue el análisis comparativo entre los tres países estudiados. Los resultados obtenidos por la investigación permiten establecer las metas de financiación como el primer elemento diferenciador. Los proponentes mexicanos y colombianos son más conservadores al establecer la meta en comparación con los chilenos. En Colombia las metas se mantienen por debajo de los 1000 USD, en México son de 500USD o menos en su gran mayoría y en Chile estos valores se muestran dispersos hasta los 6000 USD siendo el rango más amplio en este caso. Al ser mayores las aspiraciones económicas de los proyectos chilenos, esta economía sobresale como la que muestra una meta global mayor en la muestra de estudio. De igual manera Chile logra la mayor cantidad de dinero recaudado en comparación con Colombia y México. Pero al compararse la meta global con el recaudado en Chile solo se capta el 51% . La tasa de captación en México es del 111.73%, la más alta entre los tres países y en Colombia la tasa fue del 70.91%.

El PFO resultó ser una característica interesante para el presente estudio y sus objetivos. Colombia domina con el mayor número de proyectos con un PFO en el rango de 100% a 150%. Siendo además este grupo el de mayor número de proyectos en la muestra. México lidera el grupo de proyectos con PFO de más de 150% y Chile el de PFO entre 0% y 50%. En consecuencia, se identifica que Chile tiene una tasa de fracaso del 70%, México de 14.74% y Colombia de 26.75% . Por último, el número de donantes global es mayor en Colombia, seguido muy de cerca por Chile. En Chile el número de donantes más común está entre 17 y 19, para México es cercano a los 6 y en Colombia a los 12.

**Palabras clave:** *Crowdfunding no Financiero, Economías emergentes, financiamiento colectivo por recompensas o donación.*

## ***Abstract***

*Latin American emerging economies have not been widely covered in the existent academic literature about non-financial crowdfunding. The main objective of this research was to study the phenomenon of non-financial crowdfunding in three countries: Chile, Mexico and Colombia as an answer of this gap due to the novelty of this theme. The research was focused on common characteristics and differentiating elements of the projects that sought this type of financing.*

*The research methodology began with the literature review for a contextualization into the phenomenon per country and the selection of one platform for the study. The platforms were Idea.me from Chile, Michochinito.com from Mexico and Little Big Money from Colombia with a total amount of projects of 230. The research variables were: 1) Financing Goal, 2) Amount of Money collected, 3) Percent of Financing 4) Project type y 5) Number of Backers..*

*The first part of the results present an individual analysis of each country. The second part consist in a comparative analysis between three countries. The results obtained allow establish the Financing goal as the first differentiating element. Mexican a Colombian proponents are more conservative in setting the goal compared to the Chileans. In Colombia, the goals remain below USD1000, in Mexico they are 500 USD or less in the great majority and in Chile these values are dispersed reaching up to USD6000, being the country with the widest range. Chile was the country with the highest total financing goal and with the highest amount of money collected of the sample too.*

*Nevertheless when the PFO of the projects of all three countries is compared the conclusions are very different. The catchment rate in México is the highest (111.73%) and is the best scenario because this value implies that the Mexican projects get the money goal usually. In Colombia the rate was 70.91% and in Chile was 51%. Therefore the PFO is a very significant and interesting metric for the understanding of the crowdfunding dynamic into emerging economies. When the sample was divided by the PFO range was found Colombia leads the group range with PFO from 100% to 150%. That group was the largest with more of 130 projects (80 Colombian projects). Mexico leads the range of PFO>150% and Chile the range between 0% and 50%.*

*Consequently, as a final conclusion, it is also obtained that Chile shows a failure rate of 70%, Mexico 2as 26.75% and Colombia 14.74%. Additionally, Chile had the highest total of donors and an average number of project donors between 16 and 19. In Colombia this value is 12 and in Mexico it is 6.*

**Keywords:** *Non-Financial Crowdfunding, Emerging economies, reward-based and donation-based crowdfunding.*

## ***Introducción***

Una de las principales diferencias que existen entre Latinoamérica y los países desarrollados es la falta de acceso a servicios financieros (BID, 2017). Esta situación afecta al 49% la población latinoamericana, siendo por ello la inclusión financiera es una de las metas más importantes para esta región. En respuesta a ello en América Latina se ha generado un creciente desarrollo de negocios dentro de la industria de Nuevas Tecnologías Financieras

(FINTECH). Según el informe del BID a 2017 había 703 startups FinTech en 15 países de América Latina que incluye Brasil, México, Colombia, Argentina y Chile.

El crowdfunding es considerado una de las modalidades de FINTECH a la que se le atribuye haber transformando la industria de servicios financieros (BID, 2017). El crowdfunding o financiamiento colectivo es definido como una forma participativa y colaborativa de recaudar fondos en el que un gran número de personas realiza pequeñas aportaciones económicas para financiar un proyecto (Olarte-Pascual, Sierra Murillo y Ortega, 2016). El proceso se ejecuta típicamente a través de plataformas virtuales y en el crowdfunding no financiero el dinero aportado no involucra ningún repago económico.

El sector del crowdfunding en América Latina ha tenido un crecimiento importante desde 2009 a la fecha (Rentería, 2016). Los países que cuentan con un sector más desarrollado son Brasil, México, Colombia, Argentina y Chile (Abarca, 2018). Este grupo de países posee economías de eficiencia (Foro Económico Mundial, 2019) y son catalogados además como economías emergentes dado que comenzaron a crecer con su propio nivel de producción industrial y sus ventas al exterior y a perfilarse como competidores de otras economías más desarrolladas (OECD/CAF/UN ECLAC, 2016).

El estudio del crowdfunding en las economías emergentes es poco. En la literatura abundan estudios e investigaciones en países desarrollados y con plataformas de gran renombre como Kickstarter. Los autores de dichas investigaciones se enfocan en el estudio del éxito y variables explicativas asociadas al mismo. De esta literatura se resalta que permite identificar el grupo de factores o características utilizadas para estudiar y comparar los proyectos que buscan financiamiento mediante crowdfunding en una plataforma virtual que dichos autores han investigado. La tabla 1 resume todas las variables identificadas clasificándolas en seis aspectos. El primero de ellos es el creador o proponente del proyecto del cual se identifica información como su origen, residencia o ubicación geográfica. El segundo grupo se relaciona a la información sobre los donantes y, en el tercero se engloba todo lo concerniente al dinero. La cuarta, quinta y sexta hacen referencia a los aspectos relacionados al proyecto, la campaña y la plataforma.

A partir de la revisión de literatura se puede identificar que la meta de financiación es la característica más repetitiva en la literatura. En segundo lugar está el número de donantes, es decir, el total de personas que aportaron económica al proyecto También sobresalen aspectos como el tipo de proyecto y categoría, la duración de la campaña, el que tenga video o no, el número y categorías de recompensas y tipos de recompensas disponibles. Lo anterior resultó de interés para determinar las variables utilizadas en la presente investigación.

Especialmente cuando se contrastó con las investigaciones de Jiménez y Valeta (2016), Montalvo y Arrieta (2017) y Oviedo Zabala (2019) desarrolladas en Colombia, México y Chile correspondientemente analizando una plataforma de crowdfunding no financiero existiendo variables comunes entre sí y con la literatura.

Tabla 1. Variables de estudio de las investigaciones previas

CREADOR	PROYECTO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Región de origen (Agrawal Catalini, y Goldfarb, 2011; Cordova y otros, 2015) y sitio de residencia (Giudici y otros, 2013; Frydrych y otros, 2014))</li> <li>• Distancia geográfica con financiadores (Agrawal Catalini, y Goldfarb, 2011)</li> <li>• Número de contactos en Facebook (Giudici y otros, 2013; Mollick, 2014; Rao y otros, 2014; Saxton y Wang, 2014; Koch &amp; Siering, 2015)</li> <li>• Participación previa en crowdfunding (Kuppuswamy y Bayus, 2013; Koch &amp; Siering, 2015)</li> <li>• Individuo u organización (Giudici y otros, 2013; Frydrych y otros, 2014) Si es organización: edad, total de activos y de gastos (Saxton y Wang, 2014)</li> <li>• Reciprocidad apoyando otras campañas (Koch &amp; Siering, 2015; Buttice y otros, 2015).</li> <li>• Número de contactos en LinkedIn (Buttice y otros, 2015)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de proyecto (Giudici y otros, 2013; Frydrych y otros, 2014; Saxton y Wang, 2014; Koch &amp; Siering, 2015) y categoría (Rao y otros, 2014)</li> <li>• Longitud de la descripción del proyecto, longitud promedio de la descripción de recompensa (Rao y otros, 2014), Profundidad de descripción del proyecto (Koch &amp; Siering, 2015) y número de palabras del título y puntuación del título (Kuppuswamy y Bayus, 2013).</li> <li>• Existencia de video (Kuppuswamy y Bayus, 2013; Mollick, 2014; Rao y otros, 2014; Frydrych y otros, 2014; Koch &amp; Siering, 2015; Buttice y otros, 2015)</li> <li>• Número de imágenes usadas (Koch &amp; Siering, 2015; Buttice y otros, 2015;)</li> <li>• Tipo de pitches (Frydrych y otros, 2014)</li> <li>• Número de categorías de recompensa (Kuppuswamy y Bayus, 2013; Rao y otros, 2014; Frydrych y otros, 2014) y tipos de recompensas disponibles (Buttice y otros, 2015)</li> </ul>
DONANTE	CAMPAÑA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de financiadores ((Kuppuswamy y Bayus, 2013; Mollick, 2014; Frydrych y otros, 2014; Saxton y Wang, 2014; Cordova y otros, 2015)</li> <li>• Monto promedio por financiador (Kuppuswamy y Bayus, 2013; Mollick, 2014; Frydrych y otros, 2014; Saxton y Wang, 2014; Cordova y otros, 2015)</li> <li>• Número de financiadores por día de campaña (Kuppuswamy y Bayus, 2013).</li> <li>• Número promedio de aportes por día (Cordova y otros, 2015)</li> <li>• Número de financiadores en los primeros días de campaña</li> <li>• Monto de aportes en los primeros días de campaña y género (Buttice y otros, 2015)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Duración de la campaña (Kuppuswamy y Bayus, 2013; Mollick, 2014; Rao y otros, 2014; Frydrych y otros, 2014; Cordova y otros, 2015; Koch &amp; Siering, 2015; Buttice y otros, 2015)</li> <li>• Número de actualizaciones (Mollick, 2014; Joenssen y otros, 2014; Cordova y otros, 2015; Koch &amp; Siering, 2015).</li> <li>• Número de comentarios (Mollick, 2014 y Rao y otros, 2014; Cordova y otros, 2015).</li> <li>• Número de enlaces desde la página (Saxton y Wang, 2014) y número de enlaces externos con información adicional, tipos de recompensas disponibles (Buttice y otros, 2015)</li> </ul>
DINERO	PLATAFORMA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monto o meta en dinero (Giudici y otros, 2013; Kuppuswamy y Bayus, 2013, Mollick, 2014; Rao y otros, 2014; Frydrych y otros, 2014; Cordova y otros, 2015; Koch &amp; Siering, 2015)</li> <li>• Monto de donaciones de amigos y familiares (Agrawal Catalini, y Goldfarb, 2011)</li> <li>• Monto mínimo y máximo de aporte (Rao y otros, 2014)</li> <li>• Monto promedio de aportes por día (Cordova y otros, 2015)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de plataforma y edad ((Joenssen y otros, 2014; Giudici y otros, 2013).</li> <li>• Número de proyectos de la plataforma, posibilidad de extensión de la duración (Giudici y otros, 2013).</li> <li>• Tipo de crowdfunding</li> <li>• Número de likes de la plataforma en redes sociales (Giudici y otros, 2013)</li> </ul>

A partir de lo anterior se puede evidenciar que en la literatura los autores referenciados coinciden en algunas de las variables de estudio y que este marco de información permite crear la base para abordar el problema de investigación definido como la necesidad de caracterizar el fenómeno del crowdfunding en México, Chile y Colombia con el propósito de contrastar la dinámica en estas economías entre sí y generar nuevo conocimiento que aporte al campo de las economías emergentes. Este problema de investigación se manifiesta en la carencia de literatura específica sobre países emergentes lo que crea la necesidad de profundizar y conocer cómo los aspectos característicos relacionados al dinero que se busca mediante crowdfunding no financiero así como de los actores (donantes, creadores y plataformas) y muy especialmente de los proyectos y las campañas se presentan y varían en un contexto emergente.

La importancia de la presente investigación se fundamenta en el crecimiento del crowdfunding en países emergentes, el cual se ha visto favorecido por un marco regulatorio que se ha gestado en muchos de los países latinoamericanos que busca la transparencia. Adicionalmente la velocidad y escala en que los avances en la tecnología y el Internet han evolucionado en estas economías en los últimos años genera también un impulso al fenómeno del crowdfunding. La fuerte penetración en el mercado de medios sociales y el uso de Internet es necesario para aprovechar las tendencias demográficas y tecnológicas e impulsar la colaboración y los cambios culturales que han sido identificados como los principales obstáculos para que el crowdfunding se desarrolle en los países latinoamericanos. Todos estos factores son necesarios para construir la cultura de la confianza que es esencial para la financiación de las empresas, proyectos y causas mediada principalmente a través de interacciones.

## ***Metodología***

El objetivo de esta investigación fue el estudio y análisis del fenómeno del crowdfunding no financiero en las economías emergentes de México, Chile y Colombia. Para ello se trabajó con un diseño descriptivo-explicativo y un enfoque mixto dado que las variables de estudio son cuantitativas y cualitativas.

Para el desarrollo de la investigación se estructuró una metodología de trabajo (Figura 1) que inició con la revisión de literatura para generar un conocimiento de base sobre el crowdfunding financiero contextualizado en los tres países que se estudiaron. Esta contextualización implicó la identificación de las plataformas que operan en México, Chile y Colombia y se dedican al financiamiento colectivo bien sea de donación o recompensa. El

principal propósito de esta fase de la investigación fue conocer y seleccionar una plataforma de crowdfunding no financiero por cada país tomando como primer criterio el haber sido creada en dicho país y que el 100% de sus proyectos se originen en éste. La variedad en los proyectos y el volumen de proyectos fue también relevante para la selección. Se tomaron como base las investigaciones de Jiménez y Valeta (2016), Montalvo y Arrieta (2017) y Oviedo Zabala (2019) y para el estudio se seleccionó Idea.me en Chile, Michochinito.com en México y LittleBigMoney en Colombia.

Como segundo paso se procedió a la recolección de datos, se recopiló información primaria de los proyectos anunciados en cada plataforma en un lapso de 6 meses. El total de proyectos estudiado fue de 230, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: 55 de Idea.me, 95 de Michochinito.com y 80 de LittleBigMoney. Se registró toda la información disponible en las plataformas tal como nombre del proyecto, meta de dinero, fecha en que se publicó, tiempo de campaña, fecha de cierre, número de donantes, actualizaciones de la información, datos del creador o proponente del proyecto, número de recompensas, cantidad o montos de donación preestablecidos, antecedentes del donante, antecedentes del creador del proyecto, video y material visual en la campaña, entre otros. . Posteriormente se contrastó dicha información identificando aquellas características y datos que eran comunes entre las plataformas. Lo anterior con el propósito de identificar las variables de estudio de esta investigación tomando como base la literatura de referencia.

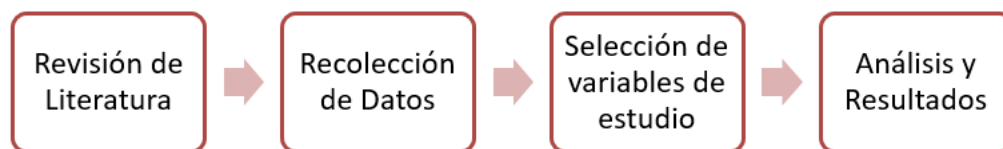


Figura 1. Metodología de la investigación

Se definieron cinco variables de estudio las cuales se definen a continuación:

1. Meta de financiación: Monto de dinero fijado para recaudar llevado a dólares.
2. Dinero recaudado: Cantidad de dinero obtenida (expresado en dólares).
3. Porcentaje de financiación obtenida (PFO): Porcentaje resultante al dividir el dinero recaudado entre la meta.
4. Tipo de proyecto: Se clasificaron los proyectos según el PFO: Exitoso si el  $PFO \geq 100\%$  o No exitoso si el  $PFO < 100\%$ .
5. Número de donantes: Indica el total de personas que donaron dinero al proyecto.



Estas cinco variables eran constantes y comunes entre las plataformas y en la literatura resaltaban en el grupo de análisis de investigaciones similares. El análisis de las mismas y los hallazgos derivados de ello constituyen el producto principal de conocimiento de esta investigación.

## **Resultados**

El análisis desarrollado en esta investigación se enfocó en primer lugar en generar una caracterización de cada país tomando como base el grupo de proyectos de la plataforma seleccionada.

### **El fenómeno del Crowdfunding no financiero en Chile**

La primera variable de análisis para caracterizar el fenómeno del crowdfunding no financiero es la variable Meta de financiación. En Chile las metas de los proyectos suman \$195,506 USD. Dado que el número de proyectos en la plataforma era de 54, la media fue de \$2,651USD. Sin embargo la moda de la muestra es de \$2,890 USD. La Figura 2 representa la dispersión en los valores de las metas individuales de los proyectos de la muestra.

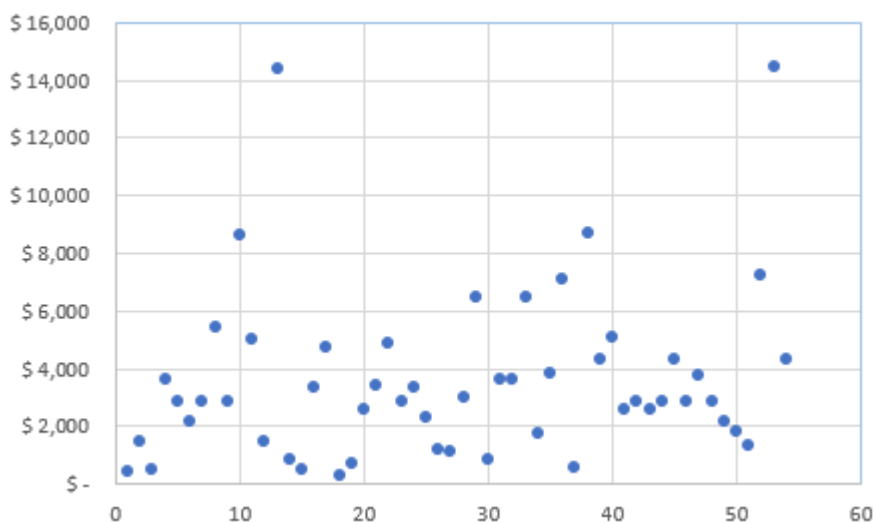


Figura 2. Meta de Financiación en USD para proyectos en Chile

El valor máximo de las metas fue de \$14,449 y el valor mínimo de las metas fue de \$287. Al dividirse el grupo en 3 rangos se obtuvo que 15 proyectos (28%) esperaban metas menores a 2000USD, 23 proyectos (43%) entre 2000 y 4000 USD y 16 proyectos (30%) tenían metas mayores a 4000USD.

Para el dinero recaudado se obtuvo como sumatoria de los dineros recaudados de los proyectos de la plataforma Idea.me un total de \$ 99, 911 USD. Comparando el valor total del recaudo con el de la meta se obtiene que el dinero que logran captar los creadores representa el 51%. El número de proyectos en la plataforma es 54, por lo tanto, la cantidad promedio de dinero recaudado por proyecto es de \$3,663 USD.

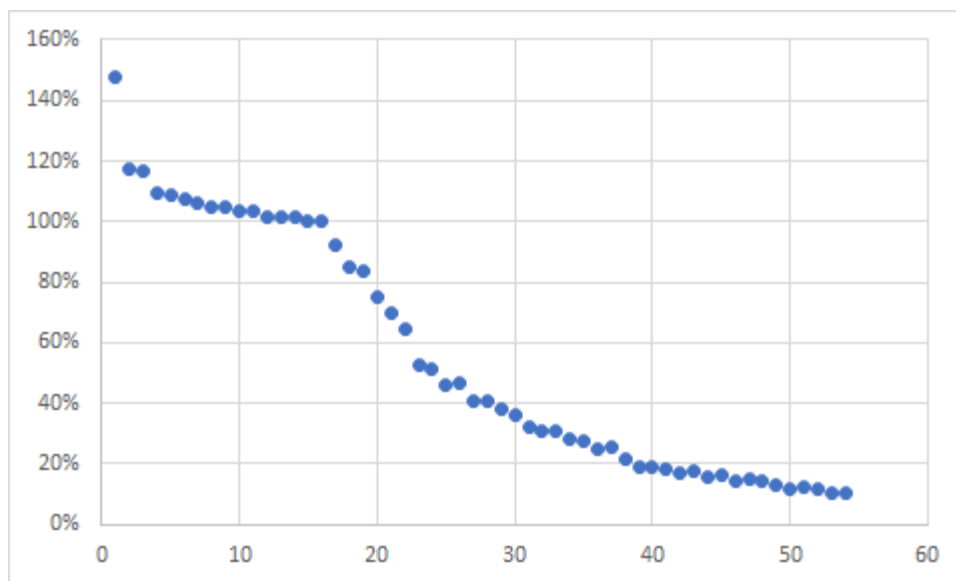


Figura 2. Porcentaje de Financiación Obtenida en los proyectos chilenos

La Figura 3 muestra los porcentajes de financiación obtenida (PFO) del conjunto de proyectos chilenos. Los valores de PFO van desde 10% hasta un 148%. La mayoría de los proyectos (30) tiene un PFO en un rango entre 0 y 50%, la otra proporción mayor es de un 30% de los proyectos con un PFO mayor al 100% y en menor proporción se encuentran aquellos que tienen un PFO entre el 51% y el 99.99%. En general la mayor parte de los proyectos no exitosos. Esta información coincide con la mediana del PFO para la muestra fue de 41%.

En la plataforma de crowdfunding estudiada, se encontraron 54 proyectos, de los cuales 16 proyectos son exitosos lo que corresponde al 30%, 38 proyectos que representan el 70% son no exitosos. Dentro de los no exitosos se encuentran algunos que lograron cierto financiamiento pero no llegaron a la meta por lo que se le identifica como no exitosos parcialmente financiados.

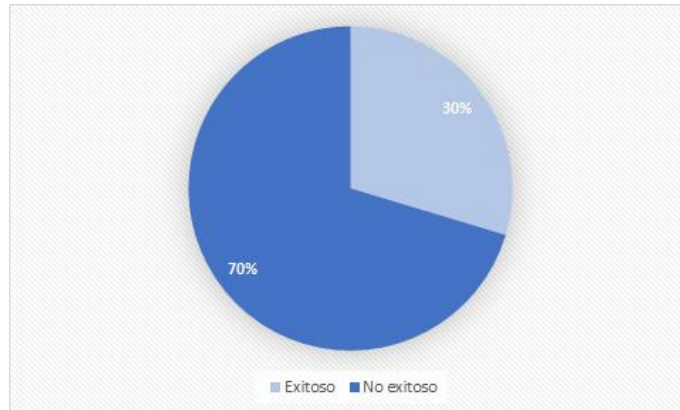


Figura 3. Tipo de Proyectos en Chile

Respecto al número de donantes se obtuvo una moda de 17 y 19, es decir, que este es el número de donantes que más se repite entre los proyectos estudiados. En general, la mayoría (76%) de los proyectos obtuvo un número de donantes menor o igual a 50. En la Figura 5 se presentan los valores de esta variable.

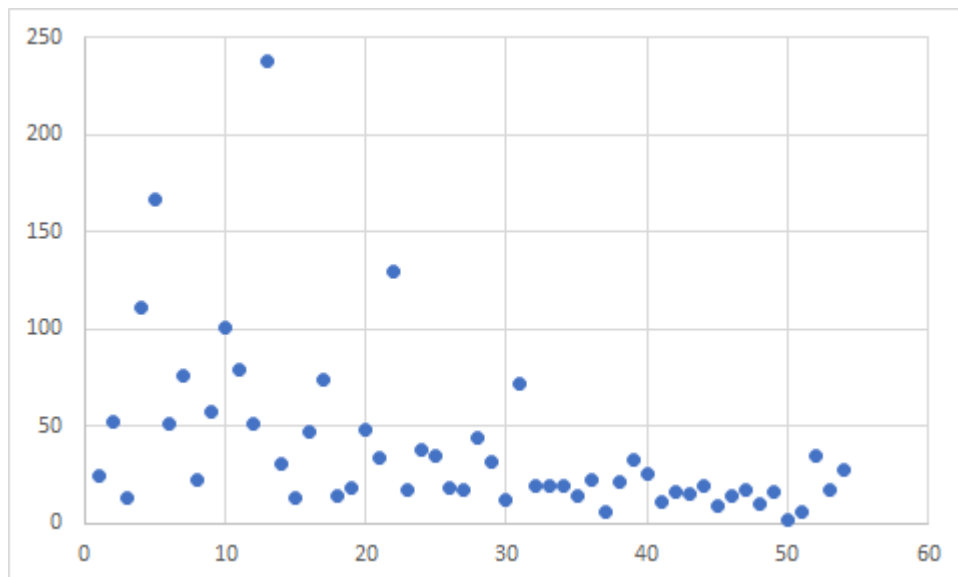


Figura 4. Número de donantes en los proyectos chilenos

### El fenómeno del Crowdfunding no financiero en Colombia

En el país se estudiaron 95 proyectos cuyas metas de dinero sumaban \$99,336 USD. La meta promedio por proyecto era de \$1046 USD, la mediana era \$557 USD y la moda \$500 USD. La Figura 6 representa la dispersión en los valores de las metas individuales de los proyectos de la muestra.

El valor máximo de las metas fue de \$7850 USD y el valor mínimo de las metas fue de \$167 USD. Al dividirse el grupo en 2 rangos se obtuvo que 76 proyectos (80%) esperaban metas menores a \$1,000USD y que el restante 20% (19 proyectos) tenían metas mayores a \$1,000 USD. La sumatoria de los dineros recaudados de los proyectos de la plataforma Little Big Money fue de \$70,444 USD. Comparando el valor total del recaudo con el de la meta se obtiene que el dinero que logran captar los creadores representa el 70.91%. El número de proyectos en la plataforma es 95, por lo tanto, la cantidad promedio de dinero recaudado por proyecto es de \$741.51 USD.

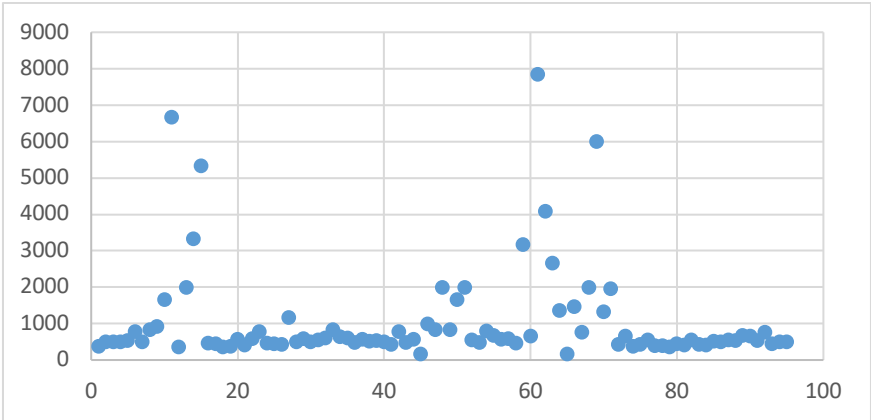


Figura 5. Meta de Financiación en USD para proyectos en Colombia

Los porcentajes de financiación se analizaron en cuatro rangos: 1) 0% a 25% con 14 proyectos de la muestra, 2) 100% a 125% con 76 proyectos, 3) 125% a 150% con 9 proyectos y solamente 2 proyectos con 150%. La Figura 7 muestra los porcentajes de financiación obtenida (PFO) del conjunto de proyectos colombianos.

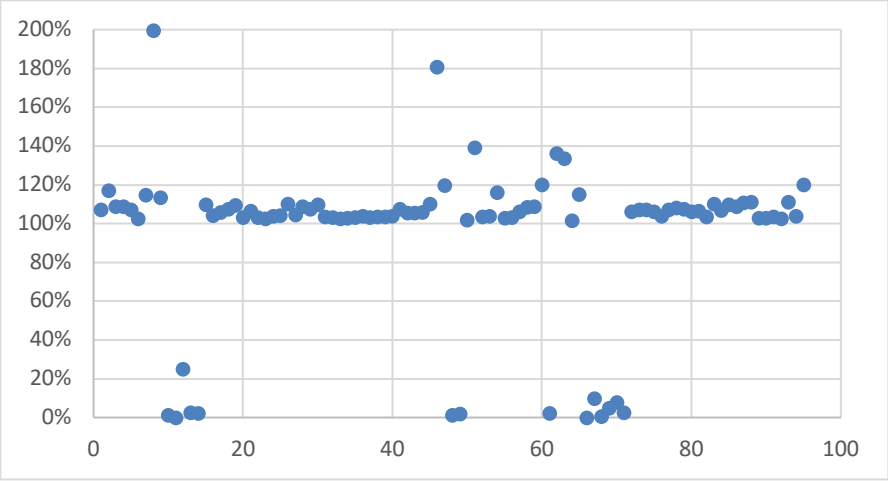


Figura 6. Porcentaje de Financiación Obtenida en los proyectos colombianos

Del gráfico anterior se deduce que la mayoría de los proyectos se encuentran en el rango de más de 100%, esto indica que en la muestra la mayor parte de los proyectos son exitosos. Específicamente se encontraron 81 proyectos exitosos lo que corresponde al 85.26% y solamente 14 proyectos no exitosos que representan el 14.74%. Dentro de los no exitosos se encuentran algunos que lograron cierto financiamiento, pero no llegaron a la meta por lo que se le identifica como no exitosos parcialmente financiados.

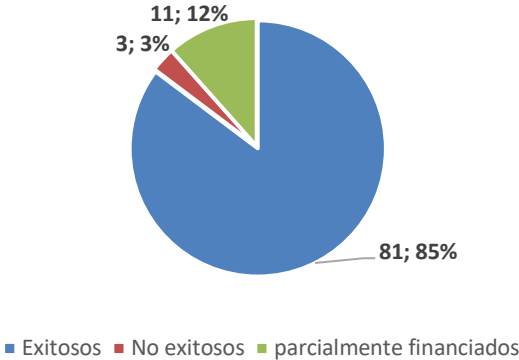


Figura 7. Tipo de Proyectos en Colombia

Respecto al número de donantes se obtuvo una moda de 12, es decir, éste es el número de donantes que más se repite entre los proyectos estudiados. En general, la mayoría de los proyectos muestra un valor mayor o menor a dicha cantidad de donantes. En la Figura 9 se grafican los valores de esta variable para cada proyecto.

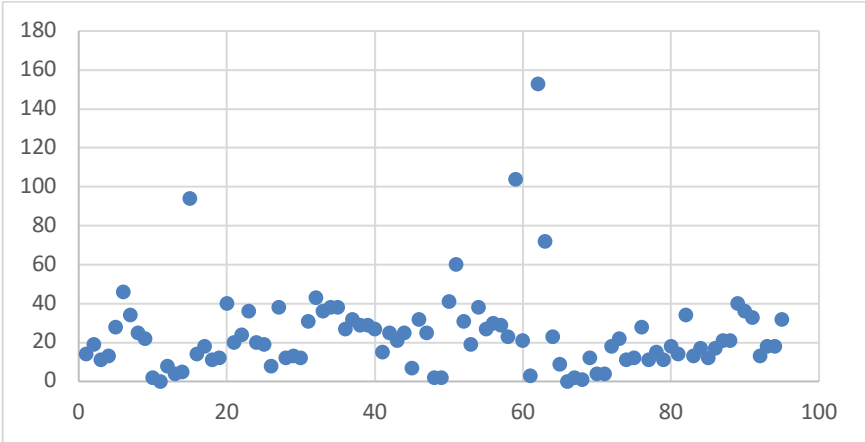


Figura 8. Número de donantes en los proyectos colombianos

## El fenómeno del Crowdfunding no financiero en México

En el país se estudiaron 80 proyectos en total en la plataforma seleccionada cuyas metas de dinero para la financiación mediante crowdfunding sumaron \$46.784USD. El promedio dio \$585USD por proyecto pero la media y la moda obtenidas fueron de \$259USD. La Figura 10 representa la dispersión en los valores de las metas individuales de los proyectos de la muestra.

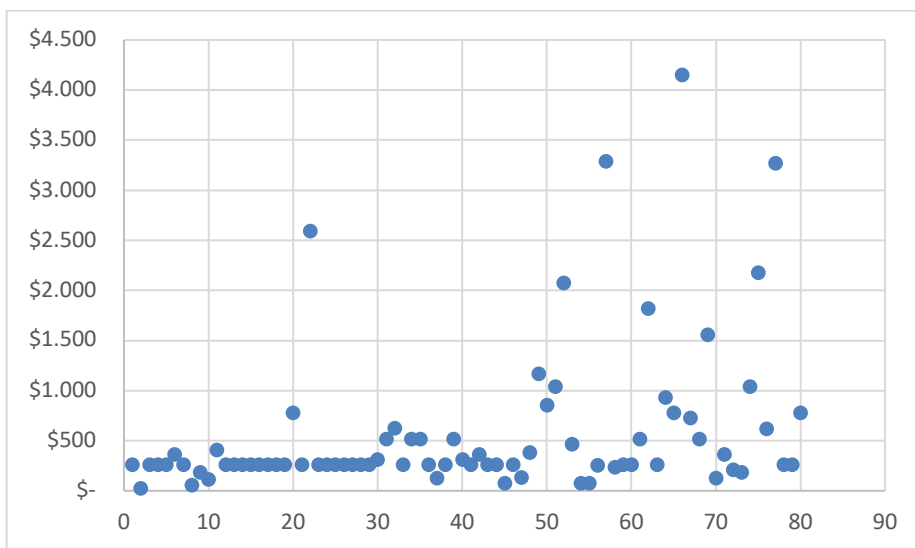


Figura 9. Meta de Financiación en USD para proyectos en México

El valor máximo de las metas fue de \$4,152 USD y el valor mínimo de las metas fue de \$26 USD. Al dividirse el grupo en 4 rangos se obtuvo que 69 proyectos (86.25%) esperaban metas entre los \$26USD y \$1,000USD, 5 proyectos entre \$1,000 USD y \$2,000 USD y 3 proyectos en el rango de \$2,000 USD a \$3,000 USD y de más \$3,000 respectivamente. De lo anterior se puede deducir que la mayoría de los proyectos tienen metas bajas.

La sumatoria de los dineros recaudados de los proyectos de la plataforma es de \$52.272USD. Comparando el valor total del recaudo con el de la meta se obtiene que el dinero que logran captar los creadores representa el 111.73%. El número de proyectos en la plataforma es 80, por lo tanto, la cantidad promedio de dinero recaudado por proyecto es de \$653USD.

Los porcentajes de financiación se analizaron en cuatro rangos: 1) 0% a 50% con 10 proyectos de la muestra, 2) 51% a 99% con 19 proyectos, 3) 100% a 140% con 43 proyectos

y solamente 8 proyectos con un PFO mayor al 140%. La Figura 7 muestra los porcentajes de financiación obtenida (PFO) del conjunto de proyectos mexicanos. De lo anterior se observa que la mayoría de los proyectos se encuentran en el rango de 100% a 140%, esto indica que todos estos proyectos son exitosos. Esta información coincide con la moda y mediana que para la muestra fue de 80.

Para la plataforma de crowdfunding estudiada, se encontraron 80 proyectos, de los cuales 51 proyectos son exitosos lo que corresponde al 63.75%, 29 proyectos que representan el 36.25% son no exitosos. Dentro de los no exitosos se encuentran algunos que lograron cierto financiamiento, pero no llegaron a la meta por lo que se le identifica como no exitosos parcialmente financiados.

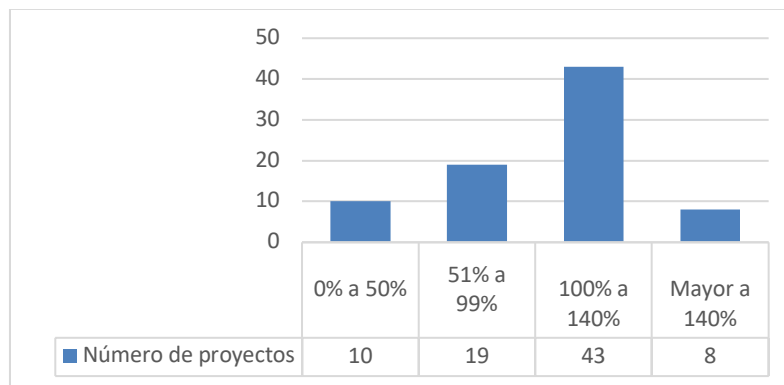


Figura 10. Rangos según PFO en los proyectos mexicanos

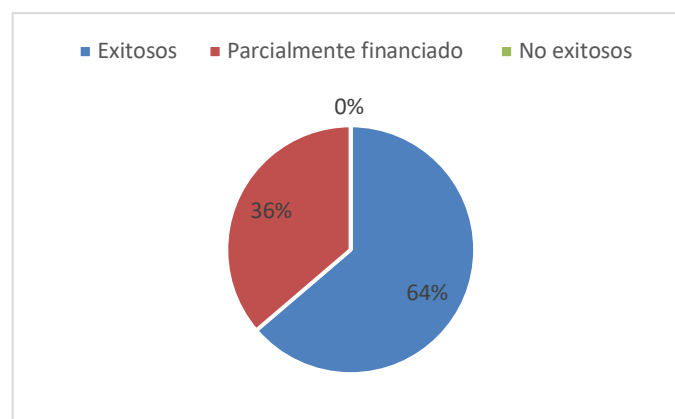


Figura 11. Tipos de Proyectos en México

Respecto al número de donantes se obtuvo una moda de 6, es decir, que éste es el número que más se repite en los proyectos. En general, la mayoría de los proyectos muestra

un valor mayor o menor a dicha cantidad de donantes. En la Figura 13 se grafican los valores de esta variable para cada proyecto.

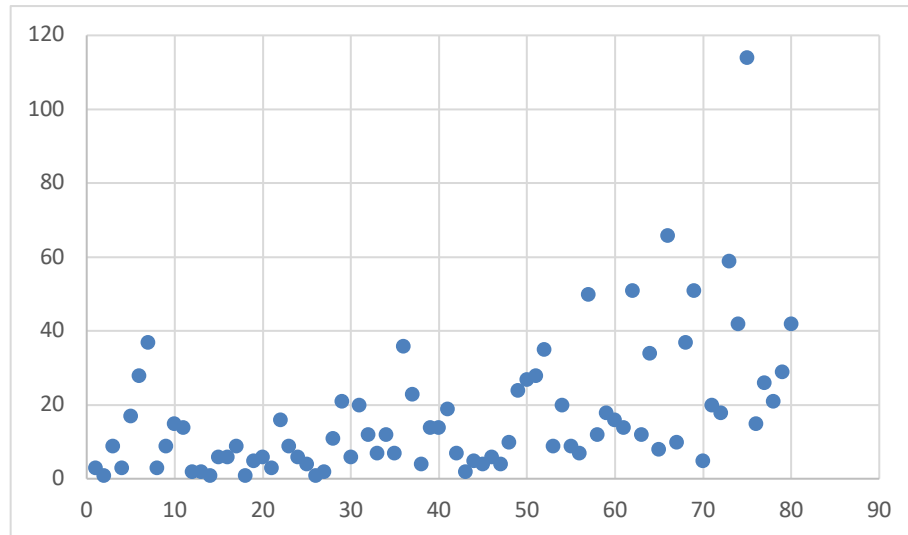


Figura 12. Número de donantes en los proyectos mexicanos

Un segundo producto de la investigación fue el análisis comparativo entre los tres países estudiados a partir de las variables medidas enfocado en cómo se presentan las mismas en el conjunto de proyectos por cada economía. Este análisis corresponde al objetivo de la investigación de caracterizar el fenómeno del crowdfunding no financiero en las economías emergentes a partir de los elementos comunes y diferenciadores de los proyectos que buscaron este tipo de financiación en una economía emergente.

### **El Crowdfunding no financiero en economías emergentes: Meta de Financiación**

Los resultados obtenidos por la investigación permiten establecer las metas de financiación como el primer elemento diferenciador. En la Figura 14 se puede apreciar la sumatoria total de las metas de financiación de los proyectos por país.



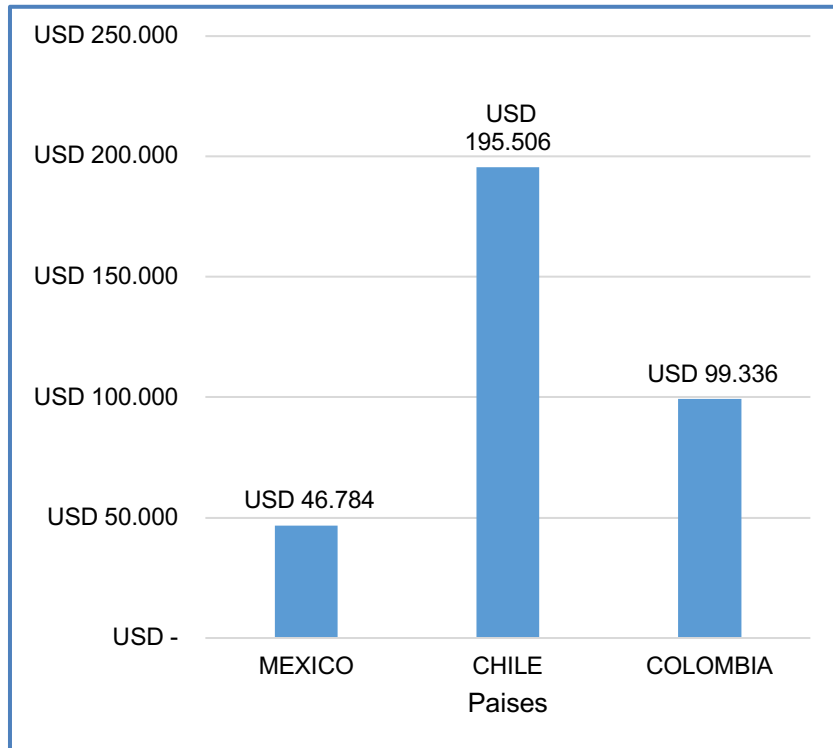


Figura 13. Meta de financiación de los proyectos por país

Se puede evidenciar que Chile tiene mayores aspiraciones económicas de los proyectos. Ésta economía sobresale con una alta meta de financiación, obteniendo la mayor de los tres países.

En la Figura 15 se muestra una gráfica comparativa de las variables meta de financiación y dinero recaudado. A partir de la gráfica se puede apreciar la diferencia entre las variables. Chile tiene la meta de financiación más alta pero obtiene la menor tasa de captación en comparación con los otros países. Colombia tiene una tasa de captación del 71%, es decir más del 50% de los proyectos alcanzaron su meta de financiación. Por último México tiene la meta de financiación más baja pero obtuvo una captación del 112% esto quiere decir que sobrepasó su meta de financiación.

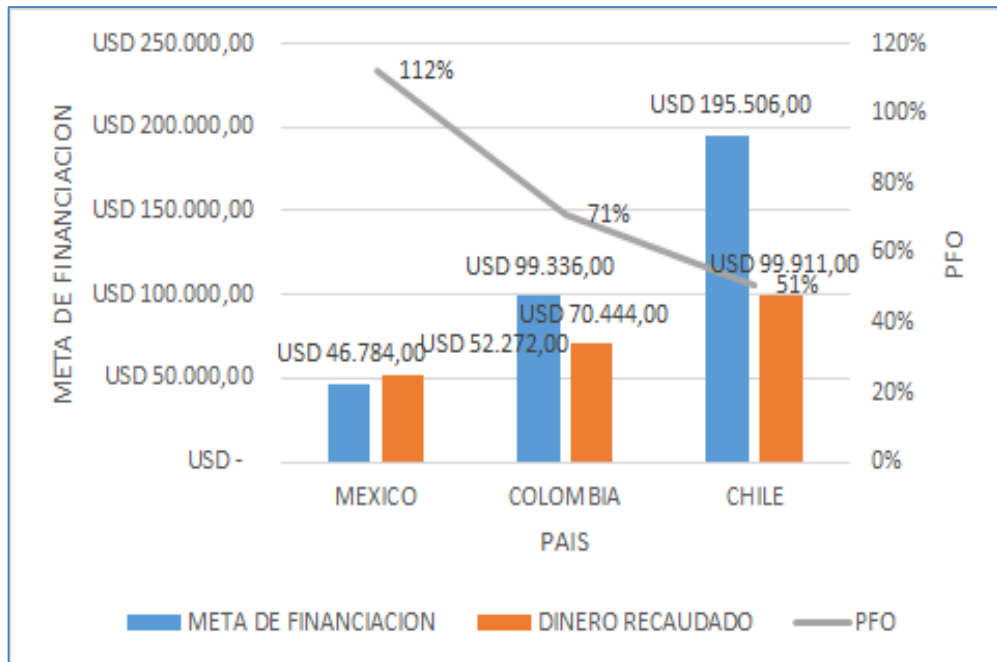


Figura 14. Meta de Financiación Vs Dinero Recaudado Fuente: Elaboración propia

La Figura 16 muestra el total de proyectos de la muestra dividido en cuatro rangos de Porcentaje de financiación obtenido. Colombia domina con el mayor número de proyectos con un PFO en el rango de 100% a 150%. Siendo además este grupo el de mayor número de proyectos en la muestra. México lidera el grupo de proyectos con PFO de más de 150% y Chile el de PFO entre 0% y 50%. En consecuencia, se anticipa que Chile es el país que de la muestra tendrá mayor número de proyectos no exitosos.

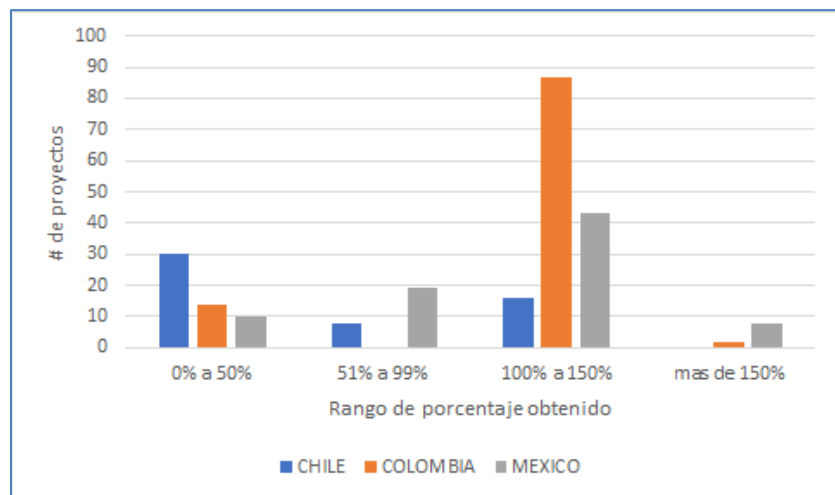


Figura 15. Número de Proyectos vs Rango de Porcentaje obtenido

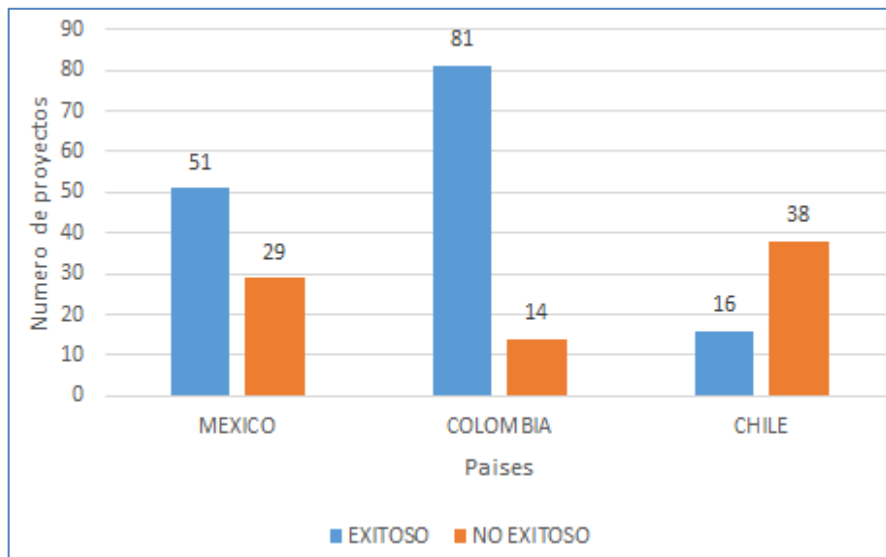


Figura 16. Tipo de proyecto

Chile obtiene la mayor tasa de fracaso que se estimó en 70%. Para México este valor es de 14.74% siendo el menor y para Colombia es de 26.75% siendo el intermedio de la muestra.

Por último, el número de donantes global es mayor en Colombia, seguido muy de cerca por Chile. En Chile el número de donantes más común está entre 17 y 19, para México es cercano a los 6 y en Colombia a los 12 (Figura 18).

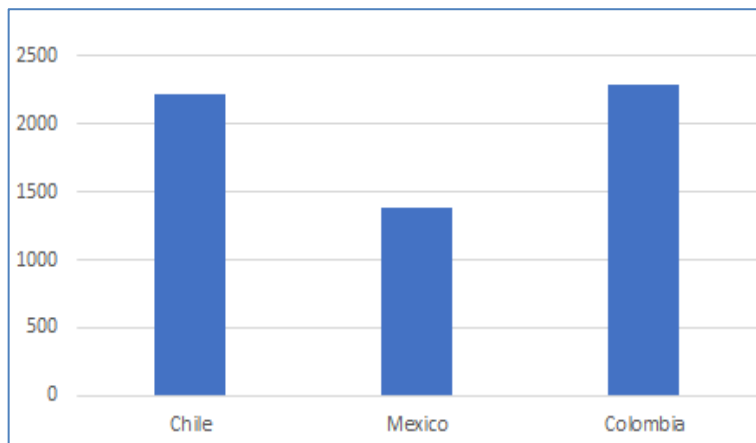


Figura 17. Número de donantes de los proyectos por país

## *Conclusiones*

El objetivo al desarrollar la presente investigación fue el análisis del crowdfunding no financiero en Chile, México y Colombia a partir de las características individuales de los proyectos que permitieran establecer aspectos comunes y elementos diferenciadores entre países. De esta manera el fin último fue profundizar en el conocimiento que se tiene de dicho fenómeno en las economías emergentes y de los proyectos que en ellas buscan este tipo de financiación. Partiendo que el crowdfunding constituye un tema reciente y poco estudiado en Latinoamérica y que la investigación cuantitativa del crowdfunding surgió con el auge de las plataformas en línea de amplia popularidad a nivel mundial, se reconoce que existe un vacío en la literatura respecto a los mercados emergentes latinoamericanos, los cuales no han sido abarcados ampliamente en la literatura. En el caso del crowdfunding no financiero, la generación de un volumen de datos derivado de su utilización por parte de creadores y financiadores, impulsó el estudio de esta práctica.

En primer lugar se estableció como objetivo identificar características y factores utilizados en la literatura para el análisis del crowdfunding no financiero para determinar las variables de estudio. Se identificó un grupo de más de 20 aspectos, de los cuales se encontraron comunes o repetitivos en 8 en promedio y 5 de ellos se tomaron como variables de estudio de esta investigación. Estos elementos fueron: la meta de financiación, el dinero recaudado, el porcentaje de financiación obtenido, el tipo de proyecto y el número de donantes.

De la revisión de literatura se podía anticipar conclusiones sobre éstos elementos. Un objetivo de financiación realista es importante y aunque no determina la participación puede favorecer el desarrollo de la campaña en el sentido del cumplimiento de los objetivos en los plazos estimados (González y Conca, 2016). Lo anterior sin olvidar que el crowdfunding no solo permite obtener dinero sino que también tiene una función comercial (Huarcaya, Pozo y Vílchez, 2016). Respecto a los donantes Conca Pardo (2016) establece que una campaña no logrará el éxito si no ha trabajado previamente una comunidad que sustente el proyecto e identifica como necesario contar con un núcleo inicial de familiares, amigos y arriesgados que en el periodo inicial de la campaña impulsen el proyecto con una financiación superior al 20% del total estimado como objetivo. Siendo necesario además tomar en cuenta las diferencias entre las distintas comunidades de usuarios de crowdfunding (Rovira-Collado y Conca Pardo, 2018). A partir de lo anterior el aporte principal de esta investigación se centró en caracterizar y lograr un perfil de los proyectos de crowdfunding no financiero en economías emergentes.

El perfil obtenido por esta investigación plantea que los proyectos aspiran a metas de financiación que van desde los 500 USD hasta los 6000 USD. Y en función del valor de la meta es la cantidad de dinero recaudado. A menor meta el PFO ese aumenta de 50% al 150%. Es decir, que los proyectos con metas más bajas son exitosos ya que cuando la meta es mayor se va a requerir un aporte promedio mayor por donante lo cual afecta las posibilidades de éxito del proyecto. El número de donantes promedio que debe obtener un proyecto es de 13 y que este número se incrementa según el valor de la meta.

Cabe resaltar que el perfil obtenido a partir de los factores estudiados no es concluyente debido a que la presente investigación es exploratoria. El aporte presentado tiene como fin dar un primer acercamiento al conocimiento del crowdfunding que contribuya a las futuras investigaciones del mismo tema en los contextos emergentes. Se pretende que esta investigación sea de utilidad para investigaciones futuras de temas relacionados al crowdfunding y/o campañas de crowdfunding en Latinoamérica.

## **Referencias**

- Abarca, I. (2018). *Desarrollo del crowdfunding en Chile. Documentos de Trabajo, Banco Central de Chile.*
- Agrawal, A. K., Catalini, C., & Goldfarb, A. (2011). *The geography of crowdfunding. National Bureau of Economic Research No. w16820.*
- Aleman, L., & Bultó, I. (2014). *Crowdfunding: nueva forma de financiación para los emprendedores. Harvard Deusto business review, (237), 6-19.*
- Banco Interamericano de Desarrollo (2017). *Fintech: Innovaciones que no sabías que eran de América Latina y Caribe. BID y Finnovista.*
- Bounchen, R., M. Komorek, y S. Kraus (2015). *Crowdfunding: The Current State Of Research. International Business & Economics Research Journal. Vol. 14, No. 3.*
- Butticè, Vincenzo & Colombo, Massimo & Wright, Mike. (2017). *Serial Crowdfunding, Social Capital, and Project Success. Entrepreneurship Theory and Practice. 10.1111/etap.12271.*
- Cacuri Melhem, D. (2014). *El crowdfunding y sus múltiples formas. Austral Comunicación, 3(1), 23-31.*
- Conca Pardo, J. E. (2016) *Elementos comunicativos para una exitosa campaña de crowdfunding. Tesis de Grado, Universidad de Alicante, España.*
- Cordova, A., Dolci, J., & Gianfrate, G. (2015). *The determinants of crowdfunding success: evidence from technology projects. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 181, 115-124.*
- Frydrych, D., Bock, A., Kinder, T. & Koeck, B. (2014) *Exploring entrepreneurial legitimacy in reward-based crowdfunding. Venture Capital, 16:3, 247-269.*

- González, Z.F., y Conca, J. A. (2016). *Identificación de los elementos clave para conseguir el éxito en una campaña de Crowdfunding en España*. Miguel Hernández Communication Journal, N°7, páginas 373 a 395. Universidad Miguel Hernández, UMH (Elche-Alicante), España.
- Giudici, G., Guerini, M., & Rossi-Lamastra, C. (2013). *Why crowdfunding projects can succeed: The role of proponents' individual and territorial social capital*. SSRN Working Paper No. 2255944.
- Huarcaya, F. G.; Pozo, H. S.; y Vílchez, K. I. (2016). *Factores que influyen en el financiamiento de proyectos culturales a través de campañas exitosas de crowdfunding*. Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Jiménez, C.; y Valeta, K. (2016). *El fenómeno del Crowdfunding en Colombia*. Tesis de Pregado, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla – Colombia.
- Joenssen, D. W., Michaelis, A., & Müllerleile, T. (2014). *A link to new product preannouncement: Success factors in crowdfunding*. Disponible en <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2476841>
- Koch, J. A. y Siering, M. (2015). *Crowdfunding Success Factors: The Characteristics of Successfully Funded Projects on Crowdfunding Platforms*. Conference: European Conference on Information Systems (ECIS 2015), Münster, Germany.
- Kuppuswamy, V. and Bayus, B.L. (2013) *Crowdfunding Creative Ideas: The Dynamics of Project Backers in Kickstarter*. SSRN Electronic Journal, 5, 1-37.
- Mollick, E. (2014). *The dynamics of crowdfunding: An exploratory study*. Journal of Business Venturing, 16.
- Montalvo, L.; y Arrieta, L. (2017). *Factores determinantes del éxito en el financiamiento mediante crowdfunding en México*. Tesis de Pregado, UAC Barranquilla – Colombia.
- OECD/CAF/UN ECLAC (2016). *Perspectivas económicas de América Latina 2017: Juventud, competencias y emprendimiento*, OECD Publishing, Paris.
- Olarte-Pascual, C.; Sierra Murillo, Y. y Ortega, C. (2016) *El papel de la comunicación en el crowdfunding: un caso de éxito cool*. Icono Volumen 14 (2) Páginas 280-303.
- Oviedo Zabala, J. A. (2019). *Factores determinantes del éxito en el financiamiento de proyectos empresariales mediante crowdfunding en Chile*. Tesis de Pregado, UAC Colombia.
- Rao H., Xu A., Yang X., Fu WT. (2014) *Emerging Dynamics in Crowdfunding Campaigns*. Social Computing, Behavioral-Cultural Modeling and Prediction. SBP 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8393. Springer.
- Rentería, C. (2016). *Las Plataformas de Crowdfunding en América Latina*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. IDRC Canadá.
- Rovira-Collado, J.; Conca-Pardo, J. A. (2018). *El crowdfunding en la narración gráfica en España: estudio de casos*. Revista Mediterránea de Comunicación Pags 387-403.
- Saxton, G. D., & Wang, L. (2014). *The social network effect: The determinants of giving through social media*. Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly, 43(5), 850-868.
- Schwab, K. (2019). *The Global Competitiveness report 2019*. World Economic Forum. Suiza.

# 14

## ***El financiamiento de las PYMEs en México a través del Crowdfunding Financiero: un caso de estudio***

### ***Financing of SMEs in Mexico through Financial Crowdfunding: a case study***

Daniela Campos Avendaño<sup>1</sup>, Patricia Márquez Rodríguez<sup>2</sup>, Deyanira Bernal Domínguez<sup>3</sup>, Vera Santiago Martínez<sup>4</sup>

#### ***Resumen***

Diversos factores obstaculizan el desarrollo óptimo de las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMEs), no obstante, el acceso a financiamiento es comúnmente el principal obstáculo al que se enfrentan. En ese sentido, el crowdfunding o financiamiento colectivo representa una alternativa inclusiva para fondar y desarrollar a la pequeña y mediana

---

<sup>1</sup>Candidata a Maestra en Administración Estratégica con Énfasis en Gestión y Reingeniería Financiera, Universidad Autónoma de Sinaloa, [daniela.campos@fca.uas.edu.mx](mailto:daniela.campos@fca.uas.edu.mx).

<sup>2</sup>Doctora en Integración de Tecnologías de Información en las Organizaciones, Profesora e investigadora de la Escuela de Negocios Universidad del Norte, [patriciarodriguez@uninorte.edu.co](mailto:patriciarodriguez@uninorte.edu.co).

<sup>3</sup> Doctora en Ciencias Sociales. Profesora e investigadora Facultad de Contaduría y Administración Universidad Autónoma de Sinaloa. [deyanirabernaldominguez@gmail.com](mailto:deyanirabernaldominguez@gmail.com).

<sup>4</sup> Doctora en Desarrollo Empresarial y Gerencial. Profesora e investigadora del Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Autónoma del Caribe, [vera.santiago@uac.edu.co](mailto:vera.santiago@uac.edu.co).

empresa mexicana diversificando los instrumentos de financiamiento y emergiendo como alternativa para quienes han sido incapaces de obtenerlo mediante los medios tradicionales.

El Crowdfunding Financiero presenta un modelo de funcionamiento donde los financiadores actúan como inversionistas logrando beneficios monetarios a cambio de financiar proyectos, ya sea en forma de intereses, acciones o utilidades. Específicamente, el crowdfunding de deuda conecta a personas o empresas con necesidad de financiamiento con otras dispuestas a aportarlo mediante una tasa de interés y el desarrollo de carteras atractivas para ambos. Este modelo de préstamos en crowdfunding, a menudo conocido como peer-to-business (P2B) o peer-to-peer (P2P) crowdfunding, recauda dinero con la expectativa de que los fundadores del proyecto pagarán esta deuda a los financiadores. De esta forma, las PYMEs obtienen créditos con tasas atractivas y los inversionistas obtienen el pago total del monto prestado más el interés previamente acordado.

Derivado de la problemática del acceso a financiamiento mediante la banca tradicional, esta investigación tiene por objetivo general caracterizar a las PYMEs que han utilizado el crowdfunding de deuda como alternativa para financiarse. Entre los objetivos específicos, se encuentra determinar la ubicación geográfica, antigüedad, giro y afiliación de las empresas; así como el destino, plazo, clasificación de riesgo y tasa de interés de los préstamos otorgados a estas PYMEs.

Para dicho análisis, se seleccionó PitchBull, una plataforma de crowdfunding de deuda enfocada a préstamos empresariales en México, donde el 50 por ciento del total de plataformas en operación en el país corresponden a dicho modelo de deuda. A través del método cuantitativo, se analizó una muestra de 115 PYMEs en un periodo de 2015 a 2017. Lo anterior, con el propósito de ampliar el conocimiento con respecto a las nuevas tecnologías y su impacto en las soluciones de financiamiento para las PYMEs. Los hallazgos del estudio permiten definir el perfil de aquellas empresas que optan por estas alternativas de financiamiento. Este perfil muestra, entre otras características, PYMEs pertenecientes al sector servicios, afiliadas a una asociación u organización empresarial y que opta por créditos específicamente para capital de trabajo a plazos de 12 y 24 meses.

**Palabras clave:** *Crowdfunding financiero, Crowdfunding de deuda, PYMEs, Nuevas Tecnologías Financieras, FINTECH*

## ***Abstract***

*Various factors hinder the optimal development of Small and Medium Enterprises (SMEs), however, access to financing is commonly the main obstacle they face. In this sense, crowdfunding, or collective financing represents an inclusive alternative to fund and develop Mexican small and medium-sized businesses, diversifying financing instruments and*



*emerging as an alternative for those who have been unable to obtain it through traditional means.*

*Financial Crowdfunding presents a functioning model where the funders act as investors, obtaining monetary benefits in exchange for financing projects, whether in the form of interest, shares or profits. Specifically, debt crowdfunding connects people or companies in need of financing with others willing to provide it through an interest rate and the development of attractive portfolios for both. This crowdfunding loan model, often known as peer-to-business (P2B) or peer-to-peer (P2P) crowdfunding, raises money with the expectation that the founders of the project will pay this debt to funders. In this way, SMEs obtain loans with attractive rates and investors obtain full payment of the amount borrowed plus the previously agreed interest.*

*Derived from the problem of access to financing through traditional banking, this research has the general objective of characterizing SMEs that have used debt crowdfunding as an alternative to finance themselves. Among the specific objectives is to determine the geographical location, age, line of business and affiliation of the companies; as well as the destination, term, risk classification and interest rate of the loans granted to these SMEs.*

*For this analysis, PitchBull was selected, a debt crowdfunding platform focused on business loans in Mexico, where 50 percent of the total platforms in operation in the country correspond to said debt model. Through the quantitative method, a sample of 115 SMEs was analyzed in a period from 2015 to 2017. The above, with the purpose of expanding knowledge regarding new technologies and their impact on financing solutions for SMEs. The study's findings allow defining the profile of those companies that opt for these financing alternatives. This profile shows, among other characteristics, SMEs belonging to the service sector, affiliated to an association or business organization and that select for loans specifically for working capital with terms of 12 and 24 months.*

***Keywords:*** *Financial crowdfunding, Debt crowdfunding, SMEs, New Financial Technologies, FINTECH*

## ***Introducción***

Hasta hace algún tiempo, cualquier persona que necesitaba recursos para la realización de un proyecto, ya sea de índole cultural, social o con fines de lucro, se veía limitado por las ofertas existentes en el mercado financiero tradicional. Hoy en día, la expansión del crowdfunding, a través de sus distintos modelos, representa una nueva alternativa para recaudar capital, fomentar la inclusión financiera y reducir la brecha de financiamiento. A raíz de la proliferación del internet y el surgimiento de las redes sociales

en conjunto con la crisis financiera de 2008, se desencadenó la evolución del crowdfunding (Bruton, Khavul, Siegel y Wright, 2015), logrando recaudar a nivel mundial \$34.4 billones de dólares al cierre de 2015 (Massolution, 2015).

El crowdfunding ha surgido como una forma novedosa de recaudar capital para una gran variedad de proyectos y, dado su rápido crecimiento y aplicabilidad, ha conseguido atraer la atención de empresarios, académicos y autoridades gubernamentales. No obstante, a pesar de la creciente atención por parte de distintas entidades, los mecanismos y la dinámica general del crowdfunding siguen sin comprenderse (Mollick, 2014; Griffin, 2012). En un inicio, este mercado tenía un carácter más altruista por su uso para fines filantrópicos. Hoy en día, el crowdfunding es un campo emergente en la creación de nuevas alternativas de financiamiento que ayuden a las PyMEs a obtener recursos (Sharma y Lertmiwa, 2016). De manera general, el crowdfunding es un mercado emergente que se divide en cuatro modelos de financiamiento: donación, recompensa, deuda y equidad. Aunado a esto, la naturaleza del crowdfunding puede ser de carácter financiero y no financiero con base en la retribución que ofrezca a sus financiadores (Crowdfunding México, 2017).

Para Martínez-Climent, Zorio-Grima y Ribeiro-Soriano (2018), el crowdfunding financiero representa una materialización de la evolución del financiamiento empresarial que permite captar fondos de una multitud de inversores a través de plataformas en línea. No obstante, los autores señalan que el concepto de crowdfunding no es reciente, pero su uso como instrumento financiero sí es relativamente nuevo. El crowdfunding ha tomado protagonismo como una nueva opción de financiamiento externo que facilita a las empresas obtener fondos en etapas tempranas (Hope y Vyas, 2017). Los modelos de deuda y equidad son formas de financiación basadas en el mercado que se conocen colectivamente como crowdfunding de rendimiento financiero (Kirby y Worner 2014).

La reciente proliferación del crowdfunding de rendimiento financiero como una nueva opción de financiación externa para empresas justifica la relevancia de examinar las características de los préstamos y de las empresas que han utilizado estas plataformas. En ese sentido, esta investigación tiene por propósito estudiar como las PYMEs han accedido a financiamiento a través de plataformas de crowdfunding. Particularmente, pretende proporcionar una perspectiva más amplia sobre aquellas empresas que han adquirido préstamos mediante esta vía, con la finalidad de analizar el impacto de las nuevas tecnologías en la democratización del acceso al crédito para las empresas menos privilegiadas. Es decir, con esta investigación se espera ampliar el conocimiento en cuanto a si el crowdfunding representa una alternativa viable de financiamiento.

## *Marco teórico*

### **¿Qué es Crowdfunding?**

El crowdfunding se inspira en la fusión de los conceptos de microfinanzas y crowdsourcing (Belleflamme, Lambert y Schwienbacher, 2014). El primero hace referencia al otorgamiento de microcréditos a emprendedores y pequeñas empresas que carecen de acceso a la banca u otras fuentes tradicionales de financiamiento (Morduch, 1999). Mientras que el crowdsourcing, utilizado por primera vez en un artículo de Jeff Howe en la revista Wired (2006), consiste en la tercerización de la fase de generación de ideas a una población potencialmente grande y desconocida, conocida como la “multitud”, en la forma de una llamada abierta. Es decir, se involucra a la multitud para la obtención de ideas, retroalimentación, y soluciones para la actividad empresarial (Poetz y Schreier, 2012). El término de crowdfunding se conforma por la adición de la multitud “crowd” con el financiamiento “funding”. En términos simples, es un método que involucra el recurrir a un gran número de personas para la obtención de recursos.

El crowdfunding es un mercado emergente de capitalización para distintos proyectos, desde con fines de lucro hasta causas sociales, tecnológicos, artes escénicas, bienes raíces y música (Paschen, 2017). Dada su expansión, resulta difícil encontrar una definición homogénea que comprenda todas sus variantes. Belleflamme et al. (2014) lo definen como “una llamada abierta, sobre todo a través del internet, para la provisión de recursos financieros en forma de donación o a cambio de un producto futuro o alguna forma de recompensa para apoyar iniciativas con fines específicos” (p.588). Por otra parte, Ahlers, Cumming, Günther y Schweizer (2015) lo describen como un término paraguas que involucra pequeñas aportaciones de un número de individuos, a través de internet, para la obtención de recursos monetarios destinados a un proyecto en particular.

Así mismo, Mollick (2014: 2) señala que “en cualquier campo emergente, las concepciones populares y académicas del crowdfunding se encuentran en un estado de flujo evolutivo que hace que definiciones completas arbitrariamente limiten”. Es decir, es difícil encontrar una definición que englobe toda su dinámica. Schwienbacher y Larralde (2010) lo definen como la solicitud de recursos financieros, en forma de donación, recompensa y/o derechos de voto, a través de una llamada abierta en una página de internet. No obstante, esta definición deja fuera las modalidades de inversión.

Desde una perspectiva empresarial, el crowdfunding se define como “los esfuerzos de individuos y grupos para financiar sus proyectos –culturales, sociales y con fines de lucro– recurriendo a contribuciones relativamente pequeñas de un número relativamente grande de personas que usan internet, sin intermediarios financieros estándar” (Mollick, 2014: 2). De manera general, el crowdfunding es una llamada abierta para proporcionar recursos financieros a través de plataformas que vinculen a solicitantes de financiamiento con financiadores (Belleflamme, Omrani y Peitz, 2015).

### **Modelos de crowdfunding**

A través de una llamada abierta por medio de internet, las plataformas de crowdfunding conectan a individuos o empresas con necesidad de financiamiento con individuos o empresas dispuestos a financiarlos. Paschen (2017) señala que así como las necesidades de financiamiento varían, el crowdfunding varía según el tipo de recompensa ofrecida a sus participantes. En ese sentido, Belleflamme et al. (2015: 12) sostienen que:

*“El crowdfunding viene en una variedad de actividades de recaudación de fondos y lo que se ofrece a cambio de los fondos. Esto atrae a diferentes tipos de participantes. Es útil distinguir entre plataformas basadas en inversión, basadas en recompensas y basadas en donaciones”.*

En adición, los autores señalan que las plataformas basadas en inversión operan bajo los modelos de equidad, regalías y deuda. Este tipo de plataformas pueden verse como un instrumento de inversión financiera, utilizadas comúnmente para financiar startups y PyMEs, puesto que ofrecen un beneficio monetario a cambio de su participación. En las plataformas basadas en recompensas se obtienen recompensas no monetarias, un producto, por ejemplo; y en las basadas en donación, no se ofrece retribución alguna (Belleflamme et al., 2015).

Rentería (2016), por otra parte, identifica cuatro esquemas de financiamiento en esta industria emergente: donaciones, inversión por recompensas, préstamos sobre tasas de interés e inversión en acciones. Aunado a esto, el proyecto Crowdfunding México (2017) establece que pueden ser de naturaleza financiera o no financiera. Y, a su vez, clasifica las plataformas de crowdfunding en cuatro modelos, como se muestra en la Tabla 1.

En el modelo basado en donación, se aporta una cantidad a una iniciativa o proyecto sin recibir ningún tipo de recompensa. Las iniciativas bajo este esquema suelen estar más ligadas con el apoyo a causas humanitarias y proyectos creativos (Belleflamme et al., 2015). En términos simples, los fondos recibidos son básicamente un donativo para una causa, donde el fondeador no espera retribución alguna (Paschen, 2017).

Tabla 1. Características del crowdfunding por modelo

Modelo	Donación	Recompensa	Deuda	Capital
Regulado	No	No	Si	Sí
Retorno financiero	No	No	Si	Si
Recompensa	Sin recompensa	Recompensas tangibles o experiencias	Reembolso del capital o interés	Copropiedad o capital con potencial futuro
Usos	Patrocinio / Caridad	Ideas creativas / pre-ordenar	Emisores con clientes / Flujo de efectivo	Compañías con potencial

Fuente: Reporte Nacional de Inclusión Financiera 9, 2018 (p. 102)

En el modelo de recompensa, se busca atraer al financiador a través de un esquema de incentivos no monetarios en forma de reconocimientos, experiencias, asistir a eventos especiales, conocer a los creadores, entre otros (Paschen, 2017). A su vez, funciona como mecanismo de preventa de un producto, donde el interés del financiador no radica en la obtención de un rendimiento financiero, sino en la adquisición de un bien futuro (Belleflamme et al., 2015).

De acuerdo con Crowdfunding México (2017: 19), “el modelo de deuda facilita la relación entre solicitantes de préstamos y aportantes de financiamiento a través del establecimiento de tasas de crédito y del desarrollo de carteras atractivas para ambos”. También conocido como peer-to-business (P2B) o peer-to-peer (P2P), recauda dinero de los inversionistas a cambio de un rendimiento financiero, mismo que se deberá de pagar en forma de interés (Paschen, 2017).

En el modelo de crowdfunding de capital, también conocido como de equidad, las empresas obtienen capital a cambio de ceder una participación accionaria de la empresa. Es la categoría de mayor crecimiento y el valor promedio de las campañas suele ser más elevado (Ahlers et al., 2015). Dicho modelo se considera en conjunto con el modelo de regalías, su diferencia radica en que en este ofrece una fracción de los ingresos o ganancias futuras (Belleflamme et al., 2015).

### **Crowdfunding: Antecedentes investigativos**

La naciente literatura sobre crowdfunding se ha enfocado a explicar diversas áreas; sin embargo, dado que es una industria que evoluciona exponencialmente, aún queda mucho por explorar. En 2014, Mollick presenta uno de los artículos de mayor peso en este tema y

desarrolla las bases sobre la naturaleza del crowdfunding y su papel en la investigación empresarial, sus vínculos con las teorías existentes, los efectos de nuevas formas de recaudar fondos, y los factores de éxito o fracaso de un proyecto. Mediante un estudio empírico exploratorio, el autor encontró que los proyectos generalmente tienen éxito por pequeños márgenes y fallan por grandes, que las señales de calidad se asocian con una mayor probabilidad de éxito, y que la geografía también se relaciona con las tasas de éxito de los proyectos.

Así mismo, Agrawal, Catalini y Goldfarb (2014) presentan las principales características económicas de las plataformas de crowdfunding, incluyendo los actores (emprendedores, financiadores, plataformas), y los incentivos y desincentivos que enfrenta cada uno en términos de atracción de capital por medio de crowdfunding en relación con otras fuentes de financiamiento tradicionales. Dicho documento es un estudio exploratorio de la economía subyacente del crowdfunding y plantea hasta qué punto la teoría económica explica el aumento del crowdfunding y ofrece un marco para especular sobre cómo se puede desarrollar el crowdfunding basado en la equidad.

Por otra parte, Belleflamme, Lambert y Schwienbacher (2013) investigaron las características de las prácticas individuales de crowdfunding y los impulsores de una recaudación de fondos exitosa. En este contexto, las prácticas individuales de crowdfunding hacen referencia a iniciativas que no utilizaron una plataforma de crowdfunding establecida para recaudar capital. Los autores encontraron que en el 91% de los casos, los crowdfunders reciben beneficios no financieros o financieros en respuesta a su contribución (solo una fracción limitada está basada en donaciones). También, sostienen que proyectos sin fines de lucro tienden a ser más exitosos al alcanzar su meta de financiación; que la práctica individual de crowdfunding es una forma de desarrollar actividades de emprendimiento a través de la recaudación de capital; que tales iniciativas individuales generan en promedio pequeñas cantidades de capital comparado a otras fuentes de financiamiento; y que el crowdfunding permite a emprendedores atraer la atención hacia su proyecto.

Un año después, Belleflamme et al. (2014) publican un nuevo artículo donde proponen un modelo teórico sobre las razones detrás de la elección entre un modelo de crowdfunding u otro. A través de un análisis comparativo entre el modelo de preordenamiento y el de reparto de utilidades, los autores plantean que los financiadores o crowdfunders disfrutan de beneficios adicionales sobre los consumidores regulares y que la naturaleza de estos beneficios depende del modelo seleccionado. En ese sentido, la diferencia entre los beneficios adicionales resulta fundamental para la selección del modelo. De igual

manera, señalan que entre menor sea el requisito de capital inicial, mayor será la predilección por el modelo de pre-ordenamiento, y viceversa.

Burtch, Ghose y Wattal (2013) señalan la importancia de entender el comportamiento de los crowdfunders. Por ello, exploran la aplicabilidad de modelos económicos de refuerzo y de sustitución para intentar explicar los patrones de contribución. Los autores encontraron evidencia de un efecto de sustitución, el cual sugiere que el crowdfunder tiende a disminuir la cantidad de su contribución si observa una mayor frecuencia de otros financiadores. Es decir, entre más cerca se esté de recaudar el monto deseado, menor será la contribución destinada. Asimismo, sugieren que el altruismo es un incentivo clave para participar en este mercado y comprueban el vínculo entre los esfuerzos de marketing y el éxito de los proyectos.

Siguiendo la investigación del comportamiento del crowdfunder, Ahlers et al. (2015) utilizan la teoría de la señalización para examinar qué tipos de información llevan a un individuo a invertir entre un proyecto u otro en un sitio de crowdfunding de equidad; este el primer trabajo en abordar dicha teoría en tal contexto. Los inversionistas potenciales intentan evaluar las características de calidad al interpretar las señales enviadas y los atributos de una empresa y, por tal razón, los autores buscan determinar las de mayor influencia en este contexto. Los hallazgos sostienen que, el retener acciones y dar información más detallada sobre los riesgos se interpreta como una señal efectiva y causa un fuerte impacto en la probabilidad de éxito de los proyectos. Además, el capital social e intelectual tiene un impacto bajo o nulo.

Por su parte, Colombo, Franzoni y Rossi-Lamastra (2015) investigan la existencia de patrones de auto-refuerzo donde las contribuciones recibidas en los primeros días de una campaña de crowdfunding incrementan su probabilidad de éxito. Mediante un análisis econométrico sobre una muestra de 669 proyectos en Kickstarter, sostienen que el capital social interno, desarrollado a través de la comunidad de crowdfunding, representa un aspecto crucial para el mecanismo de auto-refuerzo. Este documento extrae datos de una plataforma de crowdfunding basada en recompensas y se centra principalmente en los factores que influyen en el éxito de los proyectos.

En 2015, Agrawal, Catalini y Goldfarb abordan el papel de la distancia en una plataforma de crowdfunding que conecta a nuevos artistas musicales con individuos para financiar sus álbumes. En este trabajo se enfocaron en investigar las diferencias entre los patrones de inversión local y distante, así como la explicación a estas diferencias a través de un modelo econométrico. Los principales aportes de esta investigación son: las

contribuciones previas por otros financiadores incrementa la probabilidad de éxito del proyecto; los financiadores locales son más propensos a invertir durante los primeros \$20,000; y los patrones de inversión a través del tiempo no están fuertemente relacionados con la distancia geográfica entre el artista y el financiador después de aislar la red social offline del artista (amigos y familiares). Lo cual sugiere que el crowdfunding reduce ciertas fricciones asociadas con la distancia geográfica.

También, Lehner (2013) explora la literatura existente sobre el crowdfunding en un contexto de emprendimiento social. El autor destaca que desde el punto de vista académico es poco lo que se ha escrito sobre el crowdfunding en general y los trabajos relacionados a empresas sociales suelen basarse en el modelo basado en donaciones. El autor realiza una revisión del estado del arte referente al crowdfunding y su papel en la financiación de entidades sociales. Posteriormente, Lehner propone una agenda de investigación que comprende ocho temas: tipos y funciones de utilidad, gobierno corporativo, relación con inversores, informes y riesgo, reconocimiento de la oportunidad, networking, legitimidad, métricas financieras y restricciones regulatorias.

Finalmente, Bruton et al. (2015) buscan sentar las bases para entender las nuevas alternativas de financiamiento que la iniciativa empresarial tiene a disposición para comenzar o crecer sus negocios (microfinanzas, crowdfunding y préstamos peer-to-peer). Los autores destacan el rápido crecimiento de estas nuevas opciones y señalan que pocos estudios han indagado en los antecedentes y consecuencias de estos mecanismos de financiamiento. Bruton et al. examinan las repercusiones de estas alternativas en la iniciativa empresarial y proporcionan un marco para un enfoque sistemático en futuras investigaciones.

Tras analizar los artículos más citados sobre dicho tema, se puede deducir que las investigaciones referentes al crowdfunding se han centrado en explicar la dinámica del crowdfunding en general, sus participantes, sus distintos modelos y sus beneficios. También, han estudiado los factores que influyen para que una campaña de crowdfunding sea exitosa o no, que motiva a los individuos a participar y cómo explicar sus comportamientos con base en teorías económicas existentes. Además, se han analizado los mecanismos de decisión entre un modelo de crowdfund u otro, los beneficios adicionales de utilizar este método, y su papel como alternativa de financiamiento de start-ups y empresas.

### **Regulación del Crowdfunding en México**

El crowdfunding ha sido regulado en países como Reino Unido, España, Italia y Estados Unidos. En México, la Ley para regular las Instituciones de Tecnología Financiera,



mejor conocida como Ley Fintech, fue publicada el 09 de marzo de 2018 en el Diario Oficial de la Federación. La Ley Fintech tiene por objeto establecer un marco regulatorio para la prestación de servicios financieros a través de las instituciones de tecnología financiera, así como regular su organización, operación y funcionamiento.

En la tabla 1. se muestra que el modelo de donación y de recompensa son de naturaleza no financiera y no entran dentro del marco normativo de la Ley Fintech. Por el contrario, los esquemas de deuda, equidad y regalías pertenecen al crowdfunding de rendimiento financiero y están reguladas por la Ley para Regular las Instituciones de Tecnología Financiera.

Dicha Ley establece que la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV) es la autoridad encargada de otorgar autorización para que las Instituciones de Tecnología Financiera (ITF) puedan operar. Así mismo, reconoce dos tipos de instituciones: Fondos de Pago Electrónico (IFPE) y Financiamiento Colectivo (IFC). Se pueden realizar operaciones de deuda, de capital y de copropiedad o regalías a través de las Instituciones de Financiamiento Colectivo.

### **Contexto del Crowdfunding de deuda en Mexico**

A diciembre de 2016, Crowdfunding México tenía identificadas 27 plataformas nacionales y 4 internacionales, de las cuales 21 pertenecen a la Asociación de Plataformas de Fondeo Colectivo en México (AFICO). La tabla 2 muestra las plataformas de crowdfunding en el país clasificadas por modelo.

En México, el modelo de préstamos es el que comprende el mayor número de plataformas con un total de 12 plataformas nacionales y una internacional. Es decir, el 50 por ciento del total de plataformas en operación en el país corresponden al modelo de deuda, (ver tabla 2). Es necesario especificar que cada plataforma es distinta; pueden ofrecer desde préstamos personales y/o empresariales hasta arrendamiento financiero, e incluso factoraje financiero. Aunado a esto, los requisitos que piden a las personas o empresas que solicitan el crédito son diferentes, puesto que cada plataforma tiene su metodología particular, algunas más complejas que otras.

Tabla 2 Plataformas de crowdfunding en México

Modelo	Nacionales		Internacionales	
Deuda	Briq	Multicredi	Kubo Financiero	
	Doopla	Expansive	LaTasa	Kiva
	YoTePresto	Afluenta	FINV	
	Prestadero	Konsigue	Pitchbull	
Capital	Briq	Play Business	Crowdfunder	No identificadas
Donación	Donadora			HiGive
Recompensa	MiCochinito	Hagamos la	Kickstarter	Indiegogo
	Social Crowd	Vaca Fondeadora	Fondify	Ideame

Fuente: Reporte de inclusión financiera 8, 2017

El número de individuos o empresas que accedieron a financiamiento para sus proyectos en la modalidad de deuda o capital creció 38% entre 2015 y 2016, al pasar de 2,080 a 2,873. Este crecimiento estuvo fuertemente impulsado por Kubo, ya que más del 60% de crecimiento fue por iniciativas lanzadas en su plataforma. Durante 2016, se observó una alta concentración de iniciativas financiadas en pocas plataformas, ya que alrededor del 70% del total de iniciativas fueron fondeadas a través de la plataforma de Kubo Financiero, seguido de Prestadero con 16%, YoTePresto con 6% y LaTasa con 4%. La mayor parte de las personas que accedieron a financiamiento son jóvenes, toda vez que el 68% se encuentran en un rango de 18 a 29 años de edad.

Finalmente, el número de personas fondeando las iniciativas insertadas en las plataformas de crowdfunding creció en 41%, al pasar de 46 a 65 mil de 2015 a 2016. La mayor parte de los individuos se concentraron en Fondeadora, seguido por Prestadero, Pitchbull y YoTePresto.

### **PitchBull**

Este estudio busca analizar el crowdfunding como instrumento de financiación en las PYMEs mexicanas. Por tal motivo, se seleccionó en primera instancia el crowdfunding financiero, puesto que ofrece un valor monetario a los inversionistas que fondean las iniciativas de crowdfunding en forma de intereses, acciones o utilidades. En lo posterior, se delimitó al modelo de deuda, el cual opera de manera similar a los créditos bancarios tradicionales, ofreciendo un interés a cambio de prestar un monto a una persona o empresa.

La selección de este modelo de crowdfunding se sustenta en que el 50% de las plataformas de financiamiento colectivo en México operan bajo dicho esquema. Entre las principales plataformas de deuda en el país, se encuentran: Kubo Financiero, Konsgie, Prestadero, Afluenta, PitchBull y Doopla. Este trabajo se centra en la plataforma PitchBull, por ser la única especializada en préstamos empresariales para las PYMES mexicanas.

PitchBull es una plataforma digital que busca conectar inversionistas con PYMES mexicanas para impulsar el acceso a financiamiento, la profesionalización de estas y su expansión a nuevos mercados. La empresa comenzó operaciones en 2013, bajo el modelo de crowdfunding de deuda peer-to-business (P2B) y tiene su sede en la ciudad de Guadalajara, Jalisco. Su actual directora general es María Guadalupe Ángel Rubio y a la fecha ha recaudado alrededor de \$70 millones de pesos en préstamos a PYMES en varias entidades federativas.

Existen dos tipos de usuarios que pueden participar dentro de la plataforma:

- Solicitantes de crédito (PYMES): Empresas con interés en expandir su negocio y/o bajar su costo anual de financiamiento; pueden estar registradas como personas morales o físicas con actividad empresarial.
- Fondeadores (Inversionistas): Personas físicas o morales interesadas en invertir desde pequeñas cantidades y apoyar a empresas mexicanas que requieren financiamiento.

Tanto solicitantes de crédito como fondeadores deben registrarse y ser validados para poder participar en la plataforma de préstamos. La PYME solicitante del crédito debe registrarse en PitchBull y llenar la solicitud de préstamo en línea. Después, se le hará un análisis de riesgo donde se le asignará una tasa de interés anual, en dado caso que la solicitud sea aprobada; esta solicitud entra al mercado de préstamos por un período máximo de 21 días donde los fondeadores ofrecen montos a los préstamos de su elección. De esta forma, las PYMES obtienen créditos con tasas atractivas y los inversionistas obtienen el pago total del monto prestado más el interés previamente acordado.

Toda solicitud de préstamo es evaluada por analistas de crédito a través de un análisis riesgo que cubre cuatro áreas principales: capacidad de pago, nivel de endeudamiento, historial en buró de la empresa solicitante e historial en buró del aval de la empresa solicitante. Posterior a esta evaluación, se asigna una calificación de riesgo que define la tasa de interés al que los fondeadores podrán ofertar el monto deseado.

Tabla 3. Generalidades de los préstamos para el solicitante

Requisitos	Persona moral o persona física con actividad empresarial Al menos dos años de operación Facturar al menos \$1 millón de pesos anuales
Tipos de préstamo	Capital de trabajo: compra de inventarios, insumos para la producción, pagos de nóminas, pago a proveedores, gastos de fabricación, entre otros. Adquisición de activos fijos: maquinaria, equipo de transporte, equipo de oficina, equipo de cómputo, entre otros.
Montos	Desde \$65,000 hasta \$1,000,000 millón de pesos
Comisiones	Si la solicitud se fondea exitosamente, se cobra un 4% más IVA del monto del préstamo
Garantías	Pagaré firmado por un aval/deudor solidario, por lo general el representante legal de la empresa

Fuente: elaboración propia con datos de PitchBull

Para poder solicitar un crédito el usuario debe ser persona moral o persona física con actividad empresarial, tener al menos dos años de operación y facturar al menos \$1 millón de pesos anuales. El destino del préstamo puede ser para capital de trabajo o para adquisición de activos fijos en plazos de 6, 12 y 24 meses con montos desde \$65,000 hasta \$500,000 mil pesos, (ver tabla 3). Además, las empresas están obligadas a pagar una comisión a PitchBull del 4% más IVA y no pueden pedir más de un préstamo a la vez ni adelantar mensualidades. Por último, la solicitud tiene un máximo de 21 días para alcanzar al menos el 85% del fondeo del monto total, de lo contrario, se regresan los montos ofrecidos a los fondeadores.

## ***Metodología***

Acorde con el objetivo de este documento que pretende proporcionar una perspectiva más amplia de las empresas que están accediendo a financiamiento a través de plataformas de crowdfunding de deuda, se utilizaron datos extraídos de Pitchbull, un sitio de crowdfunding dedicado exclusivamente a fomentar el crecimiento y expansión de las PYMEs mexicanas mediante atractivos préstamos financiados por múltiples personas.

Se utilizó el universo de solicitudes de crédito desde el inicio de operaciones de la plataforma en 2015 hasta el cierre de 2017. Como resultado, se obtuvo un total de 115 créditos que representan un total de \$39,319,910 millones de pesos y 18,021 ofertas. Cabe destacar que se maneja en términos de “créditos” y no de “empresas”, puesto que una misma empresa puede realizar una nueva solicitud al finalizar su deuda anterior. De igual manera,

las “ofertas” no se manejan como “personas” porque estas pueden realizar una o más ofertas a un mismo crédito –mientras no excedan los límites establecidos.

Para el análisis de los datos, se utilizó el enfoque cuantitativo, puesto que se “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2014, p.4). En la tabla 4, se observa la información recolectada del sitio de Pitchbull para su posterior análisis mediante la estadística descriptiva.

Tabla 4. Datos de las solicitudes de crédito

Datos de la empresa	
Afiliación	Asociación, cámara empresarial, u otro organismo al que pertenece la empresa
Año de constitución	Antigüedad de la empresa
Giro mercantil	Actividad productiva que desarrolla la empresa
Sede / Ubicación	Localización geográfica de la empresa (matriz)
Datos del préstamo	
Monto	Cantidad solicitada por la empresa
Destino	Para que fin se solicitó el crédito
Plazo	# de meses a los que se otorgó un crédito
Clasificación de riesgo	Clasificación para medir la solvencia de la empresa y su probabilidad de incumplimiento
Tasa de interés	Costo por pedir un préstamo, expresado en un porcentaje del monto total del mismo
Campaña de fondeo	
Días de fondeo	# de días que tardó un crédito en fondearse
Total de ofertas	# de ofrecimientos que tuvo un crédito

## Resultados

Existen obstáculos para el acceso a financiamiento de las PYMEs y la banca tradicional no alcanza a solventar estos préstamos. Derivado de esta problemática, la presente investigación tiene por objetivo general caracterizar a las PYMEs que han utilizado el crowdfunding de deuda como alternativa para financiarse. Entre los objetivos específicos, se encuentra determinar la ubicación geográfica, antigüedad, giro y afiliación de las empresas; así como el destino, plazo, clasificación de riesgo y tasa de interés de los préstamos otorgados a estas PYMEs. Es decir, se pretende caracterizar a las PYMEs con base en las variables mencionadas anteriormente. A continuación, se realiza un análisis descriptivo de las características de las empresas que han captado recursos mediante esta vía y se presentan los principales hallazgos obtenidos:

### Ubicación geográfica

En cuanto a la localización de las PYMEs solicitantes, se distingue una distribución desigual donde el 65% de los préstamos han sido a empresas en Jalisco. Lo anterior, se explica puesto que es el estado sede de Pitchbull. En menor grado, se observa que el 18% de los préstamos son a empresas en Campeche, el 9% a empresas de Ciudad de México (antes Distrito Federal), y el restante 8% entre las demás entidades.

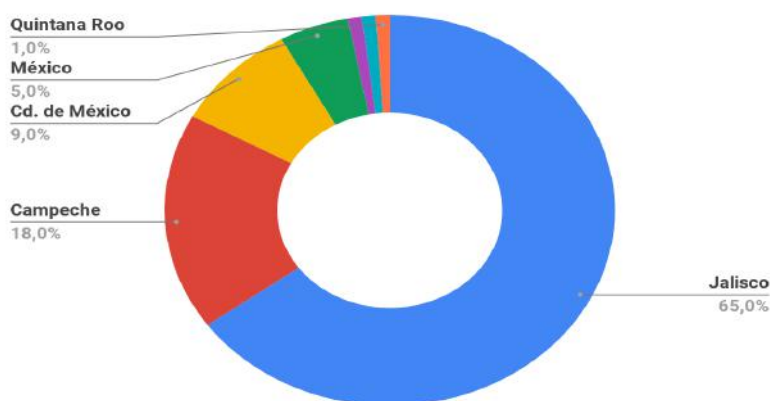


Figura 1. Empresas por ubicación geográfica

En total, la plataforma ha logrado tener presencia en 7 de las 32 entidades federativas al cierre de 2017, tal como se observa en la figura 1. La presencia de la plataforma en dichos estados no está relacionada al número de habitantes ni a su producto interno bruto, esta se

explica únicamente por las alianzas que ha establecido con otros organismos. Esta cuestión será abordada en un apartado más adelante.

### **Antigüedad**

Generalmente, el modelo de crowdfunding basado en deuda resulta una mejor opción para empresas con modelos de negocios que han comprobado ser rentables y tienen la capacidad de adquirir deuda (Paschen, 2017). Es decir, para la selección entre los distintos modelos de crowdfunding (financiero o no financiero) se debe considerar la etapa de madurez de la empresa. No todos los modelos son aptos para todas las empresas, debe existir una evaluación previa de las necesidades de financiamiento así como del contexto de la empresa.

En ese sentido, el rango de antigüedad de las PYMEs analizadas se sitúa entre 1982 y 2016, (ver figura 2). Se encontró que el 88% de las empresas tienen una antigüedad de 18 años o menos, entre las cuales el 49.1% se creó entre 2001 y 2010, y el 38.9% entre 2011 y 2016. Por tanto, se reafirma que las empresas que utilizan este modelo de crowdfunding no son de nueva creación y tampoco suelen tener más de 18 años de operación. De la muestra de 115 solicitudes, sólo dos empresas tenían un año de antigüedad y fueron aquellos créditos con las tasas de interés más altas.

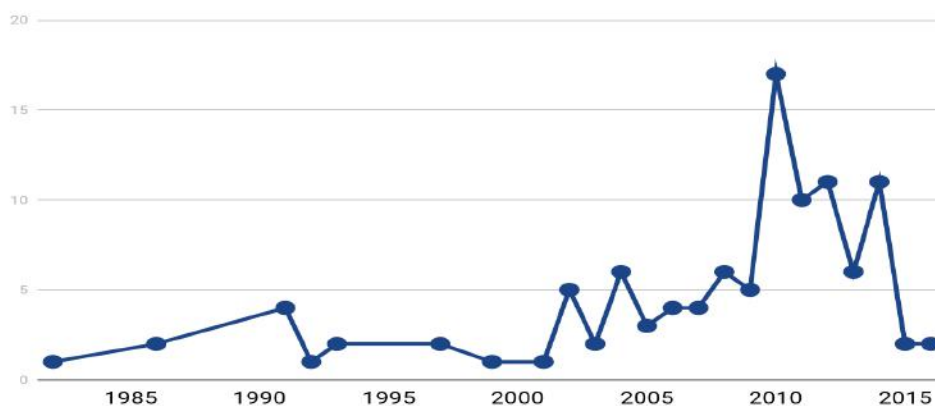


Figura 2. Empresas por año de constitución

### **Giro mercantil**

En cuanto al giro mercantil de las PYMEs solicitantes, se encontró una gran dispersión que dificulta agrupar los datos para su análisis. Por tal motivo, se optó por clasificarlos en los tres principales giros: comercial, industrial y de servicios.

Se encontró que el 54.8% de los créditos son al sector de servicios. Dentro de este giro, los negocios de servicios profesionales, científicos y técnicos representan el 44.4% y son los de mayor predominancia. Entre otros servicios, también destacan los de apoyo a los negocios, inmobiliarios, telecomunicaciones, transporte, médicos, y actividades bursátiles, cambiarias y de inversión.

En seguida, se encuentran las empresas del sector comercial con un 19.1% de los créditos. Las PYMEs de comercio al por mayor representan el 68.1% del total de empresas comerciales, el restante es a empresas al por menor. En tercer lugar, están las empresas industriales con un 18.3%, donde destacan las actividades de fabricación con el 57.1% y de industria alimentaria con el 23.8%.

Con lo anterior, se puede afirmar que al igual que los créditos bancarios son adquiridos por empresas de cualquier giro, este mismo hecho ocurre con los préstamos a través de crowdfunding de deuda. No van dirigidos a un sector en específico, a diferencia de plataformas de recompensa como Kickstarter, que tiene un sesgo más hacia iniciativas tecnológicas y creativas, o plataformas de equidad que se inclinan más hacia empresas emergentes.

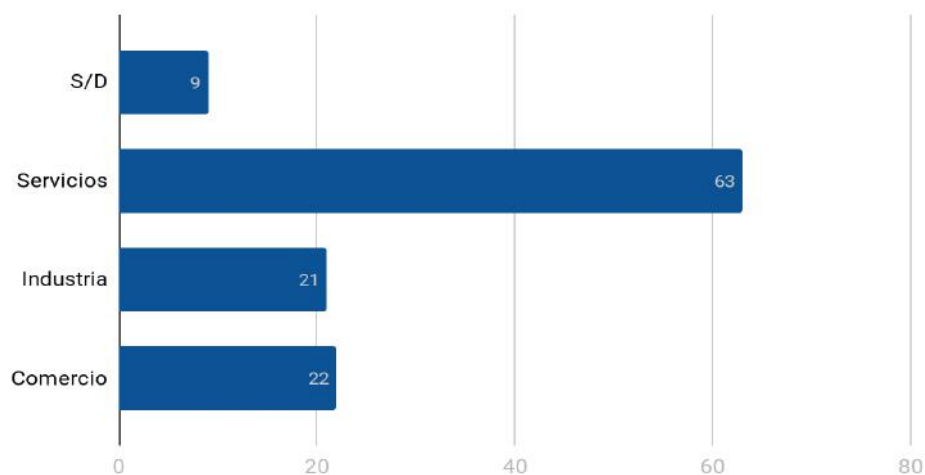


Figura 3. Empresas por giro

### Afiliación

La plataforma ha logrado su expansión nacional mediante alianzas estratégicas con distintos entes, desde cámaras empresariales hasta entidades de gobierno. Muestra de ello, es el hallazgo que el 67% de las PYMEs pertenece o está afiliado a una institución. Aunado a



esto, dichas PYMEs se encuentran distribuidas en un total de 13 asociaciones, cámaras empresariales u otras entidades. En la figura 3., se observa que la Cámara de Comercio de Guadalajara y BanCampeche son las más predominantes.

Gracias a esta información, es posible asumir que las PYMEs se inclinan más por este método de financiamiento al estar en contacto con otras empresas que han utilizado crowdfunding para financiar sus actividades. A su vez, dicha afiliación da mayor credibilidad a las empresas y resultan más atractivas para los inversionistas, puesto que indica un menor riesgo de impago.

Tabla 5. Empresas por afiliación

Asociaciones	Total
Asociación de Fabricantes de Muebles de Jalisco	3
Asociación de Sociedades Financieras de Objeto Múltiple	1
BanCampeche	21
Business Network International	3
Cámara de Comercio de Guadalajara	34
Cámara de la Industria Alimenticia de Jalisco	3
Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información	1
Centro de Competitividad de México	3
Cluster de Innovación y Nuevas Tecnologías	3
Endeavor	2
Sin afiliación	38
Pretmex	1
Proéxito	1
ProMéxico	1
<b>Total general</b>	<b>115</b>

## Destino y plazo

Pitchbull maneja dos destinos de créditos: adquisición de activo fijo y capital de trabajo. El 79% de las PYMEs solicita créditos para capital de trabajo, el restante 21% va para adquisición de activo fijo. En términos simples, 8 de cada 10 préstamos son para capital de trabajo.

Por otra parte, en cuanto a los plazos de los créditos, se encontró que el 61% son créditos a 24 meses y el 26% a 12 meses. También, los préstamos de capital de trabajo tienden a ser de corto plazo y son para compra de inventarios, gastos de operación, insumos para la producción, pago a proveedores u otros. Los más predominantes son para gastos de operación y compra de inventarios, con el 41% y 31% respectivamente.

Contrastando con los préstamos para capital de trabajo, aquellos para adquirir activo fijo –por su naturaleza– tienden a ser créditos con mayor plazo y mayor monto. Así mismo, estos pueden ser para compra de maquinaria, de equipo de oficina, transporte y de venta, u otros fines. La compra de maquinaria representa el 50% del total de préstamos para activo fijo, seguido del equipo de oficina con el 25%.

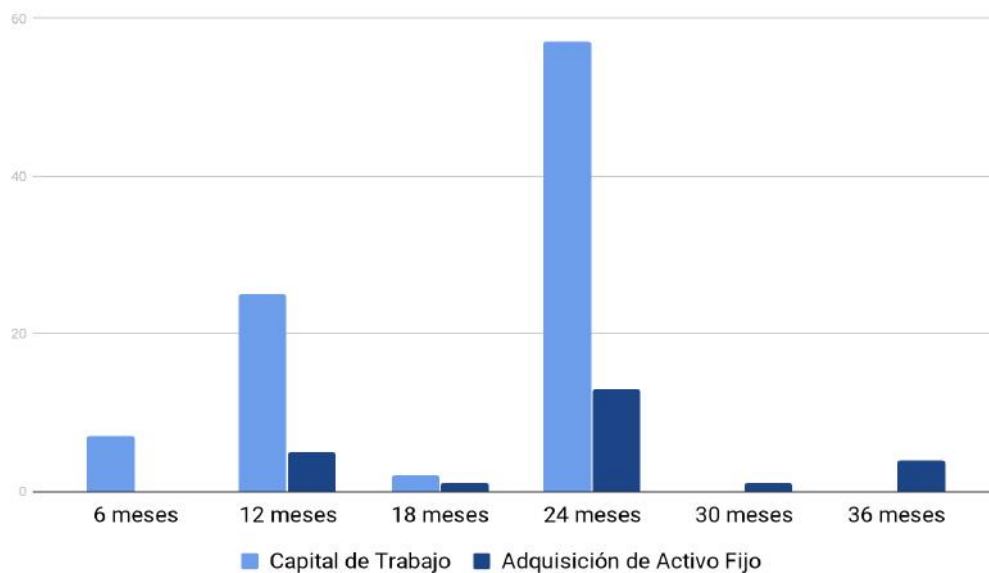


Figura 4. Distribución de los créditos por destino y plazo

### Estadísticos descriptivos

De la muestra de 115 créditos, el monto mínimo solicitado fue de \$65,000 pesos y el máximo de \$750,000 pesos. El número de días de fondeo fue desde 1 hasta 48 días y el rango de ofertas por solicitud fue de mínimo 29 y máximo 348. Además, el monto más solicitado por las PYMEs fue de \$500,000 pesos. Por otra parte, se encontró que un préstamo de \$341,912 pesos tarda 14 días en fondearse y recibe 157 ofertas, con un valor promedio de \$2,177.8 pesos por oferta.

Además, de las 115 solicitudes de crédito se identificó que 101 empresas han solicitado financiamiento una única vez, mientras que 7 empresas han solicitado 2 créditos. Ninguna empresa solicitó más de dos créditos a través de esta plataforma, considerando el periodo de análisis.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos

Rango	Monto	Días	Ofertas
Media	341,912	14	157
Mediana	300,000	15	156
Moda	500,000	1	133
Mínimo	65,000	1	29
Máximo	750,000	48	348
N Válido	115	115	115

### Clasificación de riesgo y tasa de interés

La plataforma realiza un análisis de riesgo de cada solicitud de crédito, asigna una tasa de interés para el préstamo, la cual va en función de la calificación asignada, siendo A1 la mejor y C1 la peor (la tasa de interés será mayor entre peor sea la calificación).

En la figura 6, se observa que el 45% de las solicitudes tienen una calificación B1, seguido del A2 con 28% y del B2 con 19%. De 2015 a 2017, únicamente dos empresas fueron asignadas con una calificación de C1, puesto que eran empresas con tan solo un año de operación (2016). En promedio, las tasas de interés van desde el 9.23% hasta el 18%. La tasa de interés mínima fue de 8% para un crédito A1 y la máxima para un C1.

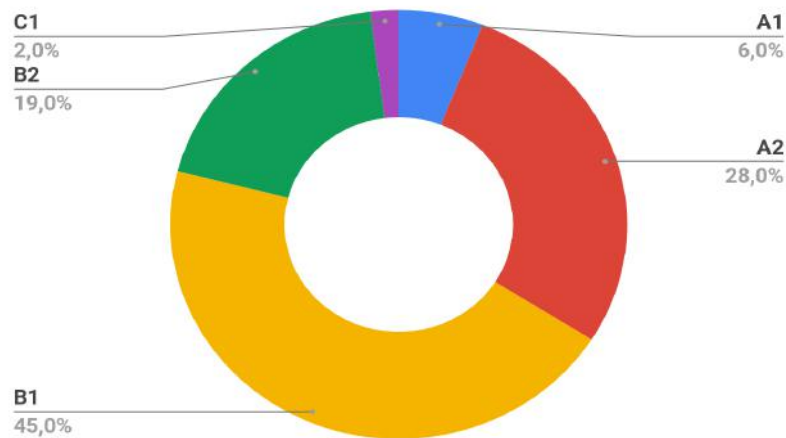


Figura 6. Solicitudes de crédito por calificación de riesgo

## ***Discusión y conclusiones***

La dificultad para acceder a financiamiento es un obstáculo recurrente en las pequeñas y medianas empresas, lo cual les impide financiar su crecimiento y acceder a nuevas oportunidades de negocio. El crowdfunding comenzó como un mecanismo de recaudación de fondos para causas filantrópicas. No obstante, a medida que ganó popularidad, emergió como una nueva opción para financiar otro tipo de proyectos, desde sociales, culturales hasta empresariales.

Hoy en día, son más las plataformas que funcionan como un instrumento financiero para las empresas. La modalidad de crowdfunding basado en deuda es una variación a los préstamos bancarios tradicionales, donde la retribución se representa en forma de interés. En este estudio, se analizaron 115 préstamos a PYMEs mexicanas que fueron financiados por múltiples inversionistas a cambio de un interés, con la finalidad de examinar qué tipo de empresas son las que están accedando a estos créditos y para qué fines.

En este objetivo, se caracterizó a las empresas que han adquirido financiamiento a través de estas plataformas, se encontró que el 88% de las empresas tienen 18 años o menos de haberse constituido, el monto promedio de los préstamos es de \$341,912, tarda 14 días en fondearse con 157 ofertas, con un valor promedio de \$2,178 pesos por oferta. Aunado a esto, el 67% de las empresas está afiliado a una asociación u organización, pertenece al sector de servicios y opta por créditos para capital de trabajo a plazos de 12 y 24 meses.

Los resultados no se pueden generalizar a otras plataformas que operan bajo un esquema de deuda. Esto se debe a que PitchBull es la única que maneja préstamos a PYMEs específicamente, otras utilizan el factoraje financiero, o una combinación entre préstamos personales y empresariales.

## **Referencias**

- Agrawal, A., Catalini, C., Goldfarb, A. (2014). *Some simple economics of crowdfunding. Innovation Policy and the Economy*, 14(1), 63-97.
- Agrawal, A., Catalini, C., Goldfarb, A. (2015). *Crowdfunding: Geography, Social Networks, and the Timing of Investment Decisions. Journal of Economics and Management Strategy*, 24(2), 253-274.
- Ahlers, G. K., Cumming, D., Günther, C., y Schweizer, D. (2015). *Signaling in equity crowdfunding. Entrepreneurship theory and practice*, 39(4), 955-980.
- Allison, T.H., Davis, B.C., Short, J.C., Webb, J.W. (2015). *Crowdfunding in a prosocial microlending environment: Examining the role of intrinsic versus extrinsic cues. Entrepreneurship: Theory and Practice*, 39(1), 53-73.
- Asociación de Plataformas de Fondeo Colectivo. *Plataformas asociadas*. Consultado el 13 de marzo de 2019, desde <http://www.afico.org/sello.html>
- Belleflamme, P., Lambert, T., Schwienbacher, A. (2013). *Individual crowdfunding practices. Venture Capital*, 15(4), 313-333
- Belleflamme, P., Lambert, T., Schwienbacher, A. (2014). *Crowdfunding: Tapping the right crowd. Journal of Business Venturing*, 29(5), 585-609.
- Belleflamme, P., Omrani, N., y Peitz, M. (2015). *The economics of crowdfunding platforms. Information Economics and Policy*, 33, 11-28.
- Bruton, G., Khavul, S., Siegel, D., Wright, M. (2015). *New financial alternatives in seeding entrepreneurship: Microfinance, crowdfunding, and peer-to-peer innovations. Entrepreneurship: Theory and Practice*, 39(1), 9-26.
- Burtch, G., Ghose, A., Wattal, S. (2013). *An empirical examination of the antecedents and consequences of contribution patterns in crowd-funded markets. Information Systems Research*, 24(3), 499 – 519.
- CNBV (2016). *Reporte de Inclusión Financiera 7*. Consultado el 01 de marzo de 2019, desde <https://www.gob.mx/cnbv/acciones-y-programas/divulgacion-de-inclusion-financiera-26625>
- CNBV (2017). *Reporte de Inclusión Financiera 8*. Consultado el 01 de marzo de 2019, desde <https://www.gob.mx/cnbv/acciones-y-programas/divulgacion-de-inclusion-financiera-26625>

- CNBV (2018). *Reporte de Inclusión Financiera 9*. Consultado el 01 de marzo de 2019, desde <https://www.gob.mx/cnbv/acciones-y-programas/divulgacion-de-inclusion-financiera-26625>
- Colombo, M.G., Franzoni, C., Rossi-Lamastra, C. (2015). *Internal social capital and the attraction of early contributions in crowdfunding*. *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 39(1), 75-100.
- Crowdfunding México. (2017). *Evolución del Ecosistema de Crowdfunding en México*. Consultado el 10 de marzo de 2019, desde <http://www.crowdfundingmexico.mx/Disposiciones-de-carácter-general-aplicables-a-las-Instituciones-de-Tecnología-Financiera>. Publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 10 de septiembre de 2018.
- Griffin, Z. (2012). *Crowdfunding: Fleecing the American Masses*. *Journal of Law, Tehcnology & the Internet*, 4(2), 375-410.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. y Baptista-Lucio, P. *Metodología de la Investigación* (6 ed.). México: McGraw-Hill.
- Hope, O. K., y Vyas, D. (2017). *Private company finance and financial reporting*. *Accounting and Business Research*, 47(5), 506–537.<sup>[1]</sup><sub>[SEP]</sub>
- Kirby, E., y Worner, S. (2014). *Crowd-funding: An infant industry growing fast*. Madrid: IOSCO.
- Lehner, O.M. (2013) *Crowdfunding social ventures: a model and research agenda*. *Venture Capital*, 15(4), 289-311.
- Ley para Regular las Instituciones de Tecnología Financiera*. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 09 de marzo de 2018.
- Martínez-Climent, C. Zorio-Grima, A., y Ribeiro-Soriano, D. (2018). *Financial return crowdfunding: literature review and bibliometric analysis*. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 14, 527-553.
- Massolution (2015). *The Crowdfunding Industry Report 2015*. Estados Unidos.
- Mollick, E. (2014). *The dynamics of crowdfunding: An exploratory study*. *Journal of Business Venturing*, 29(1), 1-16.
- Morduch, J. (1999). *The microfinance promise*. *Journal of Economic Literature*, 37, 1569–1614.
- Paschen, J. (2017). *Choose wisely: Crowdfunding through the stages of the startup life cycle*. *Business Horizons*, 60(2), 179-188.
- Poetz, M. K., y Schreier, M. (2012). *The value of crowdsourcing: can users really compete with professionals in generating new product ideas?*. *Journal of product innovation management*, 29(2), 245-256.
- Rentería, C. (2016). *Plataformas de crowdfunding en América Latina*. Consultado el 13 de marzo de 2019, desde <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/handle/10625/55828>

- Schwienbacher, A. y Larralde, B. (2010). Crowdfunding of Small Entrepreneurial Ventures. SSRN Electronic Journal, 10, 1-23.*
- Sharma, S., y Lertnuwat, N. (2016). The financial crowdfunding with diverse business models. Journal of Asian and African Social Science and Humanities (ISSN 2413-2748), 2(2), 74-89.*

# 15

## ***Diseño y construcción de un sistema de pasteurización artesanal automático y controlable remotamente con capacidad hasta de 20 litros***

### ***Design and construction of a remotely controllable automatic pasteurization system with capacity up to 20 liters***

Daniel Aristizábal Torres<sup>1</sup>, César Augusto Peñuela Meneses<sup>2</sup> y Henry William Peñuela Meneses<sup>3</sup>

#### ***Resumen***

Este capítulo resume los resultados alcanzados durante el desarrollo del proyecto de Construcción de un sistema de pasteurización artesanal automático y controlable remotamente con capacidad hasta de 20 litros. Inicialmente, este informe genera un marco teórico de tipo técnico con el que se exponen las características más relevantes de las variables que se controlan, así como los rangos de operación a los cuales se someten los dispositivos mecánicos y eléctricos que se han diseñado. Para tal fin se realiza una revisión

---

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Facultad de Ingeniería, Universidad Libre Seccional Pereira, [daniel.aristizabal@unilibre.edu.co](mailto:daniel.aristizabal@unilibre.edu.co)

<sup>2</sup>Doctor en Ingeniería Eléctrica, docente investigador Universidad Libre Seccional Pereira, [cesara.penuelam@unilibre.edu.co](mailto:cesara.penuelam@unilibre.edu.co)

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica de Pereira, [tesla@utp.edu.co](mailto:tesla@utp.edu.co)



conceptual de los procesos de pasteurización que común mente se aplican en la industria alimenticia, y se ilustra el proceso de dimensionamiento de los elementos tanto mecánicos como eléctricos que se han incorporado en el equipo. Finalmente, se presentan resultados de análisis microbiológicos con los cuales se realizan ajustes a los parámetros de operación y se demuestra la funcionalidad del equipo en procesos de pasteurización.

**Palabras clave:** *Pasteurizador, control remoto, pasteurización lenta, pequeño productor lechero.*

### ***Abstract***

*This chapter summarizes the results achieved by the project of construction of an automatic and remotely controllable handmade pasteurization system. It has a capacity of up to 20 liters. Initially, this report generates a theoretical framework of a technical nature that sets out the most relevant characteristics of the variables that are controlled, as well as the operating ranges which the mechanical and electrical devices that have been designed are subjected. For this purpose, a conceptual review of the pasteurization processes that are commonly applied in the food industry is carried out, and the process of sizing of both mechanical and electrical elements that have been incorporated into the equipment is illustrated. Finally, microbiological analysis results are presented, and the functionality of the equipment in pasteurization processes is demonstrated.*

**Keywords:** *Pasteurizer, remote control, slow pasteurization, small dairy producer.*

### ***Introducción***

Según la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) de 2016, el destino de la producción de leche en el país se distribuye de la siguiente manera: 19% se destina al autoconsumo (44.2%) o a la elaboración de quesos en la misma finca (55.8%), mientras que el 81% restante se vende a la industria (57%), a intermediarios (41.6%) o tiene otros destinos (4%). Así mismo, el consejo de competitividad láctea en Colombia reporta que el 50% de la leche que se produce en nuestro país está siendo comercializada y procesada informalmente, es decir, que sus agentes compradores y procesadores no cumplen con las normas sanitarias ni permisos de funcionamiento, registros del Instituto de Medicamentos y Alimentos, INVIMA, o conceptos sanitarios, tampoco cumplen con el sistema de pago de leche cruda al productor (ENA, 2016).

Gran número de los pequeños productores y microempresas procesadoras han visto afectadas sus condiciones económicas por la marginalidad geográfica y de mercado, desestimulando la adopción de tecnologías orientadas a elevar y garantizar las condiciones mínimas de calidad. Por otro lado, cada agente de la cadena láctea, independientemente de su volumen de producción o capacidad económica, es responsable por cumplir las directrices formuladas para el sector lácteo y verificar los requisitos de proceso, envase, transporte, comercialización y expendio, tal como se contempla en los documentos del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) para la “Política Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de Alimentos para el Sistema de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias” (CONPES 3375, 2005), “Política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano” (CONPES 3675, 2010); la “Consolidación de la política sanitaria y de inocuidad para las cadenas láctea y cárnica” (CONPES 3676, 2010), además del Acuerdo de Competitividad de la Cadena Láctea de Colombia elaborado por el Consejo Nacional Lechero (CNL, 2010) según los lineamientos de la Ley 811 de 2003.

Contar con equipos económicos y eficientes para el procesamiento de la leche cruda y productos lácteos que contribuyan a disminuir la informalidad, así como equipos de pasteurización que permitan lograr la mayor eficiencia en calidad, conlleva desarrollar tecnologías para industrializar la producción artesanal de la leche y derivados lácteos, conservando sus características, permitiendo mantener su originalidad y diferenciación en el mercado. Teniendo en cuenta lo anterior, la investigación permitirá desarrollar e implementar un sistema de pasteurización en el sector de producción informal, que ayude a la ejecución de procesos de validación, transferencia e innovación tecnológica, así como aumentar la calidad, con el propósito de que dichos productos sean reconocidos y validados por las autoridades sanitarias de inspección, vigilancia y control, y, elevar el estatus sanitario de la producción de leche y sus derivados. Además el proyecto apunta al objetivo de desarrollo sostenible, hambre cero y fin de la pobreza, por medio de la creación y promoción de estrategias y oportunidades laborales y educativas que favorezcan el crecimiento económico e intelectual para las comunidades aledañas al proceso productivo (Barrera & Rodríguez, 2018).

En el presente proyecto se realiza el estudio técnico para el diseño de un pequeño y práctico equipo de pasteurización, de fácil operación y mantenimiento, y que, a su vez, permita el monitoreo del proceso tanto de forma local como remota a partir de un adecuado sistema de instrumentación. Las características generales del equipo son:

- Capacidad de procesamiento hasta 20 litros
- Estructura para calentamiento en “baño de maría”

- Pasteurización lenta
- Dispositivo agitador
- Control automático a través de microprocesador con supervisión local y remota.
- Salida del producto por gravedad con estrangulamiento por medio de llave en acero inoxidable.
- Sistema de refrigeración con capacidad de 20 litros.
- Revisión teórica de fuentes de energía renovable (Fotovoltaica, colector solar, gas natural, biomasa) en el proceso térmico o eléctrico.

Entre las principales contribuciones del diseño planteado se encuentra la posibilidad conocer continuamente el estado del proceso sin necesidad de un supervisor humano para el chequeo constante del proceso. El pequeño productor puede realizar otras actividades simultáneamente, y en caso de una falla, o finalizado el proceso, el sistema de comunicaciones puede generar una alerta local o remota (como el envío de un sms), indicando el estado del proceso.

### **Características del proceso de pasteurización**

La pasteurización es un proceso térmico realizado a los alimentos con la intención de disminuir las poblaciones patógenas de microorganismos o para desactivar las enzimas que modifican los sabores de ciertos alimentos. Existen tres tipos de procesos bien diferenciados:

- Pasteurización VAT o lenta.
- Pasteurización a altas temperaturas durante un breve periodo de tiempo
- El proceso a ultra-altas temperaturas.

En el proceso de calentamiento/enfriamiento de un producto, existe una cantidad de calor cedido/recibido necesario para llegar al estado en el que se igualan la temperatura del producto y la de la fuente de calor/frío. Al igualar las temperaturas se suspende la transferencia de energía térmica o flujo de calor. Las leyes de la termodinámica definen que la cantidad de calor por medio de la ecuación (1), donde Q es la cantidad de calor que gana (pierde) un cuerpo de masa m,  $\Delta T$  es el cambio de temperatura dado por la ecuación (2), y  $C_e$  es calor específico de cuerpo, el cual, es una constante característica de cada cuerpo (Zemansky, 2009).

$$Q = mC_e\Delta T \quad (1)$$

$$\Delta T = T_f - T_i \quad (2)$$

En la ecuación (2),  $T_f$  es la temperatura final del producto y  $T_i$  la inicial. Para el caso de la leche, el calor específico oscila entre 0.90 y 0.93 calorías/(g°C). La pasteurización se presenta entonces con un modelo matemático de una ecuación diferencial de primer orden que describe el decrecimiento de la población de los individuos patógenos, tal como se expone en la ecuación (3), donde  $N$  es el número de microorganismos vivos a una temperatura dada de exposición  $t$ ,  $N_0$  es la población de microorganismos al inicio del proceso, y  $k_d$  es la razón de disminución en el tiempo (velocidad de muerte de los microorganismos).

$$N = N_0 e^{-k_d t} \quad (3)$$

Esta expresión permite la generación de diagramas de supervivencia en la industria alimenticia como el de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, y a partir de los cuales se logra determinar el tiempo de exposición, a una temperatura  $t$  constante con la cual se consigue la disminución de individuos patógenos requerida.

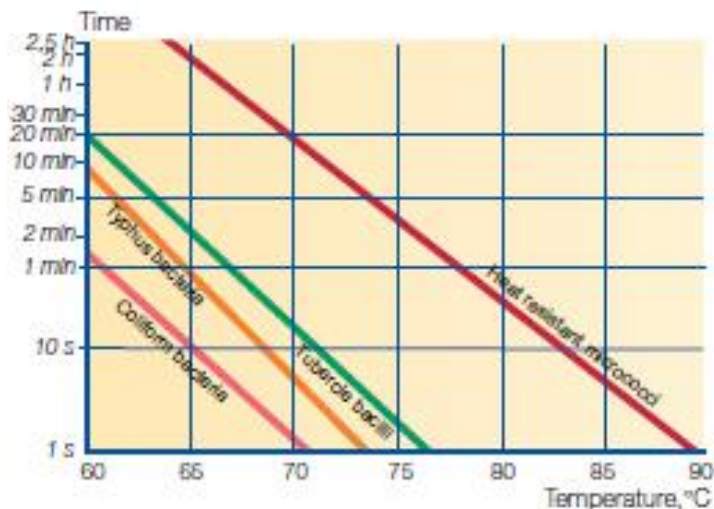


Figura 1. Letalidad sobre algunos tipos de bacterias.  
Fuente (Tetra Pack Processing Systems AB, 1995)

La pasteurización VAT se caracteriza principalmente por su capacidad de garantizar las condiciones sanitarias sin perjudicar notablemente el sabor (Villada López & Echeverría Vecilla, 2012), ya que se basa en un proceso realizado a una temperatura máxima de 65°C, con un tiempo de exposición que oscila entre 5 a 30 min, dependiendo de las condiciones iniciales del producto. Para finalizar el proceso, se continúa con un enfriamiento hasta una temperatura de alrededor de 4°C, valor en el cual se debe mantener para evitar que las cepas de los microorganismos sobrevivientes consigan recuperarse y contaminar nuevamente el producto (Tetra Pack Processing Systems AB, 1995).

## Contexto nacional del pequeño productor

Según FEDEGAN (2013), Colombia ha conseguido ubicarse en el cuarto puesto en el nivel de producción en América Latina, alcanzando un volumen aproximado de 6.500 millones de toneladas por año (MADR, 2005), (Jaramillo Londoño & Areiza Segura, 2012). En la Figura 2 se muestra en cifras los volúmenes de producción de leche cruda en el país durante los últimos años.

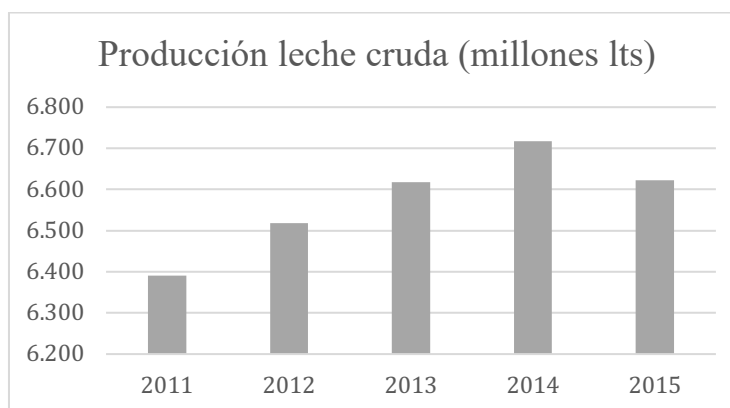


Figura 2. Históricos de producción de leche en Colombia.

Fuente (FEDEGÁN, 2016)

Por otro lado, Colombia se destaca a nivel latinoamericano en el segundo lugar de consumo de leche (Dinero, 2015). Pero este potencial comercial se ve afectado por problemáticas internas representadas principalmente por la inequidad social que afecta de manera directa y con fuertes repercusiones al pequeño productor. En (Portalechero, 2016) se resalta la desmotivación que tienen los lecheros cuando se enfrentan a un pago bajo por litro de leche de la industria, en contradicción con el alza de los costos de producción, por lo que se prefiere trabajar pensando en un mercado informal.

La situación del sector lácteo en Colombia presenta amplias similitudes a los demás sectores agroindustriales de la economía, pues, aunque las grandes empresas son líderes en la comercialización de productos lácteos y sus derivados, gran parte del sector está representado por pequeños productores. Es así como la cadena láctea se caracteriza por un alto grado de dispersión en la producción de leche cruda y un alto grado de informalidad en su acopio. Según datos de la Federación Nacional de Ganaderos (2013). Para finales del año 2012 cerca del 82% fue vendido, el 10% fue procesado en finca, y el 8% fue destinado al autoconsumo. Del total reportado como vendido, cerca del 63% fue comprado directamente por los sectores industriales, y el resto tuvo la participación de agentes intermediarios (CONPES, 2010).

En la Tabla 1, según el estudio sectorial realizado en (Jaramillo Londoño & Areiza Segura, 2012), muestra que las 4 principales empresas industriales en el país (COLANTA, ALPINA, ALQUERÍA y NESTLÉ) representan entre el 73% y el 79% del volumen total de procesamiento, y a su vez representan cerca del 50% del volumen total del acopio de leche cruda que se muestra en la Figura 2 (Dinero, 2015), (Portalechero, 2016).

Tabla 1. Participación de industria en el acopio de leche para el año 2012.

<i>Empresa</i>	<i>Participación</i>
<i>Cooperativa Colanta Limitada</i>	<i>20-30%</i>
<i>Alpina Colombia S.A.</i>	<i>8-15%</i>
<i>Productos Naturales de la Sabana Alquería S.A.</i>	<i>7-10%</i>
<i>Procesadora de Leches S.A.:</i>	<i>2-6%</i>
<i>Nestlé de Colombia S.A.</i>	<i>1-5%</i>
<i>Cooperativa productores de leche de la Costa Atlántica Coolechería</i>	<i>1-3%</i>
<i>Parmalat Colombia Limitada</i>	<i>1-3%</i>
<i>Algarra S.A.</i>	<i>1-3%</i>
<i>Cooperativa Industrial Lechera de Colombia</i>	<i>1-3%</i>
<i>Otras Empresas</i>	<i>33%</i>

Fuente (Jaramillo Londoño & Areiza Segura, 2012)

La leche se caracteriza por ser un producto altamente perecedero, lo cual, sumado al bajo número de compradores respecto a los vendedores, una alta dispersión de productores, y los altos costos de transporte, generan en el sector primario un bajo poder de negociación con consecuencias adversas para el pequeño productor (Contexto Ganadero, 2014). Las pequeñas empresa lácteas, y, por tanto, los pequeños productores, tienen especial importancia para el sector, ya que ellas entregan la mayor parte de la producción láctea del país y representan un número importante de empleos tanto directos como indirectos (DANE, 2014), (Contexto Ganadero, 2015). En (Jaramillo Londoño & Areiza Segura, 2012) se señala que para el año 2012, la ganadería de leche genera un 3,18% del empleo total nacional, lo que equivale a 13,92% de los empleos del sector agropecuario. La mayor parte de los productores de leche combina la producción agrícola con la ganadera y ésta se encuentra muy dispersa en el país, razón por la cual, en el desarrollo del sector se hace necesario propiciar la agremiación de productores para comercialización de la leche, así como la transferencia y adopción de tecnologías (Contexto Ganadero, 2015).

En la Tabla 2 se presentan los rangos de informalidad presentes en las regiones productoras de Colombia para el año 2012. Las pequeñas empresas dedicadas al procesamiento de leche son establecimientos que ocupan menos de 5 empleados, y su

principal actividad está ubicada en el sector del comercio y de servicios. Existe un alto porcentaje de informalidad que se refleja en los significativos porcentajes de empresas que no pagan impuestos (53.5%), que no llevan registros contables (42%), que no tienen registro mercantil (45%) (Holmann, y otros, 2013), (Portalechero, 2016).

Tabla 2. Porcentajes de informalidad según la región

<b>Rango de Informalidad</b>	<b>Región</b>
0-20%	<i>Antioquia, Caldas, Quindío, Cundinamarca</i>
21-40%	<i>Cesar</i>
41-60%	<i>Atlántico, Boyacá, Nariño</i>
61-80%	<i>Bolívar, Córdoba, Magdalena y Risaralda</i>
81-100%	<i>Casanare, Meta,, Valle del Cauca, Cauca, Huila, Tolima, Guajira, Sucre, Norte de Santander, Santander</i>

## **Metodología**

El proyecto se realizó en tres cuatro fases principales:

- Fase 1: Revisión del proceso de pasteurización
- Fase 2: Diseño del sistema de pasteurización
- Fase 3: Construcción del equipo
- Fase 4: Realización de pruebas operativas y microbiológicas

### **Revisión del proceso de pasteurización**

Se realizó la revisión del proceso de pasteurización y tipos de pasteurización. Además se revisaron antecedentes investigativos en la temática y se realizó el estudio de dispositivos comerciales de baja capacidad disponibles para el desarrollo de un adecuado proceso.

### **Dimensionamiento de la marmita**

Para el diseño de la marmita, o contenedor en el cual se realizará el calentamiento del producto, se determinaron las dimensiones asumiendo una geometría constituida por un cilindro circular recto con una base semiesférica, tal como se bosqueja de manera aproximada en la Figura 1.

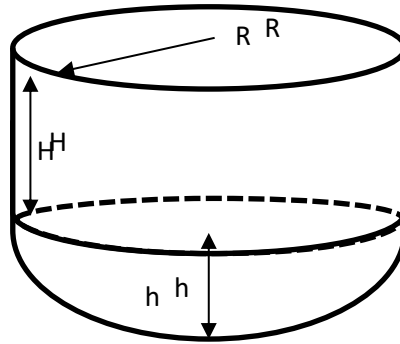


Figura 3. Geometría seleccionada para la marmita

Esta disposición permite una disminución del 5% en la superficie total del material requerido si comparado con una simetría totalmente axial, es decir, considerando apenas el cilindro circular recto. Por otro lado, la configuración escogida permite el diseño de un orificio de salida en la parte inferior del recipiente por donde fluya el producto procesado con apenas la ayuda de la fuerza de atracción gravitacional, dispensando el uso de bombas, y además garantizando el vaciado completo.

### **Diseño de estructura del armazón**

La finalidad es determinar el dimensionamiento de la estructura que soportará la marmita de calentamiento, paneles frontales, y la caja de control. El armazón metálico consta de una caja rectangular formado por una serie de tubos rectangulares y dos tapas, tal como se muestra en la Figura 4, la cual fue simulada en Solidworks © con el fin de estimar los esfuerzos y las deformaciones de cada elemento. En este caso, la tapa inferior sirve como base de apoyo para el pasteurizador completo, mientras que la tapa superior representa la base de apoyo sobre la cual se suspenderá la marmita de calentamiento. Por tal motivo, se simula un esfuerzo uniformemente distribuido en la tapa superior y se analizan las deformaciones.



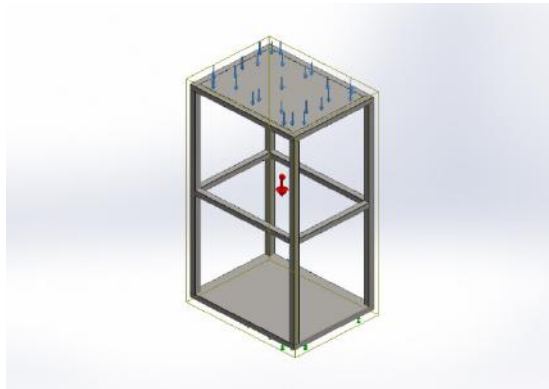


Figura 4. Simulación del armazón del procesador

### Diseño térmico de la marmita

El diseño de los requerimientos energéticos del pasteurizador pasa por un análisis del flujo de calor o energía térmica necesaria para elevar la temperatura del producto hasta la temperatura requerida (64°C) y sostenerla durante el tiempo necesario (30 min) para garantizar así la inocuidad del producto. Igualmente se debe tener en cuenta las características del producto a ser procesado. En especial, se debe tener en cuenta la cantidad (masa), y el calor específico del producto. En tal sentido, el equipo pasteurizador se proyecta para el proceso de un volumen de leche de 20 L, con lo cual se puede estimar la masa de producto a ser procesado en función de la densidad volumétrica media. Esta densidad depende de la composición química del producto, en especial del contenido graso, proteico y de lactosuero. Igual dependencia se presenta en el valor del calor específico del producto. Sin embargo, para el caso de la leche entera, foco de este proyecto, estos valores no muestran variaciones significativas, tal como se aprecia en la Tabla 3, por lo que se puede asumir un valor medio 3878 J/kg °C en el cálculo de los requerimientos energéticos. En la Tabla 4 se resumen las condiciones de diseño a ser consideradas.

Tabla 3 Variación con la temperatura del calor específico de la leche.

<i>Temperatura</i>	<i>Capacidad Calórica [J /kg °C]</i>			
	<i>0 °C</i>	<i>15 °C</i>	<i>40 °C</i>	<i>60 °C</i>
<i>Leche Entera</i>	3847	3931	3889	3847
<i>Leche Desnatada</i>	3931	3952	3973	4015
<i>Nata con 30% grasa</i>	2802	4098	3555	3597
<i>Nata con 60% grasa</i>	2342	4391	3011	3095
<i>Mantequilla</i>	2133	2216	2342	2426
<i>Lactosuero</i>	4098	4082	4073	4057

Fuente (Alais & Godina, 1985)

Tabla 4. Parámetros térmicos de diseño para el pasteurizador

<i>Parámetro</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
<i>Volumen de leche</i>	$V_L$	20,0	L
<i>Densidad leche</i>	$\rho_L$	1,032	g/ml
<i>Capacidad específica leche</i>	$Cp_L$	3,878	J/g °K
<i>Temperatura inicial leche</i>	$T_{Li}$	20	°C
<i>Temperatura final leche</i>	$T_{Lf}$	64	°C
<i>Volumen de agua</i>	$V_A$	12,0	Lt
<i>Densidad del agua</i>	$\rho_A$	1,000	g/cm <sup>3</sup>
<i>Capacidad específica agua</i>	$Cp_A$	4,180	J/g °C
<i>Temperatura inicial agua</i>	$T_{Ai}$	20	°C
<i>Temperatura final agua</i>	$T_{Af}$	70	°C

### Dimensionamiento de la unidad de refrigeración

Este dispositivo se propone como un mecanismo opcional para garantizar el choque térmico requerido y así prevenir el crecimiento de poblaciones bacterianas que aún sobrevivan en estado inactivo. Por tanto, al llevar la temperatura a 4°C se propicia un inicio adecuado de la cadena de frío y sostenimiento en el tiempo de la inocuidad del producto pasteurizado.

Tabla 5. Cálculo para unidad de refrigeración.

Parámetro	Valor	Unidades
Capacidad Calórica	3878	J/kg °C
Densidad	1,032	g/cm <sup>3</sup>
Volumen	20	Litros
Masa	20,64	Kg
Temperatura inicial	64	°C
Temperatura final	4	°C
Tiempo	80	min
Energía	-4802,5	KJ
Potencia	1,000	KW
Costo Energía/proceso	533,6	\$

## Dimensionamiento Eléctrico

Conocidos los consumos energéticos de todos los elementos que requieren del suministro de energía eléctrica, se calcula el dimensionamiento del cableado de alimentación del equipo pasteurizador. Este valor igualmente se requiere para informar al usuario del equipo las condiciones mínimas requeridas para las acometidas en el punto de instalación del equipo. En la Tabla 6 se presenta en resumen el cuadro de cargas eléctricas.

Tabla 6 Cuadro de cargas eléctricas.

<i>Descripción de carga</i>	<i>Potencia [kW]</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Total Potencia [kW]</i>
<i>Resistencias</i>	<i>2,50</i>	<i>1</i>	<i>2,57</i>
<i>Agitador</i>	<i>0,20</i>	<i>2</i>	<i>0,40</i>
<i>Sistema de instrumentación</i>	<i>0,10</i>	<i>1</i>	<i>0,10</i>
<i>Unidad de refrigeración</i>	<i>1,00</i>	<i>1</i>	<i>0,99</i>

## Sistema de comunicación

Las variables de temperatura serán registradas por dos dispositivos diferentes con el fin de dar redundancia al sistema de monitoreo y corroborar que se ha dado cumplimiento al proceso de pasteurización. Los registros capturados por los dispositivos alojados en el panel frontal del equipo, serán apenas para inspección visual y control de encendido y apagado de las resistencias en tiempo real. Por otro lado, se dispone de un segundo conjunto de sensores los cuales capturan variables de temperatura y tiempo con el fin de cruzar la información de los primeros y validar el proceso de pasteurización. Los datos capturados son enviados por un sistema de comunicación cuya elaboración estuvo a cargo de la empresa SmarTech. En la Figura 5 se muestra el diseño gráfico optimizado de la tarjeta impresa que alojará los componentes electrónicos necesarios para el proceso de registrar las señales de temperatura y enviarlos a través del sistema de comunicación.

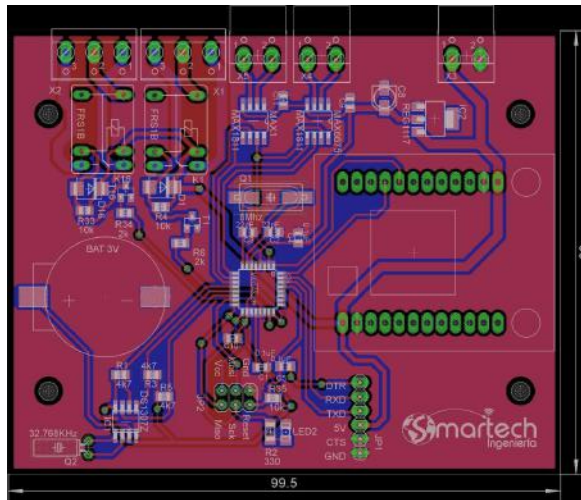


Figura 5 Diagrama esquemático de tarjeta de control.

Por otro lado, la Figura 6 muestra la implementación final de la tarjeta de monitoreo junto a las sondas de temperatura tipo J. Mediante pruebas realizadas en agua se pudo comprobar la adecuada medición y envío de datos a través de los comandos de texto.



Figura 6 Implementación de tarjeta de comunicación.

## Resultados

En esta sección se presenta el análisis de operación del sistema de pasteurización de leche recolectada en el punto de ordeño de un pequeño productor ubicado en el sector de Huertas, a 7 km de la ciudad de Pereira, vía Armenia. En la Figura 7 se muestra el punto de ordeño y acopio de la leche. Las prácticas inadecuadas en cada una de las fases de producción que incluyen el manejo y cuidado de los animales, el ordeño, el almacenamiento, transporte, así como la distribución del producto, son sujetas a normas sanitarias que deben ser

cumplidas (Echeverri, Giraldo , Garay, & Botero, 2020). Por la imagen, es posible notar que las condiciones de sanidad no son las más adecuadas, por lo que el producto recolectado puede contener un alto nivel de microorganismos.



Figura 7. Punto de ordeño

En el lugar de ordeño se realiza el acopio del producto a procesar y se toma una muestra de leche con el fin de conocer el contenido microbiológico del producto antes de ser procesado. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Aguas de la Universidad Tecnológica de Pereira usando el método de recuento en placa profunda. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de laboratorio en leche cruda

<i>Ensayo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Contenido</i>
<i>Coliformes Totales</i>	<i>ufc/g</i>	<i>1610</i>
<i>Escherichia Coli</i>	<i>ufc/g</i>	<i>10</i>
<i>Aerobios Medòfilos</i>	<i>ufc/g</i>	<i>&lt;10</i>

Al inicio, se obtuvo que la temperatura del producto era de 32°C, mientras que el conjunto de resistencias operó con una corriente de 14.6 A y 120 voltios, dando como resultado un consumo de potencia eléctrica del orden de 1.72 kW. Bajo estas condiciones de operación, el tiempo esperado para alcanzar la temperatura de referencia está dada por la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** como:

$$\Delta t = \frac{Q_{Total}}{P} = \frac{2561 + 1963}{1.72 \cdot 60} \text{ min} = 44 \text{ min}$$

Sumados a los 30 minutos en los que se debe conservar estable el valor de temperatura, se tiene que el proceso de calentamiento alcanza alrededor de 74 min. En la Figura 8 se muestra la evolución en el tiempo de la temperatura en la estructura de calentamiento, siendo que entre cada par de datos registrados se tiene un intervalo de tiempo constante de 4 min, para un tiempo de procesamiento de 45 minutos.

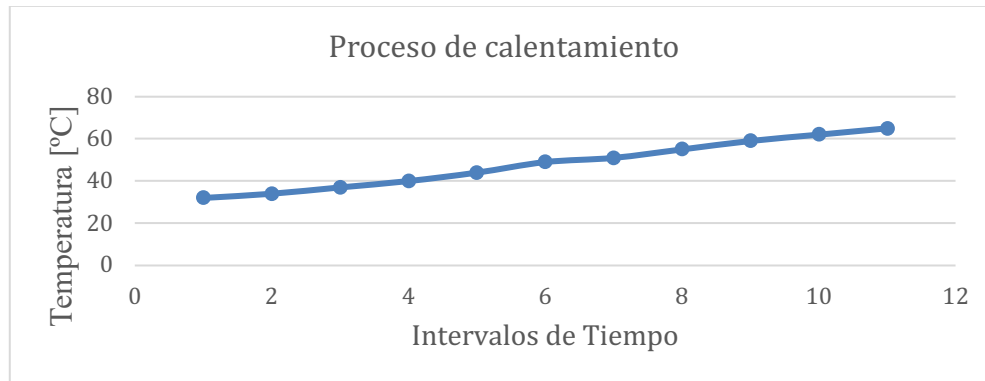


Figura 8 Gráfica de prueba de calentamiento de leche.

Con los datos obtenidos, se tiene que el proceso de calentamiento por resistencias consume una energía total dada por:

$$E_{unidad} = 1.75 \text{ kVa} \cdot 0.75 \text{ h} \cdot 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 4725 \text{ kJ}$$

Mientras que, aplicando la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la energía requerida para elevar la temperatura del producto (donde se considera que al no llegar a la temperatura de evaporación, la masa se conserva constante en 20 kg), está dada por

$$Q_s = 20.0 \text{ kg} \cdot 3878 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (64 - 32) = 2561 \text{ kJ}$$

Por otro lado, la energía requerida para elevar la temperatura del agua en el baño de maría está dada por

$$Q_s = 14.0 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (64 - 32) = 1962 \text{ kJ}$$

A partir de los datos anteriores se tiene que la eficiencia del sistema de calentamiento es de alrededor de

$$\eta = \frac{1962 + 2561}{4725} 100\% = 95.6\%$$

La prueba resulta entonces satisfactoria dado que los equipos funcionaron adecuadamente durante el proceso. Inmediatamente después de calentar el producto se tomó una muestra con el fin de realizar un análisis de laboratorio, mientras que el producto restante se llevó al proceso de frío para preservar el producto. Los resultados del análisis de laboratorio se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8 Análisis de laboratorio en leche procesada.

<i>Ensayo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Contenido</i>
<i>Coliformes Totales</i>	<i>ufc/g</i>	<i>1700</i>
<i>Escherichia Coli</i>	<i>ufc/g</i>	<i>280</i>
<i>Aerobios Mesòfilos</i>	<i>ufc/g</i>	<i>&lt;10</i>

Para probar la unidad de enfriamiento se realizaron dos pruebas en las cuales se realizó seguimiento a las variables de tiempo, temperatura, presión en la unidad condensadora, y corriente de consumo. Para la primera prueba se ingresó agua a temperatura ambiente en el tanque de enfriamiento, registrando una temperatura de 27°C. Al dar inicio al proceso, la presión se sostiene en 100 psi, mientras que en la unidad el consumo de corriente es de 5.4 Amperios operando a 220 v, con lo cual se obtiene una potencia de 1.20 kVa. Dado que la unidad es de 1 ½ HP, el factor de carga junto con la eficiencia de la unidad condensadora es de 0.93. La Figura 9 presenta el comportamiento de la temperatura del tanque con respecto a la variación en el tiempo. Los datos de temperatura fueron tomados en intervalos de tiempo regulares.

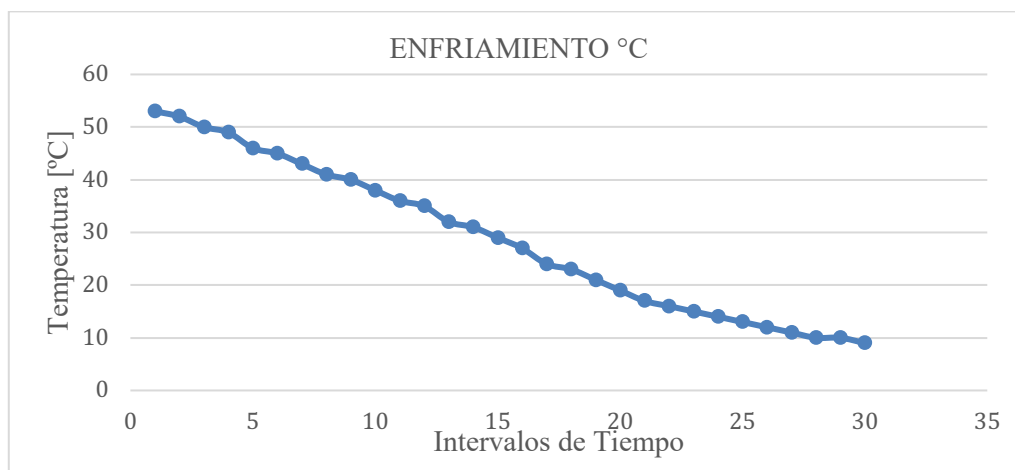


Figura 9 Proceso de enfriamiento de la leche.

Tal como se indica, se requiere alrededor de 140 min llevar el producto a la temperatura de conservación más adecuada, por lo que la energía consumida por la unidad se calcularía como:

$$E_{\text{unidad}} = 1.12 \text{ kW} \cdot 2.33 \text{ h} \cdot 3600 \frac{\text{KJ}}{\text{KWh}} = 9408 \text{ kJ}$$

Mientras que la energía requerida para enfriar el producto, bajo las condiciones dadas es calculada por según la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** como

$$Q_s = 20 \text{ kg} \cdot 4,130 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (8 - 64) = 4625 \text{ kJ}$$

A partir de los datos anteriores se tiene que la eficiencia del sistema de calentamiento es de alrededor de

$$\eta = \frac{4625}{9408} 100\% = 49.2\%$$

### **Análisis comparativo de muestras de laboratorio**

Para evaluar la eficiencia del proceso de pasteurización se realiza una serie de pruebas microbiológicas a diferentes muestras recolectadas en diferentes momentos del proceso. Lo anterior se realiza con el fin de generar una trazabilidad completa de las fases de proceso e identificar posibles mejoras en los parámetros de ajuste del equipo o recomendaciones adicionales al proceso. En este orden de ideas, se realizaron cinco lotes de pasteurización de 20 litros cada uno, en los cuales se tomaron 3 tipos de muestras en los siguientes momentos:

- Antes de iniciar el proceso (denominada como “cruda”)
- Luego de finalizado el proceso de calentamiento y refrigerada en nevera portátil (denominada como “Calentada”),
- Una vez se culmina el proceso de frio que realiza el propio equipo (denominada como “Enfriada”).

En el primer lote no se consideró el seguimiento microbiológico luego del proceso de enfriamiento al considerar que el efecto de higienización era desarrollado por el proceso térmico de calentamiento. A partir de los resultados de los análisis de laboratorio expuestos



en la Tabla 9 se puede observar un incremento en la contaminación bacteriana. Se observa que la muestra sin pasteurizar presenta un nivel de alrededor de 96% en la población de E. Coli con respecto a la muestra calentada, adicional a un incremento leve en coliformes totales.

Tabla 9 Informe de ensayo 215/19.

<i>Número Muestra</i>	<i>Cruda</i>	<i>Calentada</i>	<i>Enfriada</i>	<i>Valores Límites</i>	
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>Bueno</i>	<i>Aceptable</i>
<i>Coliformes totales</i>	1610	1700	--	40000	80000
<i>Escherichia Coli</i>	10	<b>280</b>	--	1	10
<i>Aerobios Mesófilos</i>	<10	<10	--	1	--
	<i>Aceptable</i>		<i>No Aprueba</i>		

Sin embargo, cabe anotar, que desde el punto de vista de las coliformes totales, ambos resultados se encuentran dentro de un rango apenas aceptable al comparar con los rangos descritos en artículo 19 el decreto 616 de 2006 del Ministerio de Protección Social (MINSOCIAL, 2006). Dicha norma establece valores límites para considerar que el producto terminado es de buena calidad, o apenas aceptable. En el grupo de Aerobios mesófilos se tiene que en ambos casos el contenido fue menor que 10, aunque no se reporta si hay disminución. Los resultados anteriores muestran que el proceso térmico de calentamiento no resulta efectivo si la muestra no es refrigerada inmediatamente. El ingreso al laboratorio de las muestras registra una temperatura de alrededor de 25°C, temperatura a la cual algunas bacterias sobrevivientes pueden reactivar su proceso de crecimiento poblacional. Por otro lado, pueden existir otros factores, como contaminación del producto en las llaves de salida, marmita de frio, toma de muestra, entre otras circunstancias.

Con el fin de descartar comprender mejor el proceso, se realizó otra prueba el 19 de junio, bajo los mismos parámetros de procesamiento (62°C durante 32 min, y luego enfriada hasta la temperatura de 10°C). Las muestras se toman inmediatamente se termina cada proceso térmico y son almacenadas en una nevera portátil con hielo a fin de preservar mejor las muestras. Se realiza adicionalmente un proceso de limpieza basado en una solución con hipoclorito de sodio (en baja concentración para evitar corrosión del equipo) dado que es un producto económico regularmente usado por productores de pequeña escala para los procesos de higienización. Los resultados del análisis de laboratorio que se muestran en la Tabla 10 permiten evidenciar que la elevación térmica no es suficiente para controlar el resurgimiento de las bacterias E. Coli, aunque si disminuye al 21% la contaminación por coliformes totales. Por otro lado, se observa que la muestra que se obtuvo luego del proceso de enfriamiento adquiere valores más inocuos que todos los anteriormente expuestos, lo cual indica una

posible incidencia directa positiva del proceso de enfriamiento. Los resultados también se pueden deber a que la nevera portátil no reduce con suficiente rapidez la temperatura de la muestra, generando condiciones adecuadas para la reactivación de la población bacteriana.

Tabla 10 Informe de ensayo 1282/19.

<i>Número Muestra</i>	<i>Cruda</i>	<i>Calentada</i>	<i>Enfriada</i>	<i>Valores Límites</i>	
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>Buena</i>	<i>Aceptable</i>
<i>Coliformes totales</i>	4454	972	136	40000	80000
<i>Escherichia Coli</i>	20	<b>180</b>	10	1	10
<i>Aerobios Mesófilos</i>	<10	<10	<10	1	--
	<i>Aceptable</i>		<i>No Aprueba</i>	<i>Aceptable</i>	

Con el fin de verificar la hipótesis de la incidencia del proceso de enfriamiento, se realiza una nueva prueba en la que se mantienen los parámetros de operación del equipo, pero la muestra calentada se enfría a temperatura ambiente, mientras que las demás muestras son almacenadas en la nevera portátil para ser entregadas en el laboratorio. Los resultados de laboratorio se resumen en la Tabla 11. Como se esperaba, la muestra calentada incrementa desbordadamente sus niveles de contaminación, en proporciones mayores a lo que se presenta en la muestra enfriada.

Tabla 11 Informe de ensayo 1283/19.

<i>Número Muestra</i>	<i>Cruda</i>	<i>Calentada</i>	<i>Enfriada</i>	<i>Valores Límites</i>	
	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>Buena</i>	<i>Aceptable</i>
<i>Coliformes totales</i>	781	39545	1763	40000	80000
<i>Escherichia Coli</i>	<10	<b>160</b>	20	1	10
<i>Aerobios Mesófilos</i>	<10	<10	<10	1	--
	<i>Aceptable</i>		<i>No Aprueba</i>	<i>Aceptable</i>	

Los resultados muestran que los procesos térmicos, aun con el de enfriamiento, resultan insuficientes si el producto inicial cuenta con elevados niveles de contaminación. Por otro lado, el proceso de limpieza de la máquina, previo a los procesos, puede requerir un desarrollo más complejo, involucrando agentes limpiadores antibacterianos.

Para validar esta hipótesis, se realizan un nuevo proceso en el cual se consideró elevar la temperatura del proceso de calentamiento hasta los 65°C durante un tiempo de 30 min con el fin de garantizar la eliminación de mesófilos y de coliformes.

Tabla 12 Fecha toma Muestra 7/18/2019 Informe ensayo 1430/19

<i>Número Muestra</i>	<i>Cruda</i>	<i>Calentada</i>	<i>Enfriada</i>	<i>Valores Límites</i>	
	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>Bueno</i>	<i>Aceptable</i>
<i>Coliformes totales</i>	<i>6000</i>	<i>260</i>	<i>140</i>	<i>40000</i>	<i>80000</i>
<i>Escherichia Coli</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;10</i>	<i>1</i>	<i>10</i>
<i>Aerobios Mesófilos</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;10</i>	<i>1</i>	<i>--</i>
	<i>Aceptable Aceptable Aceptable</i>				

Esta prueba también es contrastada con los resultados del análisis de un proceso donde, adicionalmente, se consideró una limpieza más exhaustiva con base en un agente limpiador Benzaldina y temperatura de proceso hasta los 70°C. Los resultados del análisis de laboratorio son presentados en la Tabla 13, donde es posible apreciar que se alcanzan niveles óptimos de esterilización del producto y que además se mantienen durante el proceso de frío.

Tabla 13 Fecha toma muestra 7/24/2019 Informe ensayo 1460/19

<i>Número Muestra</i>	<i>Cruda</i>	<i>Calentada</i>	<i>Enfriada</i>	<i>Valores Límites</i>	
	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>Bueno</i>	<i>Aceptable</i>
<i>Coliformes totales</i>	<i>28545</i>	<i>10</i>	<i>&lt;10</i>	<i>40000</i>	<i>80000</i>
<i>Escherichia Coli</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;10</i>	<i>1</i>	<i>10</i>
<i>Aerobios Mesófilos</i>	<i>50</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;10</i>	<i>1</i>	<i>--</i>
	<i>Aceptable Aceptable Aceptable</i>				

Por otro lado, se realizó un proceso adicional a partir del mismo lote que se analizó en la muestra 10. En esta prueba se consideró igualmente realizar el proceso de esterilización con Benzaldina y aumentar la temperatura (nuevamente) hasta los 65°C. Esto con el fin de verificar el impacto de un buen proceso de esterilización, pero sin alcanzar el umbral de temperatura con los que se han alcanzado los mejores resultados. El informe del análisis de laboratorio se presenta en la Tabla 14. De los resultados alcanzados se puede ver que no se alcanzan los niveles adecuados de esterilización y que además se incrementó el nivel de contaminación durante el proceso de frío.

Tabla 14 Segundo análisis de muestra 7/24/2019. Informe ensayo 1431/19

<i>Número Muestra</i>	<i>Cruda</i>	<i>Calentada</i>	<i>Enfriada</i>	<i>Valores Límites</i>	
	<i>10</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>Bueno</i>	<i>Aceptable</i>
<i>Coliformes totales</i>	<i>28545</i>	<i>163</i>	<i>454</i>	<i>40000</i>	<i>80000</i>
<i>Escherichia Coli</i>	<i>&lt;10</i>	<i>&lt;10</i>	<i>20</i>	<i>1</i>	<i>10</i>
<i>Aerobios Mesófilos</i>	<i>50</i>	<i>&lt;10</i>	<i>80</i>	<i>1</i>	<i>--</i>
	<i>Aceptable</i>		<i>Aceptable</i>	<i>No aprueba</i>	

Lo anterior permite concluir que los mejores resultados de un proceso de pasteurización sólo se pueden lograr cuando existen adecuadas prácticas de control de limpieza durante todo el proceso, se garantiza una temperatura sostenida de 70°C durante al menos 30 minutos, y se lleva lo más rápidamente posible a la temperatura de 8°C.

### ***Discusión y conclusiones***

Las pruebas desarrolladas en el equipo de pasteurización muestran que es posible la construcción de un equipo pasteurizador básico enfocado al procesamiento de pequeños lotes con la inclusión de un sistema de refrigeración que permita al pequeño productor conservar el producto por el tiempo que requiera. Adicionalmente se presenta la opción de incluir sistemas de control que garanticen un procedimiento de pasteurización tecnificado de fácil operación y mantenimiento. La eficiencia energética del sistema de calefacción presentó un rendimiento adecuado con tasas de transferencia de energía cercanas al 96%, indicando así que la distribución de las fuentes de calor es útil para distribuir la temperatura uniformemente entre el baño de maría y el líquido que se pasteuriza, evitando así la aparición de puntos con excesivo aumento de temperatura que se presentan con la instalación de un solo punto de calentamiento.

Los costos asociados al proceso de elaboración del pasteurizador pueden ser significativos si se comparan con los precios de procesadores similares en capacidad de procesamiento. Sin embargo, es necesario considerar que la propuesta incluye elementos tecnológicos superiores que los existentes en el mercado. Por otro lado, los costos de fabricación deberían disminuir notablemente al optimizar los procesos de fabricación, con lo cual el valor final del equipo debería tornarse competitivo en el mercado.

Los análisis de laboratorio indican que el proceso de pasteurización cumple con la tarea de reducir la población bacteriana cuando funciona dentro los márgenes de operación diseñados. Adicionalmente se sugiere que como trabajo posterior se puede para verificar la

calidad del producto desde el punto de vista de su valor nutricional con el fin de obtener un alimento procesado adecuadamente validado y apto para consumo humano.

## **Referencias**

- Alais, C., & Godina, A. (1985). Ciencia de la leche: principios de técnica lechera. Reverté.*
- Barrera, A. M., & Rodríguez, O. (2018). Diseño de Red de Responsabilidad Social Corporativa en el Área Metropolitana de Pereira a partir de los Objetivos Globales de Desarrollo Sostenible. Pereira: Universidad Libre.*
- Calderón, A., García, F., & Martínez, G. (2006). Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. MVZ Córdoba, 11(1), 1-16.*
- CNL. (2010). Acuerdo de Competitividad de la Cadena láctea de Colombia, República de Colombia. Obtenido de <http://www.cnl.org.co/wp-content/files/AcuerdodeCompetitividadCadenaLactea2010.pdf>*
- CONCYT. (2001). Diseño de un pasteurizador de leche adaptado a las condiciones del pequeño productor artesanal de quesos. Guatemala: Consejo Nacional de ciencia y tecnología.*
- CONPES. (2010). Documento 3675. Recuperado el 24 de abril de 2016, de Consejo Nacional de política económica y social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación: <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/d.angie/conpes%203675.pdf>*
- CONPES 3375. (2005). Departamento Nacional de Planeación (DNP), República de Colombia. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3375.pdf>*
- CONPES 3675. (2010). Departamento Nacional de Planeación (DNP), República de Colombia. Recuperado el 22 de mayo de 2019, de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3675.pdf>*
- CONPES 3676. (2010). Departamento Nacional de Planeación (DNP), República de Colombia. Recuperado el 22 de mayo de 2019, de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3676.pdf>*
- Contexto Ganadero. (18 de marzo de 2014). Una Lectura rural de la realidad colombiana. Recuperado el 18 de abril de 2016, de La industria no está respetando el pago de leche cruda: <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/la-industria-no-esta-respetando-el-pago-de-leche-cruda>*
- Contexto Ganadero. (28 de octubre de 2015). DANE reveló datos del sector ganadero tras III Censo Nacional Agropecuario. Recuperado el 15 de abril de 2016, de*

- <http://www.contextoganadero.com/economia/dane-revelo-datos-del-sector-ganadero-tras-iii-censo-nacional-agropecuario>
- Contextoganadero. (31 de mayo de 2013). Colombia, a la vanguardia en producción de quesos: informe. Recuperado el 4 de abril de 2016, de <http://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/colombia-la-vanguardia-en-produccion-de-quesos-informe>
- DANE. (2014). Congreso Nacional Agropecuario 2014. Recuperado el 20 de Abril de 2016, de 9na Entrega: <http://www.dane.gov.co/index.php/Censo-Nacional-Agropecuario-2014>
- Dinero. (2015, julio 7). ¿Cómo está el sector lácteo en Colombia? Retrieved abril 25, 2016, from <http://www.dinero.com/economia/articulo/analisis-del-sector-lechero-colombia-2015/211145>
- Echeverri, P., Giraldo, S., Garay, C., & Botero, J. (2020). Diagnóstico de la Productividad y competitividad de los productores de leche certificados en BPG en el Departamento de Risaralda. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- ENA. (2016). Encuesta Nacional Agropecuaria. (DANE, Ed.) Recuperado el 2 de febrero de 2019, de [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2016/boletin\\_ena\\_2016.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2016/boletin_ena_2016.pdf)
- FEDEGAN. (2013). Proyecto de ley para el sector lácteo ¿Qué piden los ganaderos al gobierno? Recuperado el 19 de abril de 2016, de Federación Nacional de Ganaderos. Carta No. 135, 14-33: <http://www.slideshare.net/fullscreen/Fedegan/proyecto-deleyparaelsectorlcteo/artafedegan135/3>
- FEDEGAN. (2016). Estadísticas. Recuperado el 2 de abril de 2016, de <http://www.fedegan.org.co/estadisticas>
- Holmann, F., Rivas, L., Carulla, J., Giraldo, L. A., Guzman, S., Martinez, M., . . . Farrow, A. (2013). Evolución de los Sistemas de producción de leche en el Trópico Latinoamericano y su interrelación con los mercados. Un análisis del caso Colombiano. Documento de trabajo.
- INVIMA. (2006). Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y alimentos. Recuperado el 20 de abril de 2016, de Ministerio de Salud. Colombia: <https://www.invima.gov.co/component/content/article.html?id=473:decreto-616-febrero>
- Jaramillo Londoño, A. R., & Areiza Segura, A. M. (2012). Análisis del Mercado de la Leche y Derivados Lácteos en Colombia (2008 - 2012). Delegatura de protección de la competencia. Superintendencia de Industria y Comercio.
- MADR. (2005). La Cadena de Lácteos en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. Recuperado el 10 de abril de 2016, de Ministerio de Agricultura y

*Desarrollo*

*Rural:*

[http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_agronet/2005112162250\\_caracterizacion\\_la\\_cleos.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112162250_caracterizacion_la_cleos.pdf)

*MINSOCIAL. (2006). Ministerio de la Protección Social. Decreto Número 616 de 2006.*

*Portafolio. (12 de marzo de 2015). Ganaderos e industria pueden negociar el 100% de la leche. Recuperado el 24 de abril de 2016, de <http://www.portafolio.co/opinion/redaccion-portafolio/ganaderos-e-industria-negociar-100-leche-23202>*

*Portalechero. (06 de abril de 2016). Colombia: Industria solo acopia 50% de producción láctea de Colombia. Recuperado el 25 de abril de 2016, de <http://www.portalechero.com/innovaportal/v/9780/1/innova.front/colombia:industria-solo-acopia-50--de-la-produccion-lactea-de-colombia.html>*

*Tetra Pack Processing Systems AB. (1995). Dairy Processing Handbook. Lund, Sweden: Texnotext AB.*

*Villada López, L., & Echeverría Vecilla, E. (2012). Diseño e implementación de Máquina automática multifunciones para obtener mermeladas, jugos de fruta y pulpa de fruta pasteurizada. Universidad Politécnica Salesiana UPS-G, Guayaquil.*

*Zemansky, S. (2009). Física Universitaria. Ciudad de México, México: Addison-Wesley.*

# 16

## ***Guía Interactiva basada en el Modelo de Gestión De La I+D+i de acuerdo a la Serie NTC 5800***

### ***Interactive Guide based on the R + D + i Management Model according to the NTC 5800***

Augusto Castro Triana<sup>1</sup>, Natalia Molina Arévalo<sup>2</sup>, Cristian Roberto Lozano Alvis<sup>3</sup>

#### ***Resumen***

Este documento nace de la consolidación de los 5 trabajos de grado derivados del Proyecto de Investigación de Escuela (PIE) 18-17 de la Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería (ECBTI) de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), dicho proyecto buscó desarrollar “Modelo para un sistema de gestión de la I+D+i de acuerdo a la serie NTC 5800”, con la información recolectada acerca de este modelo se desarrolló una guía interactiva con la cual se espera fomentar la cultura organizacional en torno a la gestión de actividades de Investigación, Desarrollo Experimental e Innovación que generen

---

<sup>1</sup>Ingeniero Industrial – Especialista en Auditoría de Sistemas – Magister en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos, Grupo de Investigación Gestindustriales EOCA – Semillero Ingeniería del Valor, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, [augusto.castro@unad.edu.co](mailto:augusto.castro@unad.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniera Industrial – Especialista en Educación Superior a Distancia – Candidata a Magister en Gerencia de la Calidad, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, [natalia.molina@unad.edu.co](mailto:natalia.molina@unad.edu.co)

<sup>3</sup>Tecnólogo en Automatización Industrial – Especialista Tecnológico en Buenas Prácticas de Manufactura – Candidato a Ingeniero Industrial, [crla436@gmail.com](mailto:crla436@gmail.com)



nuevos servicios y productos que agreguen valor a las organizaciones y aporten a la sustentabilidad de estas.

**Palabras clave:** *Sistemas de Gestión I+D+i, Sistema de Vigilancia Tecnológica, Serie de NTC 5800, Mejoramiento Continuo, Competitividad, productividad.*

## ***Abstract***

*This document was born from the consolidation of the 5 degree projects derived from the Special School Project (PIE) 18-17 of the School of Basic Sciences Technology and Engineering (ECBTI) of the National Open and Distance University (UNAD), said project I am looking for develop “Model for an R + D + i management system according to the NTC 5800 series”, with the information collected about this model, an interactive guide was developed with which it is hoped to foster the organizational culture around the Management of Research, Experimental Development and Innovation activities that generate new services and products that generate value for organizations and contribute to their sustainability.*

**Keywords:** *R&D Management Systems, Technology Surveillance System, NTC 5800 Series, Continuous Improvement, Competitiveness, productivity.*

## ***Introducción***

La investigación aplicada al desarrollo de nuevos productos y servicios juega un papel importante en el desarrollo social y económico de las naciones, lo cual incide directamente en los ingresos, calidad de vida y bienestar de sus ciudadanos.

Pero a pesar de que Colombia tiene un fuerte imperativo por innovar para mejorar la competitividad de la economía del país, para muchos el tema de la innovación no pasa de ser un discurso y no es una prioridad, como lo indican las siguientes cifras y referentes mundiales:

- De acuerdo al diario colombiano El Espectador (2013) el 60% de las empresas en Colombia utilizan como principal fuente de innovación la imitación de productos, tecnologías y procesos, lo cual no agrega valor de manera significativa con respecto al producto del creador original. Por otra parte, solo el 9% de las empresas colombianas invierten en Investigación y Desarrollo como estrategia para lograr innovación.

- Según la revista colombiana *Semana* (2015), de acuerdo al Índice Mundial de la Innovación que es publicado por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), para el año 2009 Colombia ocupaba el puesto 90, para el año 2015, ascendió al puesto 67 y para el actual año de 2018 ocupa el puesto 63. Aunque esta serie histórica representa una mejoría, sus efectos son muy leves, dado que la economía del país aún depende de la innovación y según Colciencias en los últimos 6 años del 51% al 73% de empresas que no innovan, lo cual es alarmante.

- Entre las causas de esta situación, se intuye con una alta probabilidad de certeza, que esta situación es la respuesta a la falta de inversión pública y privada y la ausencia de una cultura organizacional orientada a la innovación en las empresas colombianas.

- En complemento, de acuerdo con el Foro Económico Mundial (FEM) y según el Ranking del Índice Global de Competitividad, en el 2007 Colombia estaba ubicada en el puesto 69 con 47.3% y en el 2014 se ubicó en el puesto 66 con 54.2%, “registrando un leve repunte que la lleva a ubicarse en su mejor nivel de los últimos ocho años y se mantiene la tendencia a la recuperación desde el descenso presentado en el año 2008” (Reporte Global de Competitividad 2014 – 2015 / Foro Económico Mundial – Departamento Nacional de Planeación).

Teniendo en cuenta los comentarios anteriores, la presente investigación docente está orientada a proponer un modelo de Sistemas de Gestión de la I+D+i dirigida a empresas de sector arrocero en las provincias de Ibagué y Sur Oriente del Tolima y basado en la serie de NTC 5800 para promover la cultura organizacional de la innovación en este tipo de Empresas.

¿Cómo diseñar un modelo dirigido al diseño e implementación de Sistemas de Gestión I+D+i al interior de las empresas para que estas incentiven y potencialicen la Innovación y les permita generar nuevos servicios y productos o mejorar los ya existentes?

## ***Metodología***

### *Fase I: Definir los requerimientos para el Sistema de I+D+i:*

En esta primera fase se investigó a nivel de consulta bibliográfica sobre aspectos legales en innovación y revisión de la legislación colombiana de la I+D+i y de la NTC 5800 para identificar todos los requerimientos de un sistema de gestión I+D+i para la creación de

una lista de chequeo y contar con un marco de referencia en cuanto a información actualizada de ese importante sector económico regional y nacional.

*Fase II: Analizar el contexto organizacional y diseñar la planificación estratégica I+D+i para las empresas del sector arrocero*

Derivado de la fase I, se seleccionó un grupo de profesionales del sector arrocero, a quienes de acuerdo con la metodología se les denominó “Expertos del sector arrocero del Tolima, con conocimientos básicos en Innovación, I+D+i y de la NTC 5800”, en función de identificar los requerimientos de un Sistema de Gestión I+D+i y la identificación y creación de una lista de chequeo aplicable al sector empresarial.

Los expertos consultados fueron los siguientes:

- a. Ingeniero Carlos José Hómez, Gerente de Serviarroz seccional Tolima.
- b. Ingeniero Hugo Bernal Cardozo, Director Ejecutivo de la Federación Nacional de Arroceros – Municipio de El Espinal.
- c. Ingeniero José David Guzmán, Asesor Técnico Integral de la Federación Nacional de arroceros – Zona Sur del Departamento del Tolima.
- d. Ingeniero René Camargo, Director de Planta de la empresa Agromil Corona.
- e. Ingeniero Diego Fernando Chaparro, Representante de ventas de la empresa Invesa S.A.
- f. Ingeniero Geovany Montoya, Consultor y Asistente Técnico en cultivos propios del Departamento del Tolima (maíz, arroz y otros cultivos de tipo extensivo).

*Fase III: Analizar el contexto organizacional y diseñar la planificación estratégica de la I+D+i para las empresas del sector arrocero*

A partir de los resultados de la consulta a los mencionados expertos del sector arrocero se formuló un diagnóstico del contexto organizacional de la I+D+i a través de la aplicación de las metodologías PESTEL y ZOPP para el desarrollo de la planeación estratégica del Sistema I+D+i (misión, visión, política, objetivos e indicadores de gestión).

*Fase IV: Diseñar los procesos del Sistema de Gestión de la I+D+i*

Con esta información se determinaron los procesos necesarios para generar innovación en las organizaciones y se diseñaron los procesos mediante la metodología IDEF-0, identificando entradas al sistema, herramientas y soportes, controles y salidas del sistema.

*Fase V: Representar gráficamente un modelo para el diseño e implementación y mejora continua de un Sistema de Gestión de la I+D+i*

Estructura visual de las componentes del modelo, referenciando secuencias y relaciones usando herramientas de diseño gráfico.

*Fase VI: Plantear la hoja de ruta con una estrategia de implementación y mejora continua del Sistema de Gestión de la I+D+i*

Para el adecuado desarrollo de esta fase, se analizaron los lineamientos expuestos por la Metodología del Project Management Institute (PMI) en función del diseño de la hoja de ruta, con el paso a paso que debe aplicar cualquier empresa del sector arrocero para el diseño, implementación y mejora continua del Sistema de Gestión de la I+D+i.

Con esta herramienta se actualizó la hoja de ruta, ajustándola en todas sus componentes para inferir la información en función de generalizar el modelo y activarlo de forma práctica para cualquier clase de organización empresarial, complementado con un manual de procedimientos.

<http://guia.interativa.fabricadelicoresdeltolima.com>

## ***Resultados***

Se diseñó un gráfico del sistema de gestión de la I+D+i considerando la norma NTC 5801, es de notar, que el mismo está basado en el modelo de innovación de “tirón de la demanda”, debido a que este tipo de modelos contempla las necesidades del cliente y el mercado, siendo a partir de estas, que la organización aplica procesos de la I+D+i para satisfacer dichas necesidades. El gráfico se presenta en la Figura 1.

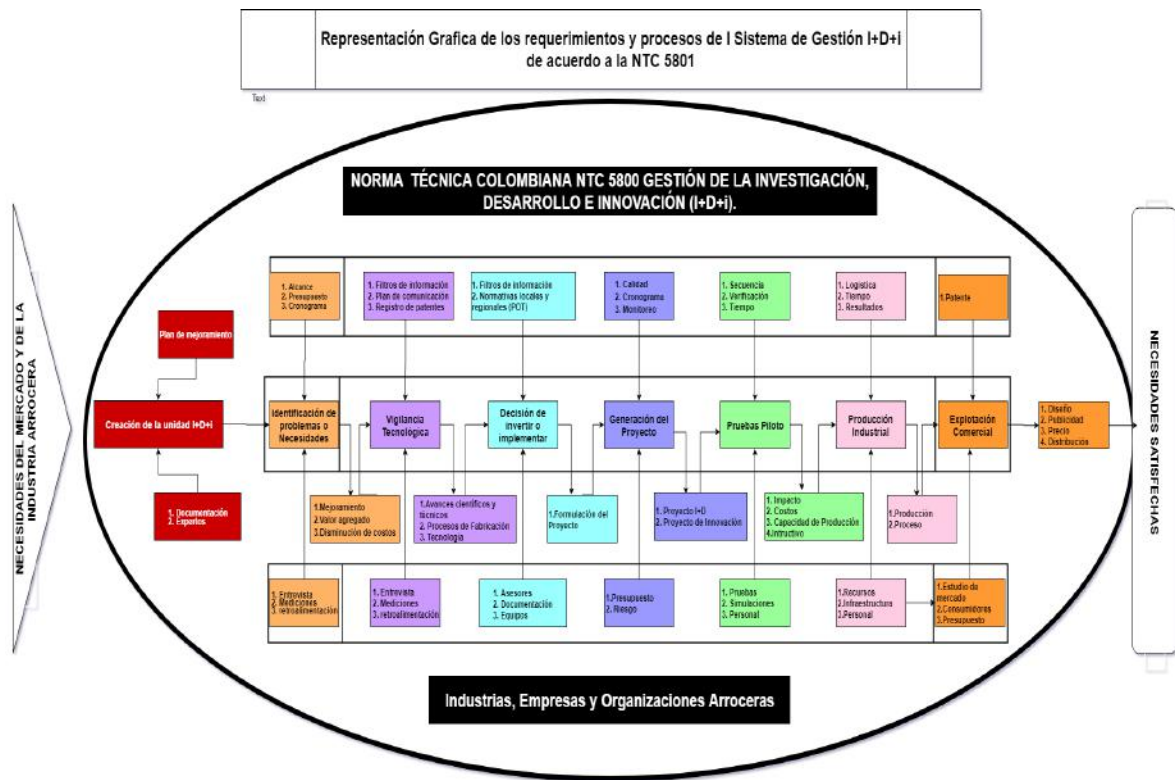


Figura 1. Modelo del Sistema de Gestión I+D+i basado en la NTC 5801

En el modelo propuesto, se contemplaron los siguientes procesos de I+D+i:

- Creación de la unidad I+D+i
- Identificación de problemas o necesidades
- Vigilancia tecnológica
- Decisiones de inversión o implementación
- Generación del proyecto I+D+i
- Pruebas piloto
- Producción industrial
- Explotación comercial.

La maquetación de estos procesos se desarrolló con la metodología IDEF-0 la cual sirve para representar de forma gráfica las entradas, salidas, controles y secuencia de un proceso, un ejemplo de los gráficos desarrollados durante el proceso se puede visualizar en la Figura 2.

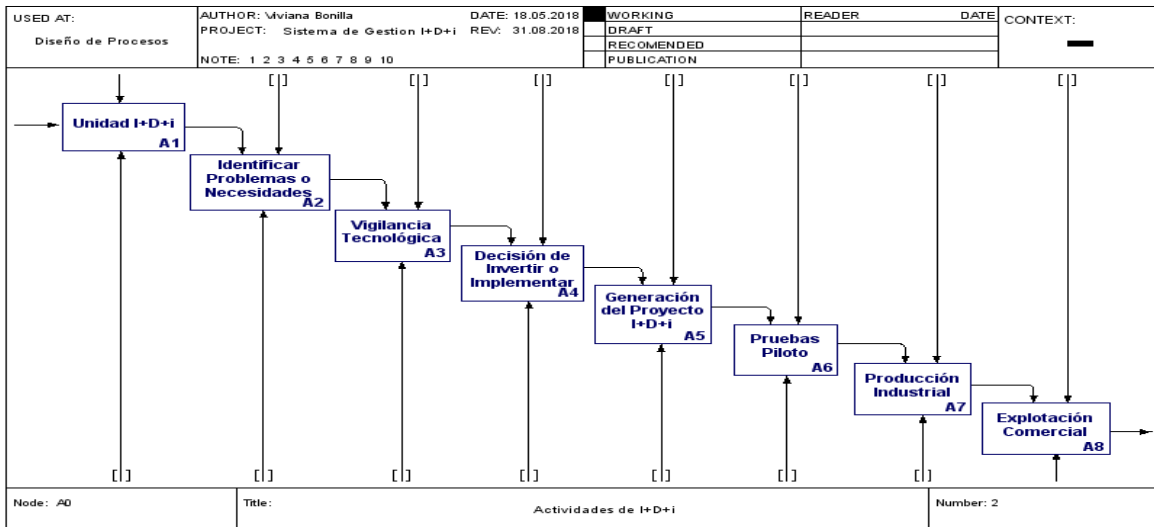


Figura 2. Maquetación de los procesos del Sistema de Gestión de la I+D+i

Para el diagnóstico de la capacidad de una organización para cumplir con los requerimientos de la NTC 5801 – Requisitos del Sistema de Gestión I+D+i se creó una herramienta en Excel que permite evaluar de forma cualitativa y cuantitativa el grado de cumplimiento de la organización con respecto a los requerimientos de la NTC 5801, esta herramienta también permite examinar los resultados obtenidos del análisis de forma gráfica por medio de gráficos de araña, esta herramienta se llama “Autodiagnóstico NTC 5801 Sistema de Gestión de la I+D+i, la cual es una lista de chequeo montada en el software Microsoft Excel 2013.

La herramienta de autodiagnóstico consta de ocho hojas, las cuales están formuladas para realizar el respectivo análisis cuantitativo, cualitativo y gráfico. Cada tipo de requerimiento de la NTC5801 se plasma en una página, la estructura en orden de aparición es la siguiente:

- Resumen Consolidado
- Resumen por capítulo
- 4.1 Requisitos del Modelo y Sistema de Gestión de la I+D+i
- 4.2 Responsabilidad de la dirección
- 4.3 Gestión de los recursos
- 4.4 Actividades I+D+i
- 4.5 Medición Análisis y Mejora
- Plan de Acción

A continuación, se describe un ejemplo de cómo se aplicaría la herramienta de autodiagnóstico; se recomienda hacer el ejercicio en conjunto con personal interno o externo a la organización que haya estudiado la NTC 5801 y de preferencia experto en los procesos de I+D+i en conjunto con un representante de la dirección y si es posible contar con la persona que vaya a quedar encargada en la Unidad de gestión I+D+i.

El equipo de trabajo debe analizar y evaluar cada uno de los requerimientos por hoja, en la hoja “Responsabilidad” en la columna de requerimientos “Responsabilidad de la Dirección” se presentan cada uno de los requerimientos de la NTC 5801 (Figura 3), en la columna “No aplica” el equipo de trabajo determina si el requerimiento aplicaría o no para el Sistema de Gestión de la I+D+i que desea diseñar e implementar la organización.

4.2 RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION	NO APLICA	COMPLETO	PARCIAL
<b>4.2.1 Compromiso de la dirección</b>			<b>0%</b>
La alta dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto al Sistema de gestión de la I+D+i:			
a) Comunicando a la organización la importancia de las actividades de I+D+i.			
b) Estableciendo la política de I+D+i.			
c) Asegurando que se establecen los objetivos de I+D+i.			
d) Llevando a cabo las revisiones por la dirección.			
e) Crear la unidad de gestión de la I+D+i con participación de dos o más miembros de la alta dirección de la organización.			
f) Asegurar disponibilidad de recursos.			
g) Aprobar y revisar el presupuesto de I+D+i			
h) Gestionar la protección y explotación de resultados obtenidos.			
		0	0
<b>4.2.2 Enfoque a las partes interesadas</b>			<b>0%</b>
Como mínimo pondrá atención a:			

Figura 3. Columna de requerimientos “Responsabilidad de la Dirección”

En la Figura 4 se muestra las tres columnas (Completo, Parcial, Ninguno) para el análisis cuantitativo del grado de cumplimiento del requerimiento de la NTC, para la evaluación de este ítem el equipo de trabajo revisa si existe alguna estrategia, herramienta, política, procedimiento, formato de registro, recurso, infraestructura u otro elemento documentado que permita hacer la debida planeación, ejecución, control y seguimiento del proceso ligado al requerimiento. Si se coloca una “x” en la columna “Completo” significa que la organización ha realizado la gestión requerida para cumplir con este requerimiento y que de momento no se identifican oportunidades de mejora; si el equipo de trabajo coloca “x” en la columna “Parcial”, significa que aunque existe algún tipo de desarrollo con respecto al requerimiento pero este aún debe mejorarse para cumplir óptimamente con el requisito; si el equipo selección “x” en “Ninguno” es porque se evidencia que la organización no ha realizado gestión alguna con respecto a ese requerimiento.

4.2 RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION	NO APLICA	COMPLETO	PARCIAL	NINGUNO	QUÉ TIENE?
<b>4.2.1 Compromiso de la dirección</b>					
La alta dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto al Sistema de gestión de la I+D+i:		75%			
a) Comunicando a la organización la importancia de las actividades de I+D+i.		X			
b) Estableciendo la política de I+D+i.			X		
c) Asegurando que se establecen los objetivos de I+D+i.			X		
d) Llevando a cabo las revisiones por la dirección.		X			
e) Crear la unidad de gestión de la I+D+i con participación de dos o más miembros de la alta dirección de la organización.		X			
f) Asegurar disponibilidad de recursos.			X		
g) Aprobar y revisar el presupuesto de I+D+i			X		
h) Gestionar la protección y explotación de resultados obtenidos.		X			
		4	4	0	
<b>4.2.2 Enfoque a las partes interesadas</b>					
Como mínimo pondrá atención a:		70%			
a) Demandas de suministradores y clientes.		X			

Figura 4 Columnas (Completo, Parcial, Ninguno)

Como se muestra en la Figura 4, cada vez se marca una “x” en alguna de las columnas la herramienta está formulada para que pondere el grado de cumplimiento del bloque de requerimiento de 0% a 100%.

En la Figura 5, una vez se han evaluados todos los requerimientos de la hoja, en la misma hoja se plasma un gráfico de araña que muestra de forma visual el grado de cumplimiento de los requerimientos, con lo cual se pueden identificar más fácilmente las falencias y oportunidades de mejora del sistema por bloques de requerimiento.

#### 4.2. Responsabilidad de la dirección

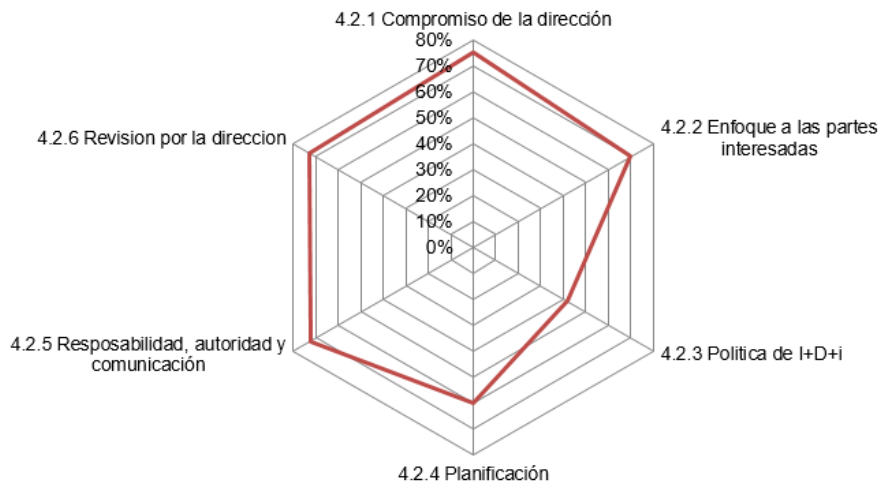


Figura 5. Gráfico de Araña del nivel de cumplimiento por Hoja “Responsabilidades de la Dirección”.



Por último, en cada hoja se tienen las columnas “¿Qué tiene?” y “¿Qué nos falta?”, un ejemplo de cómo se diligenciarían se muestra en la Figura 6. Si el requerimiento se marcó con “x” en la columna “completo”, en la columna “¿Qué tiene?” se procede a especificar con que elementos cuenta la empresa para satisfacer este requerimiento; Si el requerimiento se marcó como parcial, en la columna “¿Qué tiene?” se precisa que gestión u elementos ha realizado la organización para satisfacer con este requerimiento y en qué ¿Qué Falta?, se pondría la clase de elementos que deben existir para cumplir de forma completa con el requerimiento, esto último aplica también si se marcó el requerimiento como “Incompleto”.

4.2 RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION	NO APLICA	COMPLETO	PARCIAL	NINGUNO	¿QUÉ TIENE?	QUE NOS FALTA
<b>4.2.1 Compromiso de la dirección</b> La alta dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto al Sistema de gestión de la I+D+i:		69%				
a) Comunicando a la organización la importancia de las actividades de I+D+i.		x			La Organización ha realizado varias capacitaciones a los colaboradores de la empresa sobre la importancia de la Gestión de la I+D+i y los beneficios que podría traer a la	
b) Estableciendo la política de I+D+i.			x		Hay formulada una Política I+D+i en la empresa, pero esta podría mejorarse.	Se recomienda formular una política I+D+i donde no solo se especifique los resultados esperados de las actividades I+D+i, sino también se establezcan estrategias para alcanzar estos resultados y se definan los estándares de gestión I+D+i, como lo serían la NTC 5801 u otros similares.
c) Asegurando que se estable con los objetivos de I+D+i.				x		La empresa no ha formulado los objetivos I+D+i, estos deben ser medibles y alcanzables, un ejemplo sería identificar de forma continua las necesidades de los consumidores y buscar satisfacerlas a través de procesos de Gestión de la Calidad e I+D+i.

Figura 6. Columnas “¿Qué tiene?” y “¿Qué nos falta?”

A medida que se van diligenciando las hojas de los requerimientos, en la hoja “Resumen por Capitulo” se van mostrando los gráficos de araña de cada uno de los tipos de requerimientos de la NTC 5801, esto se muestra en la Figura 7.

Por último, tenemos la hoja “Resumen Consolidado”, cuando se ha diligenciado cada una de las hojas de los tipos de requerimiento, esta muestra un gráfico de araña, representa de forma visual y porcentual las fortalezas y debilidades de la organización frente a su Sistema de Gestión de la I+D+i, este grafico se muestra en la Figura 8.

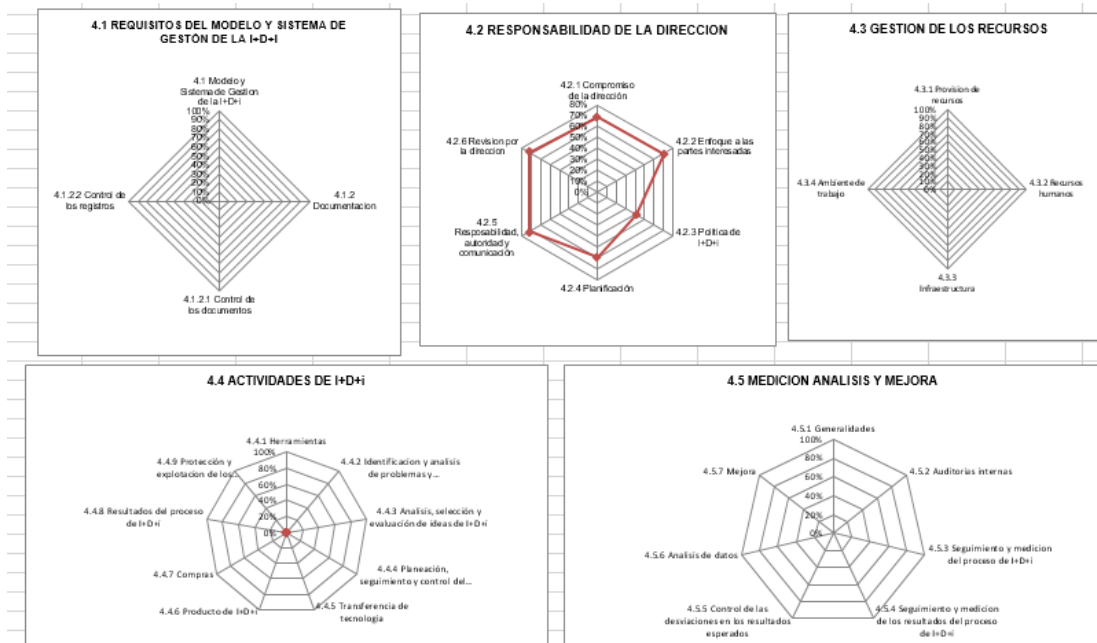


Figura 7. Gráficos de Araña “Resumen por Capítulo”

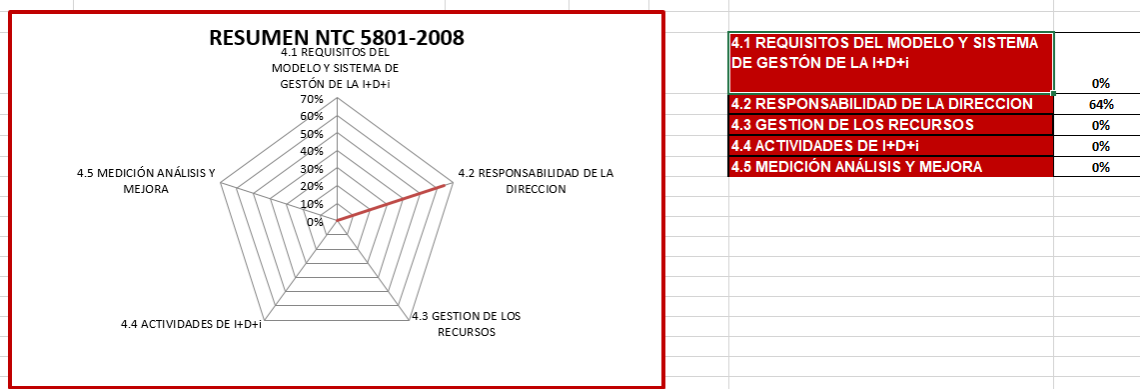


Figura 8. Gráficos de Araña “Resumen por Capítulo”

Con la información más pertinente del proyecto recopilando la información, se genera una Guía Interactiva, en la cual, haciendo uso de la herramienta de autodiagnóstico, las organizaciones podrán evaluar su estado actual frente a la NTC 5801. La guía interactiva fue montada en el siguiente enlace: <http://guia.interactiva.fabricadelicoresdeltolima.com>

La guía interactiva se estructura de la siguiente forma:

- Inicio: hace referencia a la página principal de la guía interactiva, en ella se ubican cinco recuadros, en los cuales se presenta la información necesaria para realizar el autodiagnóstico, así como los requerimientos exigidos en la NTC 5801. Esta sección de la guía interactiva se muestra en la Figura 9.

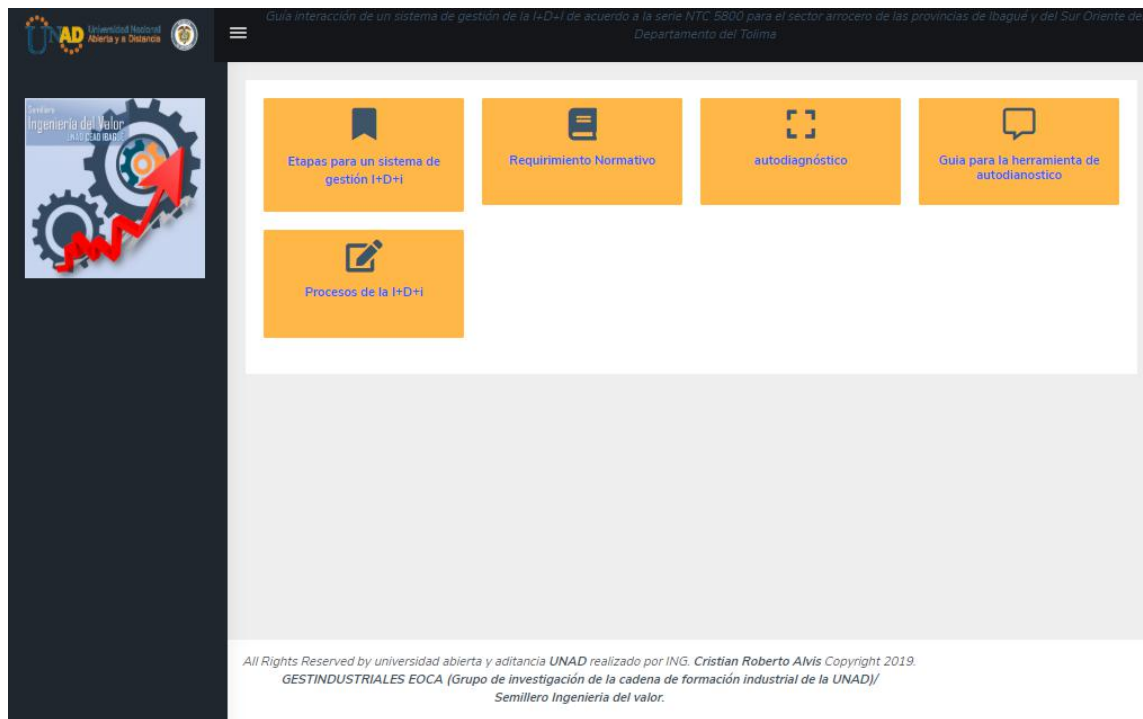


Figura 9. Página principal de la Guía Interactiva

- Etapas para un Sistema de Gestión de la I+D+i: Esta página tiene asignada la información correspondiente al proceso cualitativo que deberán emprender las compañías al momento de iniciar su certificación para la NTC 5801. Esta página se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Etapa para lograr un Sistema de Gestión de la I+D+i

- **Requerimientos normativos:** Esta información se representa de forma general el marco normativo requerido para el diseño e implementación de un Sistema de Gestión de la I+D+i. Esta pagina se presenta en la Figura 11.

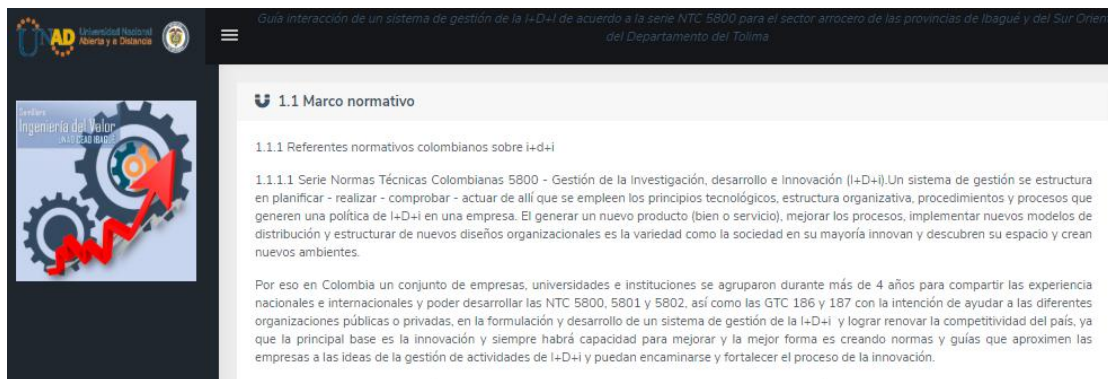


Figura 11. Requerimientos normativos para un Sistema de Gestión de la I+D+i

- **Guía para aplicar la herramienta de autodiagnóstico:** En esta página se explica la forma de utilizar la herramienta de autodiagnóstico para determinar que grado de capacidad tiene una organización para cumplir con los requerimientos de la NTC 5801, esta página se presenta en la Figura 12.

Guía Interactiva de un sistema de gestión de la I+D+i de acuerdo a la serie NTC 5801 para el sector asociado de las provincias de Ibagué y del Sur Oriente del Departamento del Tolima

### 1. Herramientas para el autodiagnóstico del grado de cumplimiento de los requerimientos de la NTC 5801 - Sistema de Gestión I+D+i

Para el diagnóstico de la capacidad de una organización para cumplir con los requerimientos de la NTC 5801 – Requisitos del Sistema de Gestión I+D+i se creó una herramienta en Excel que permite evaluar de forma cualitativa y cuantitativa el grado de cumplimiento de la organización con respecto a los requerimientos de la NTC 5801, esta herramienta también permite examinar los resultados obtenidos del análisis de forma gráfica por medio de gráficos de araña, esta herramienta se llama "Autodiagnóstico NTC 5801 Sistema de Gestión de la I+D+i [Anexo A]"

La herramienta de autodiagnóstico consta de ocho hojas, las cuales están formuladas para realizar el respectivo análisis cuantitativo, cualitativo y gráfico. Cada tipo de requerimiento de la NTC5801 se plasma en una página, la estructura en orden de aparición es la siguiente:

- Resumen Consolidado
- Resumen por capítulo
- 1 Requisitos del Modelo y Sistema de Gestión de la I+D+i
- 2 Responsabilidad de la dirección
- 3 Gestión de los recursos
- 4 Actividades I+D+i
- 5 Medición Análisis y Mejora
- Plan de Acción

### 2. Metodología para el análisis cualitativo y cuantitativo del grado cumplimiento de los requerimientos de la NTC 5801

A continuación, se describe un ejemplo de cómo se aplicaría la herramienta de autodiagnóstico, se recomienda hacer el ejercicio en conjunto con personal interno o externo a la organización que haya estudiado la NTC 5801 y de preferencia experto en los procesos de I+D+i en conjunto con un representante de la dirección y si es posible contar con la persona que vaya a quedar encargada en la Unidad de gestión I+D+i.

El equipo de trabajo deberá analizar y evaluar cada uno de los requerimientos por hoja, en la hoja "Responsabilidad" en la columna de requerimientos "Responsabilidad de la Dirección" se presentan cada uno de los requerimientos de la NTC 5801 (ilustración B), en la columna "No aplica" el equipo de trabajo determina si el requerimiento aplicaría o no para el Sistema de Gestión de la I+D+i que desea diseñar e implementar la organización.

4.2 RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION	NO APLICA	COMPLETO	PARC
<b>4.2.1 Compromiso de la dirección</b>			
La alta dirección debe demostrar liderazgo y compromiso con respecto al Sistema de gestión de la I+D+i:			0%
a) Comunicando a la organización la importancia de las actividades de I+D+i.			
b) Estableciendo la política de I+D+i.			
c) Asegurando que se establecen los objetivos de I+D+i.			
d) Llevando a cabo las revisiones por la dirección			

Figura 12. Guía para la explicación de la herramienta de autodiagnóstico

• Herramienta de diagnóstico: A través de esta página se puede acceder de forma gratuita a la herramienta lista de chequeo montada en el software Microsoft Excel 2013, mediante esta herramienta un funcionario de una organización puede determinar de forma cuantitativa y cualitativa el grado de cumplimiento de la organización con respecto a los requerimientos de la NTC 5801 y que esta pueda diseñar e implementar su propios Sistema de Gestión de la I+D+i. En la Figura 13 se muestra la herramienta en línea.

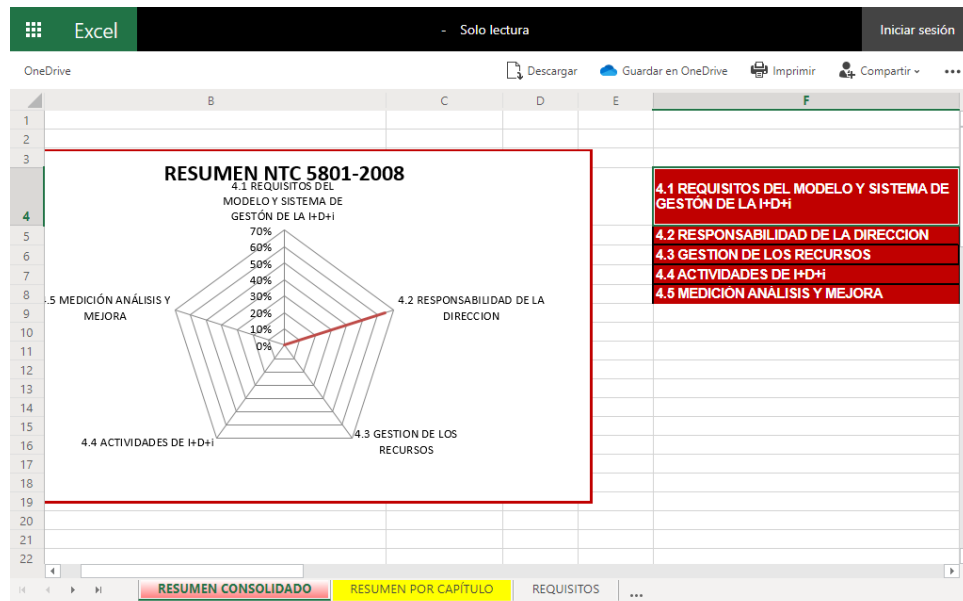


Figura 13. Herramienta para el autodiagnóstico montada en la Guía Interactiva

- Procesos de la I+D+i: En esta página que se presenta en la Figura 14, se listan y explican cada uno de los procesos del Sistema de Gestión de la I+D+i, los cuales están graficados con la metodología IDEF-0. En la Figura 14 se muestra parte de esta página.



Figura 14. Procesos del I+D+i

## Conclusiones

1. El diseño de la guía interactiva registrada en el presente documento, ha permitido a manera de producto académico alterno, identificar y obtener importante información de la fuente primaria empresarial, el sector arrocero del Tolima que, dadas sus características de productor líder a nivel nacional, sirvió como elemento representativo para este estudio. Teniendo en cuenta lo anterior, se recopiló y se analizó información sobre su actual situación frente a procesos tecnológicos, innovación, investigación, aplicación de nuevos conocimientos y las condiciones de producción a través del análisis comparativo de la Serie NTC 5800.

2. La exploración sistemática de las condiciones empresariales actuales posibilitó el diseño del proceso de implementación del Sistema de Gestión I+D+i, el cual se estructuró a través de ocho (8) subprocesos debidamente identificados en sus variables fundamentales, caracterizadas por las entradas al sistema, herramientas y soportes tecnológicos requeridos, controles y salidas del sistema. Este proceso general y sus respectivos ocho (8) subprocesos se diseñaron a través de la aplicación Ramus Educational en su versión IDEF-0 y son los siguientes:

- Creación de la unidad I+D+i
- Identificación de problemas o necesidades
- Vigilancia tecnológica
- Decisiones de inversión o implementación
- Generación del proyecto I+D+i
- Pruebas piloto
- Producción industrial
- Explotación comercial.

3. Soportados en lo anterior, fue posible concebir un modelo para el Sistema de la I+D+i de acuerdo a la serie NTC 5800, proporcionando una visión real de las exigencias expuestas en la NTC 5801 y generando los elementos requeridos para el diseño y desarrollo de la herramienta de autodiagnóstico.

4. Como resultante de este proceso, se desarrolló un aplicativo altamente amigable para el autodiagnóstico de la serie NTC 5801 del Sistema I+D+i en formato Excel - Anexo A del presente documento, el cual permite diagnosticar el estado actual de la organización evaluada, en función de su mejoramiento continuo teniendo como base las necesidades expuestas y el uso de un sistema eficaz y confiable. A partir del autodiagnóstico propuesto en la guía interactiva, se obtiene un análisis en términos cuantitativos y cualitativos, fundamentado en la capacidad de las organizaciones para el adecuado cumplimiento de los requerimientos de la NTC 5801.

## ***Referencias***

*ACIISI, Agencia Canaria de Investigación e Innovación y Docencia de la Información. (2010). Innovación y Competitividad Empresarial. Obtenido de bonos.itccanarias:<http://bonos.itccanarias.org/descargas/ficheros/Modulo%20Informativo%20Innovacion.pdf>*

- Arroyo, S. (2014). *Vision del Desarrollo Agroindustrial*. Obtenido de *Revista Nacional de Agricultura*: <https://sac.org.co/revista-nacional-de-agricultura-edicion-962/>
- Colciencias . (2016). *Transferencia de conocimiento, una estrategia para potencializar la investigación*. Obtenido de *colciencias.gov.co*: [https://www.colciencias.gov.co/sala\\_de\\_prensa/transferencia-conocimiento-una-estrategia-para-potencializar-la-investigacion](https://www.colciencias.gov.co/sala_de_prensa/transferencia-conocimiento-una-estrategia-para-potencializar-la-investigacion)
- Correa, C. Y. (2007). *Factores determinantes y propuestas para la gestion en las empresas constructoras*. Obtenido de *Revista Ingenieria de Contrucción*: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732007000100001](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732007000100001)
- Duque, L. (2008). *Procesos*. Obtenido de *Saludpublicavirtual.udea.edu.co*: <http://saludpublicavirtual.udea.edu.co/cvsp/Practica%20procesos/Metodologias%20procesos/Procesos%20MPE.pdf>
- El Espectador*. (2013). *Sólo el 9% de las empresas en Colombia son nnovadoras*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/economia/solo-el-9-de-empresas-colombia-son-innovadoras-articulo-437507>
- Escobar, J. C. (2005). *El arroz: la principal actividad en 211 municipio*. Obtenido de *El Tiempo*: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1636288>
- FEDEARROZ. (2015). *Adopción Masiva de Tecnología* . Obtenido de *Fedearriz.com.co*: [http://www.fedearroz.com.co/docs/Guia\\_de\\_trabajo\\_baja.pdf](http://www.fedearroz.com.co/docs/Guia_de_trabajo_baja.pdf)
- FEDEARROZ. (2016). *Investigación y Transferencia de Tecnología*. Obtenido de *Fedearroz.com.co*: <http://www.fedearroz.com.co/new/investigacion.php>
- Fernández, A. (2013). *Proceso de mejoramiento continuo*. Obtenido de *www.UV.mx*: <https://www.uv.mx/iiesca/files/2013/01/mejoramiento2004-2.pdf>
- Giraldo, R. (s.f.). *Mejoramiento del proceso de compra de la constructora SSinco s.a.s*. Obtenido de *Repositorio.ucm.edu.co*: <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1885/Ricardo%20Alberto%20Giraldo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guerra, K. M. (2013). *Análisis bibliométrico de las publicaciones relacionadas con proyectos de innovación y su gestión en Scopus, en el período 2001-2011*. Obtenido de *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2307-21132013000300006&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2307-21132013000300006&lng=es&tlng=es)
- Landazury, L. J. (2018). *Innovación y modelos de gerencia: su reflexión transformadora desde lo humano y el conocimiento*. Obtenido de *revistaespacios.com*: <http://www.revistaespacios.com/a18v39n13/a18v39n13p20.pdf>



- Ministerio de Educacion Nacional. (2006). *La Innovación Tecnológica se aplica al cultivo de arroz*. Obtenido de Minieducación: <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/printer-100247.html>
- Morera, J. (2002). *Definiciones del mejoramiento continuo*. Obtenido de Gestipolis.com: <https://www.gestipolis.com/definiciones-del-mejoramiento-continuo/>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Economico (OCDE). (2002). *Manual Frascati. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Economico (OCDE) - Expertos Nacionales en Estadística de Investigación y Desarrollo (NESTI)*.
- Organización para la cooperación y desarrollo económico (OCDE). (2018). *Manual de Oslo - Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. Obtenido de <http://www.itq.edu.mx/convocatorias/manualdeoslo.pdf>
- Orozco, j. (2016). *Acciones de mejoramiento continuo en la comunicación organizacional de la institucion educativa carlos enrique cortes herrera*. Obtenido de [Repositorio.ucm.edu.co](http://repositorio.ucm.edu.co): <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1293/Juan%20fernando%20Orozco%20Becerra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ovalee Alex, R. L. (2012). • *Relación de la Norma Técnica Colombiana Icontec NTC 5801 con los procesos de gestión de la innovación en las Pymes del sector textil y de confección de Manizales*. Obtenido de [Repositorio Dspace](http://repositorio.autonoma.edu.co/xmlui/handle/11182/749): <http://repositorio.autonoma.edu.co/xmlui/handle/11182/749>
- Portafolio. (2016). *¿Cómo está Colombia en innovación?* Obtenido de [Portafolio.co](http://www.portafolio.co/innovacion/como-esta-colombia-en-501167): <https://www.portafolio.co/innovacion/como-esta-colombia-en-501167>
- Salvador, G. (2016). *Agregado de Valor* . Obtenido de [Inta.gob.ar](https://inta.gob.ar/sites/default/files/agregado_de_valor._compartiendo_conceptos.pdf): [https://inta.gob.ar/sites/default/files/agregado\\_de\\_valor.\\_compartiendo\\_conceptos.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/agregado_de_valor._compartiendo_conceptos.pdf)
- Semana. (2015). *Lo que le falta a Colombia en innovación*. Obtenido de [www.semana.com](https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/colombia-avanza-en-el-ranking-del-indice-mundial-de-innovacion/447262-3): <https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/colombia-avanza-en-el-ranking-del-indice-mundial-de-innovacion/447262-3>
- Semana . (2016). *Colombia, un mal país para ser investigador*. Obtenido de [www.semana.com](https://www.semana.com/educacion/articulo/estudio-de-la-red-de-indicadores-de-ciencia-y-tecnologia-asegura-que-colombia-tiene-7000-investigadores/461104): <https://www.semana.com/educacion/articulo/estudio-de-la-red-de-indicadores-de-ciencia-y-tecnologia-asegura-que-colombia-tiene-7000-investigadores/461104>
- Valencia, G. S. (2015). *Propuesta de los lineamiento Teorocp-conceptuañes para el diseño de un modelo de gestion de I+D+i en la instrua de bioinsumos*. Obtenido de [revistas.upb](https://revistas.upb.edu.co/index.php/industrial/article/view/7070): <https://revistas.upb.edu.co/index.php/industrial/article/view/7070>
- Velasco, E. Z. (2007). *Evolución de los modelos sobre el proceso de innovación: desde el modelo lineal hasta los sistemas de innovación*. Obtenido de [Universidad de la Rioja](https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2499438): <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2499438>

# 17

## ***Algoritmo de solución multiobjetivo para el problema ruteo de vehículos considerando múltiples depósitos y restricción de precedencia***

### ***Multi-objective algorithm for the vehicle routing problem considering multiple depots and backhauling***

Jhon Jairo Santa Chávez<sup>1</sup>, César Augusto Peñuela Meneses<sup>2</sup>

#### ***Resumen***

En este capítulo se considera la formulación de técnicas de solución al problema de la elaboración de rutas para el transporte de mercancías considerando variables como: distancia, tiempo de recorrido entre clientes, consumo de energía en los vehículos, cantidad de vehículos utilizados, y el empleo de redes de retorno. Se considera el uso de flota homogénea, permitiendo profundizar en los aspectos que son motivo del presente estudio. En la literatura revisada se han encontrado pocos trabajos previos que resuelvan instancias del presente problema, con restricción de precedencia puro, es decir, sin permitir mezclas de recolección y entrega simultáneas, ni iniciar recolección sin haber desocupado completamente el vehículo, lo cual resalta el carácter innovador de la propuesta de solución a un problema de alta complejidad. Los algoritmos propuestos se han evaluado en más de 30 instancias descritas en la literatura especializada. Dicho conjunto cuenta con una diversidad

---

<sup>1</sup>Ph D., Universidad Tecnológica de Pereira, [jhonjairo.santa@gmail.com](mailto:jhonjairo.santa@gmail.com), Universidad Libre Seccional Pereira, [jhonj.santac@unilibre.edu.co](mailto:jhonj.santac@unilibre.edu.co)

<sup>2</sup>Ph D., Universidad Libre, [cesara.penuelam@unilibre.edu.co](mailto:cesara.penuelam@unilibre.edu.co)

en número de clientes que van desde 50, hasta 250 clientes, y un número de depósitos que oscila entre dos (2) y cinco (5).

**Palabras clave:** *Ruteo de vehículos, restricción de precedencia, optimización multiobjetivo, metaheurística.*

### ***Abstract***

This chapter considers the formulation of techniques for solving the problem of developing routes to transport goods regarding variables such as: distance, travel time between customers, vehicle energy consumption, number of vehicles used, and employment of the backhaul concept. The use of a homogeneous fleet allows to deepen the aspects that are the reason for this study. In the literature reviewed, few previous works have been found that solve instances of the present problem, with restriction of pure precedence, that is, without allowing simultaneous collection and delivery mixtures, nor starting collection without having completely vacated the vehicle, which highlights the innovative feature of the proposed solution to a high complexity problem. The proposed algorithms have been tested in more than 30 instances described in the specialized literature. This set has a diversity in the number of clients ranging from 50, to 250 clients, and a number of deposits ranging among two (2) and five (5) depots.

**Keywords:** *vehicle routing, backhaul, multiobjective optimization, metaheuristic.*

### ***Introducción***

El diseño de rutas óptimas para el transporte de mercancías y el despacho de vehículos apropiados para ello es un proceso logístico cada vez más difícil de estructurar debido a diversos factores, tales como, por ejemplo, la tendencia en el crecimiento de la demanda, limitación en los tiempos de entrega, mayor área de cobertura, y, adicionalmente, la acción de un mercado cada vez más competitivo. Dichos factores conllevan a la búsqueda de modelos operativos que maximicen los recursos disponibles y garanticen la atención de todos los clientes.

El transporte tradicional de carga contempla el despacho de vehículos desde centros de depósito hasta los puntos definidos por su clientela. Estos vehículos, en el proceso de distribución de mercancías, deben cumplir con un recorrido apropiado con el fin de garantizar el trayecto que minimice los costos de combustible, y, adicionalmente, ofrezca a los usuarios menores tiempos de entrega. Actualmente, las empresas de transporte se encuentran

revaluando su estructura logística, abordando el problema de despacho de rutas de una forma más integral. Bajo este enfoque, se ha considerado la implementación del concepto de “Backhaul” como una estrategia para prevenir recorridos en los que vehículos transite vacíos (sin carga), generando con ello:

- Ahorros significativos en transporte de mercancías.
- Mejora los tiempos de atención a los clientes.
- Menor uso de combustible y reducción del impacto ambiental
- Mejorar el indicador de cumplimiento de la compañía en la entrega de pedidos completos al cliente, es decir, mejora la relación entre lo solicitado y lo realmente entregado.
- Entrega de evidencias al 100%.

Sin embargo, encontrar una solución a un problema real, formado por numerosos clientes, varios depósitos, y con restricción de precedencia al aplicar el concepto de “Backhaul”, es una tarea en extremo compleja, dada la gran cantidad de posibles alternativas de solución no continuas, lo que conlleva a un problema no lineal entero mixto que de tipo NP-completo. En este capítulo se considera la formulación de técnicas de solución al problema de la elaboración de rutas para el transporte de mercancías considerando variables como: distancia, tiempo de recorrido entre clientes, consumo de energía en los vehículos, cantidad de vehículos utilizados, y el empleo de redes de retorno. En la literatura revisada se han encontrado pocos trabajos previos que resuelvan instancias del presente problema, con Backhaul puro, es decir sin permitir mezclas de recolección y entrega simultaneas, ni iniciar recolección sin haber desocupado completamente el vehículo, lo cual resalta el carácter innovador de la propuesta de solución. Los algoritmos propuestos se han evaluado en más de 30 instancias descritas en la literatura especializada. Dicho conjunto cuenta con una diversidad en número de clientes que van desde 50, hasta 250 clientes, un número de depósitos de 2, hasta 5, y diversa capacidad de carga en los vehículos.

### ***Descripción del problema***

En las últimas décadas han aparecido diferentes propuestas para resolver problemas de ruteo de vehículos con solo restricciones básicas de capacidad. Se consideró inicialmente como una extensión del problema del agente del comercio considerando múltiples vendedores (Reza Eshtehadi, 2020), (Yong Wang, 2018), que ha venido evolucionando e incorporando restricciones más realistas y diversas técnicas de solución (Cacchiani V., Escobar, Escobar Falcon, Linfati, & Toth, 2018). En (Toth & Vigo, 2002) se menciona la primera aproximación para la formulación de un problema para el problema de distribución

de combustible. En (Wright & Clarke, 1964)] se propone el primer algoritmo heurístico efectivo para la solución del problema de ruteo con restricciones de capacidad (CVRP, por sus siglas en inglés: Capacitated Vehicle Routing Problem), denominado algoritmo de los ahorros. Este método comienza con el conjunto de todas las rutas en las que se logre conectar el depósito y un sólo cliente. De manera iterativa, el algoritmo une dos rutas si se logra algún grado de ahorro en la distancia recorrida (o en el objetivo que se esté buscando optimizar). La ecuación (1) define la forma en que se calcula el ahorro, donde  $S$  es una estimación del máximo ahorro  $S_{ij}$  y  $p$  es un parámetro de ajuste del factor de penalización y tiene un valor entre 0 y 1.

$$S'_{ij} = \begin{cases} S_{ij} - p \cdot S & \text{si } i \in L, j \in B \text{ ó viceversa} \\ S_{ij} & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (4)$$

El primer algoritmo heurístico para el problema considerando restricción de precedencia (VRPB por sus siglas en inglés Vehicle Routing Problem with Backhauls) fue propuesto en (Deif & Bodin, 1984)]. El algoritmo propuesto es una extensión del conocido método de los ahorros propuesto en (Wright & Clarke, 1964). El algoritmo propuesto comienza con una solución factible en la que cada cliente es visitado por una ruta diferente. Las rutas se combinan iterativamente considerando el ahorro en términos del costo de enrutamiento, que se puede lograr sirviendo a dos clientes en la misma ruta. Los resultados obtenidos utilizando por el algoritmo estándar de (Wright & Clarke, 1964) para la solución de VRPB se ven afectados por el hecho de que la restricción de precedencia reduce sustancialmente el número de conexiones factibles entre clientes. (Deif & Bodin, 1984) experimentalmente muestran que, para el VRPB, los mejores resultados se obtienen mediante la formación de rutas mixtas. Por lo tanto, en dicho trabajo se ha propuesto la modificación de la definición de ahorro al penalizar a los arcos que conectan los clientes de diferentes tipos, retrasando así la unión de los clientes tipo recolección. El algoritmo propuesto es validado en instancias generadas de manera aleatoria con entre 100 y 300 clientes y un porcentaje con requisito de entrega entre 10% y 50%. El problema de Ruteo de Vehículos con Múltiples Depósitos con consideraciones de restricción de precedencia (MDVRPB, por sus siglas en inglés Multiple depot vehicle routing problem) es una extensión del tradicional VRPB con la inclusión de varios depósitos, los cuales no deben ser necesariamente usados en su totalidad (Majid Eskandarpour, 2019), (Yongbo Li, 2019), (Wang, Weng, & Zhang, 2019), (Calvet, Wang, Juan, & Bove, 2019).

El MDVRPB es considerado un problema tipo NP-Completo, y ha sido poco explorado en la literatura. La literatura relacionada con el MDVRPB puede ser clasificado en tres categorías principales: (i) recogidas y despachos simultáneos; (ii) recogidas y

despachos mixtos; y (iii) recogidas exclusivamente después de haber realizado despachos. En (Salhi & Nagy., 1999.) se propone un algoritmo heurístico para resolver el MDVRPB con recogidas y despachos mixtos. El algoritmo está basado en la idea de “clientes de frontera”, los cuales son clientes ubicados aproximadamente en la mitad de dos depósitos. En (Min., Current, Schilling, & Current, 1992) se introduce por primera vez el problema de MDVRPB considerando recogidas después de haber realizado entregas.

Dos algoritmos basados en colonias de hormigas para resolver el problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos con estrategia mixta de recogida y despacho se presentan en (Wade & Salhi, 2003), mientras que en (Xu, Pu, & Duan, 2018) la misma estrategia. Finalmente, algoritmos genéticos para el MDVRPB han sido propuestos por William, George, Ping y Henry (2008), Chunyu y Xiaobo (2009) y (2009b) y Chunyu (2009), mientras que la técnica de Búsqueda tabú se propone en (María Soto, 2017), (David S.W. Lai, 2016), y (Goeke, 2019).

### ***Modelo Matemático del problema***

El problema de ruteo de vehículos con Backhauls, es una extensión del bien conocido VRP involucrando nodos de demanda y recolección de mercancía (Toth & Vigo, 2002). El VRPB se define como el problema de determinar un conjunto de rutas que visitan todos los consumidores con las siguientes características: cada vehículo desarrolla una sola ruta; cada ruta empieza y finaliza en el depósito (Sifeng Lin, 2017), (Naveed Wassan, 2017); las rutas deben entregar producto primero a los clientes definidos como Linehaul (clientes a los que se les entrega mercancía) y finalmente recoger productos a los clientes definidos como Backhaul (clientes a los que se le recoge mercancía).

El MDVRPB puede ser formulado a través de un problema de teoría de grafos de la siguiente manera: sea  $G = (V, A)$  donde  $V = \{1, \dots, n + m\}$  es el conjunto de vértices y  $A$  es el conjunto de arcos que conectan los vértices del grafo. El conjunto  $V$  es dividido en dos subconjuntos: el conjunto total de clientes a ser atendidos  $N$ , con  $N = \{1, \dots, n\}$ , y el conjunto de depósitos  $M$ , con  $M = \{n + 1, \dots, n + m\}$ , donde  $n$  es el número total de clientes, y  $m$  el número de depósitos. El conjunto  $N$  a su vez se subdivide en el subconjunto de nodos a los que se entrega mercancía (clientes Linehaul -  $L$ ) y subconjunto de nodos a los cuales se les recoge mercancía (clientes Backhaul -  $B$ ), es decir  $N = L \cup B$ .

Una cantidad no negativa  $D_j$  de productos debe ser entregada o recogida es asociada a cada cliente  $j \in N$ . Cada uno de los depósitos posee una demanda ficticia ( $D_j = 0 \forall j = n + 1, n + 2, \dots, n + m$ ), y un conjunto  $K$  de vehículos idénticos con una capacidad dada  $Q$ .

Por otro lado, existe un valor no negativo  $c_{ij}$  equivalente al costo asociado al cruzar el arco  $(i, j) \in A$  el cual conecta el vértice  $i$  con  $j$ , con  $i, j \in V$ , con  $c_{ii} = +\infty$  para cada  $i \in V$ , y  $c_{ij} = c_{ji}$  para cada  $i, j \in V$  tal que  $i \neq j \in V$ . El objetivo es encontrar el menor costo (distancia recorrida) de una colección de rutas donde se cumplan las siguientes condiciones (Toth & Vigo, 2002).:

- Cada ruta parte del depósito  $m$  visita los vértices y regresa al mismo depósito  $m$  de inicio.
- Cada cliente es visitado exactamente una vez.
- La suma de las demandas de los vértices de recogidas y entregas de un circuito no debe exceder, separadamente la capacidad del vehículo  $C$ .
- En cada circuito los vértices  $L$  preceden a los vértices  $B$ .
- No se permite flujo entre depósitos.
- El objetivo es minimizar el costo total de la distancia recorrida, definido como la suma de los costos de los arcos que pertenecen a las rutas establecidas.

Un modelo matemático para el MDVRPB se propone en (Santa Chávez, Granada Echeverri, Escobar, & Peñuela Meneses, 2015): La función objetivo minimiza la distancia/tiempo total en los recorridos de las diferentes rutas (5), donde la variable binaria  $x_{ijk}$  es igual a uno cuando el vehículo  $k$  pasa la el trayecto  $(i, j) \in A$ . De lo contrario  $x_{ijk}$  es cero.

$$z = \begin{cases} \min \left( \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} \sum_{k \in K} x_{ijk} \right) \\ \min \left( \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} t_{ij} \sum_{k \in K} x_{ijk} \right) \end{cases} \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (6)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ijk} = \sum_{i \in V} x_{jik} \quad \forall j \in V, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{i \in L} d_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{i \in B} d_i \sum_{j \in V} x_{ijk} \leq Q_k \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{i \in L} d_i \sum_{j \in B} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (11)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad (12)$$

Las ecuaciones (6) limitan a una sola visita del vehículo a cada cliente. Además, el conjunto de ecuaciones (7) imponen las restricciones de flujo para cada cliente. Cada ruta se realiza debe ser iniciado y terminado en el mismo depósito (8). La capacidad de los vehículos está limitada por las ecuaciones (9) y (10) para los clientes de entrega (linehaul) y (backhaul), respectivamente. Por último, los clientes linehaul deben ser visitados antes de que los clientes de backhaul (11). La solución del modelo matemático exacto (5) - (12) se hará por algoritmos heurísticos.

Definición de Variables:  $c_{ij}$  = Distancia entre los nodos  $i$  y  $j$ ,  $D$  = Conjunto de depósitos,  $L$  = Conjunto de Clientes Linehaul,  $B$  = Conjunto de Clientes Backhaul,  $C$  = Conjunto Total de Clientes,  $K$  = Total Vehículos,  $q_C$  = Demanda de los clientes y  $S_k$  = Vehículo Capacidad  $k$ .

### ***Codificación de alternativas de Solución***

Definiendo el número de depósitos como  $nd$ :  $D_1, D_2, \dots, D_{nd}$ , el número de clientes Linehaul como  $nl$ :  $L_1, L_2, \dots, L_{nl}$  y el número de clientes Backhaul como  $nb$ :  $B_1, B_2, \dots, B_{nb}$ , el algoritmo propuesto desarrolla las siguientes rutas para un sistema con un número de depósitos ( $nd$ ) igual a tres (3) depósitos:  $D_1, D_2$  y  $D_3$ , con siete (7) clientes de entrega  $nl$  (Linehaul):  $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$  y  $L_7$  y con siete (7) clientes de recolección  $nb$  (Backhaul):  $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$  y  $B_7$ , se puede plantear la siguiente solución:

**Ruta Linehaul – Backhaul:** en este recorrido se parte del depósito se pasa al cliente Linehaul, se sigue a los siguientes clientes Linehaul hasta no tener clientes de este tipo pendientes de visitar o copar la capacidad del vehículo, se pasa a un cliente Backhaul se continua con clientes Backhaul utilizando el mismo criterio antes mencionado para construir la ruta Linehaul, y se finaliza terminando esta ruta en el mismo depósito de inicio. Ruta  $D_2$ - $L_1$ - $L_6$ - $L_7$ - $B_5$ - $B_1$ - $B_6$ - $D_2$  (Figura 10).



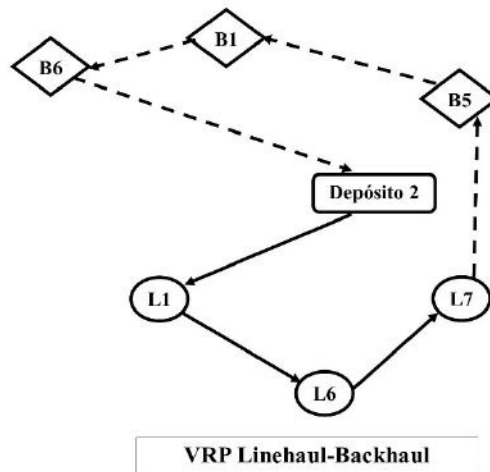


Figura 10. Esquema Ruta Linehaul – Backhaul.

En su construcción, se inicializa con los clientes Linehaul que pueden ser elegidos dentro del recorrido y se van eliminando del vector a medida que son visitados, su primer elemento será 1 y su último elemento será el número total de clientes Linehaul ( $nl$ ), ver Figura 11.

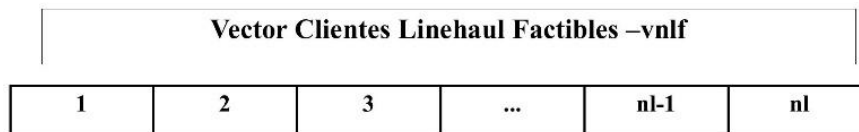


Figura 11. Codificación del vector de clientes Linehaul factibles.

**Vector clientes Backhaul factibles:** se inicializa con los clientes Backhaul que pueden ser elegidos dentro del recorrido y se van eliminando del vector a medida que son visitados. Su primer elemento será identificado con el número equivalente al total de clientes Linehaul +1, y su último elemento será asociado al número total de clientes Linehaul + clientes Backhaul ( $nl+nb$ ) (Figura 12).

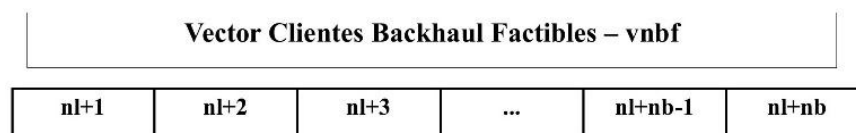


Figura 12. Codificación del vector de clientes Backhaul factibles.

**Ruta solo Linehaul:** en este recorrido se parte del depósito se pasa al cliente Linehaul, se sigue a los siguientes clientes Linehaul hasta no tener clientes de este tipo

pendientes de visitar o copar la capacidad del vehículo, como no se tienen clientes Backhaul por visitar, se finaliza terminando esta ruta en el mismo depósito de inicio. Ruta D1-L4-L2-L3-L5-D1. (Figura 13).

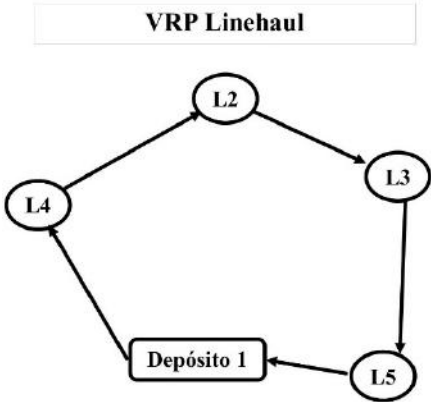


Figura 13. Esquema Ruta solo Linehaul.

**Ruta Solo Backhaul:** en este recorrido se parte del depósito se pasa al cliente Backhaul (se han visitado todos los clientes Linehaul) Linehaul, se sigue a los siguientes clientes Backhaul hasta no tener clientes de este tipo pendientes de visitar o copar la capacidad del vehículo y se finaliza terminando esta ruta en el mismo depósito de inicio. RUTA D3-B4-B3-B2-B7-D3 (Figura 14).

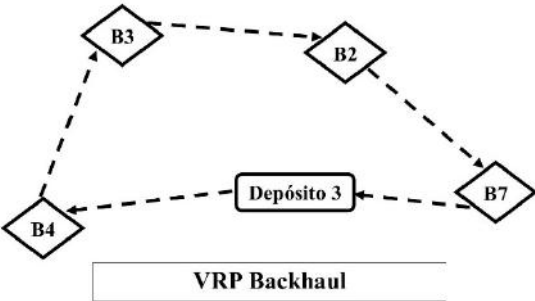


Figura 14. Esquema ruta solo Backhaul.

**Ruta para un recorrido multidepósito:** el algoritmo constructivo construye una alternativa de solución visitando a los clientes Linehaul y Backhaul y pasando por los diferentes depósitos. De esta forma, la alternativa se forma al agrupar las rutas consolidadas D1-L4-L2-L3-L5-D1-D2-L1-L6-L7-B5-B1-B6-D2-D3-B4-B3-B2-B7-D3 (Figura 15).

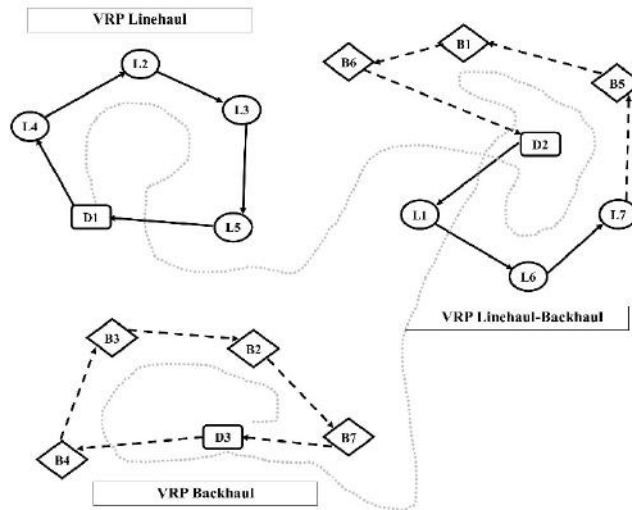


Figura 15. Esquema ruta consolidada.

### *Estructura de datos*

**Vector ruta solución:** se inicia con un depósito seleccionado aleatoriamente, seguido de un conjunto de clientes Linehaul, y luego de un conjunto de clientes Backhaul, con lo cual se retorna al depósito inicialmente seleccionado. Este procedimiento se repite iterativamente hasta recorrer todos los clientes Linehaul y Backhaul, siendo que en cada iteración siempre se inicia con la selección de un nuevo depósito, que bien pudo haber sido ya seleccionado en una iteración anterior, o no, ya que se cuenta con varios vehículos por cada depósito

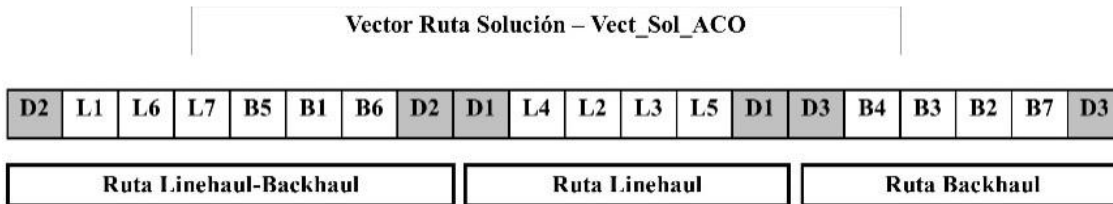


Figura 16. Codificación vector ruta solución.

**Matriz vector ruta solución:** en esta matriz se almacenan los vectores de las soluciones halladas, su cantidad de fila es igual al número de iteraciones multiplicado por el número de hormigas. Su número de filas corresponde al número de iteraciones por el número de depósitos y la cantidad de columnas será como mínimo el número de clientes más el número de depósitos para satisfacer las recolecciones y demandas de estos. En la Figura 17 se muestra un posible conjunto de vectores solución para el caso de que se tenga tres (3) depósitos, cuatro (4) clientes Linehaul (entrega) y tres (3) clientes Backhaul (recogida).

**Matriz Vector Ruta Solución – Mat\_Vect\_Sol\_ACO**

<b>Ruta MDVRPB 1</b>	<b>D2</b>	L4	L3	B1	B2	<b>D2</b>	<b>D3</b>	L1	L2	<b>D3</b>	<b>D1</b>	B3	<b>D1</b>
<b>Ruta MDVRPB 2</b>	<b>D1</b>	L1	L2	<b>D1</b>	<b>D2</b>	L3	B2	<b>D2</b>	<b>D3</b>	L4	B1	B3	<b>D3</b>
						...							
<b>Ruta MDVRPB i</b>	<b>D3</b>	L1	L2	L3	B1	<b>D3</b>	<b>D1</b>	L4	B2	B3	<b>D1</b>		
						...							

Figura 17. Codificación de la Matriz Vectores Ruta Solución.

### ***Esquema general del Algoritmo de Solución***

A continuación, se describe el esquema utilizado para la construcción de las rutas del algoritmo propuesto para el MDVRPB. En primera instancia, se establece la cantidad de alternativas de solución que serán construidas en cada iteración. Este parámetro de ajustó en un valor igual al número de depósitos ya que no incrementa considerablemente el tiempo de cálculo, pero igualmente tiene en cuenta el tamaño del problema. En cada iteración se sigue la secuencia que se describe continuación:

- a. Lectura información instancias: coordenadas depósitos, coordenadas clientes, número y capacidad de vehículos.
- b. Incrementar el contador de iteraciones. Si se completaron todas las iteraciones, ir al paso i. De lo contrario, inicializar el contador de alternativas y desarrollar un nuevo recorrido multidepósito MDVRPB.
- c. . Se selecciona de forma aleatoria uno de los depósitos con disponibilidad de vehículos, así como el tipo de objetivo que se está optimizando: distancia, o tiempo.
- d. Se determina de manera aleatoria el paso entre depósito-cliente, cliente-cliente y depósito-depósito. Se elige el arco con mejor calificación (menor tiempo, o menor distancia) de acuerdo con los siguientes criterios:
  - 1) Paso del depósito inicial a un cliente Linehaul (entrega) eligiendo el arco con mejor calificación.
  - 2) Paso entre los clientes Linehaul, repitiendo este proceso hasta copar la capacidad de entrega del vehículo.
  - 3) Paso del último cliente Linehaul del numeral anterior y el primer cliente Backhaul.
  - 4) Paso entre los clientes Backhaul hasta copar la capacidad de recolección del vehículo.
  - 5) Se culmina esta ruta volviendo al depósito inicial.

- e. Si el depósito no tiene más disponibilidad de vehículos se retira de la lista de opciones. Si quedan clientes por visitar, ir al paso c. De lo contrario, pasar ir al paso f.
- f. Incrementar el contador de alternativas de solución. Si se alcanzó el número especificado de alternativas, ir al paso g. De lo contrario, iniciar con la construcción de una nueva alternativa al pasar al literal c.
- g. Aplicar una fase de mejoramiento de las alternativas construidas usando el método del ahorro.
- h. Almacenar la mejor solución. Volver al paso b.
- i. Fin del algoritmo.

### ***Descripción de las instancias de prueba***

Se realizó la aplicación metodológica sobre 33 instancias MDVRPB propuestas por (Salhi & Nagy., 1999.), donde se cuentan con una diversidad en número de clientes Linehaul y Backhaul desde 50 hasta 250 clientes, diferente cantidad de depósitos y diversa capacidad de carga en los vehículos con flota homogénea, se aplica inicialmente una heurística greedy biobjetivo optimizando distancia y tiempo para tener los límites superiores, y se aplica el algoritmo propuesto. Los resultados son comparados con los que se obtienen al aplicar la la metaheurística de Colonia de Hormigas Bi-objetivo expuesto en (Santa Chávez, Granada Echeverri, Escobar, & Peñuela Meneses, 2015), para determinar la mejora de los resultados en la función biobjetivo distancia-tiempo. Al hallar la correlación entre las variables a optimizar distancia y tiempo y tomando al azar los resultados obtenidos para las 33 instancias, se obtuvo la Figura 18 y donde la correlación varía entre 0.59 (Correlación Positiva Media) y -0.25 (Correlación Negativa Débil), lo cual permitió crear diferentes rutas óptimas para distancia y tiempo.

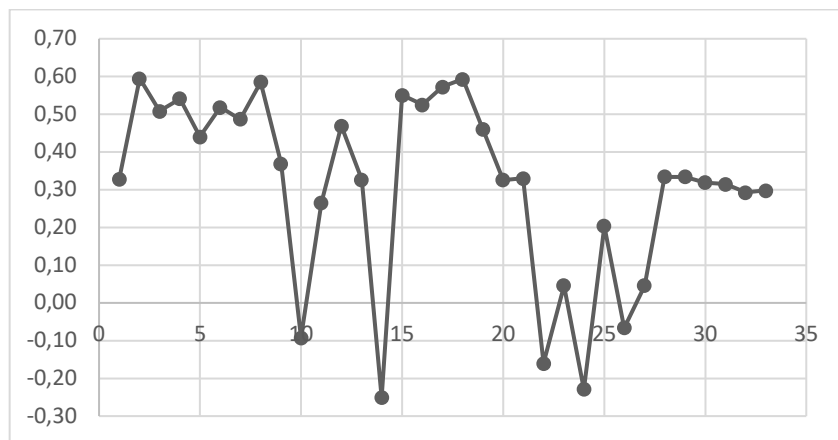


Figura 18 Correlación Distancia – Tiempo.

En la Figura 19 se muestra al Frente de Pareto Min-Min obtenido para una instancia aleatoriamente elegida en esta misma ejecución del algoritmo biobjetivo MDVRPB, donde se tienen dos puntos extremos del Frente Pareto: P1 (6.162,33; 6.453,56) y P2 (6.851,21; 6.365,33).

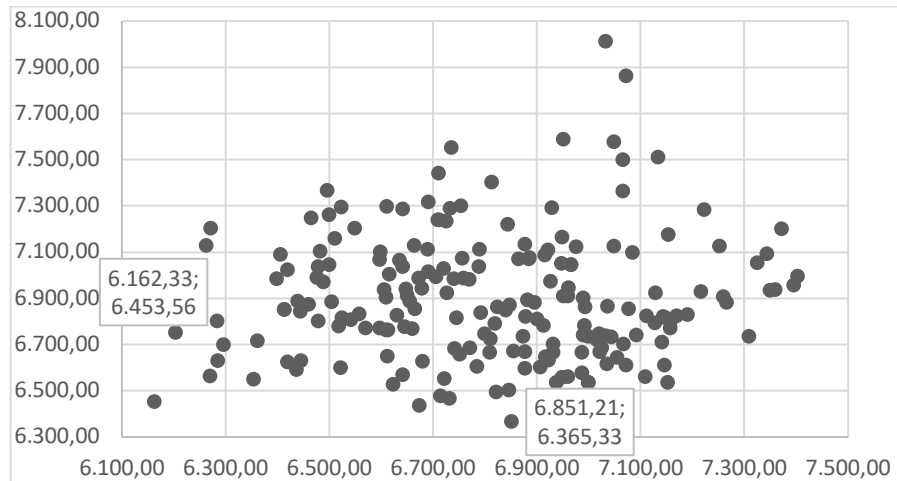


Figura 19. Frente de Pareto Distancia – Tiempo.

La estrategia de solución que se propone es implementada en MatLab y se ejecutó en un PC con procesador Core i5 de 1.4 GHz y 8GB de RAM. En la Tabla 4, se muestra los resultados en la función objetivo con la heurística vecino más cercano y los tiempos de ejecución y los valores de la función objetivo alcanzado por la metaheurística propuesta y se comparan entre sí. En cada simulación, se considera como criterio de convergencia el valor de 100 iteraciones y se ejecuta en 10 oportunidades.,

Se propone un algoritmo bi-objetivo para el para el problema de rutamiento de vehículos con Backhauls (recogida al final) -MDVRPB. El desarrollo del algoritmo propuesto parte de instancias de la literatura especializada ampliada con unas matrices de tiempos generadas aleatoriamente, pero con un factor de movilidad que marca unos límites lógicos.

Por lo anterior, la comparación de los resultados obtenidos se realizó entre una heurística biobjetivo basada en el vecino más cercano para distancia y tiempo, y la metaheurística optimización con colonia de hormigas biobjetivo también propuesto. Los resultados computacionales obtenidos con la metaheurística ACO, muestran soluciones de buena calidad con tiempos cortos.

Se desarrolló otra heurística inspirada en una modificación al algoritmo de ahorro de Clarke y Wright planteada en (Rohandi, Imran, & Prassetivo, 2014), denominada Clark y

Wright con inserción secuencial para el problema de ruteo de vehículos, la cual fue extendida en este trabajo al VRP con backhaul, esta heurística tiene un enfoque constructivo de las rutas donde se inicia con el cálculo de las distancias de ida y regreso entre cada uno de los clientes Linehaul y Backhaul y cada uno de los depósitos, se continúa el proceso con el cálculo del ahorro entre cada par de clientes ya sea linehaul-linehaul, backhaul-backhaul y linehaul-backhaul. Estos cálculos son el insumo inicial para iniciar el proceso de construcción de cada ruta.

En la Tabla 1 se observa que en 8 de las 33 instancias: 1, 2, 3, 9, 21, 30, 32 y 33, la heurística del vecino más cercano presenta mejores resultados, mientras que en las restantes 25 instancias el algoritmo Clarke y Wright con Inserción Secuencial presenta mejores resultados. Con respecto a los tiempos de ejecución promedio la heurística greedy del Vecino más Cercano presenta mejores tiempos, la mitad del tiempo promedio de ejecución de la heurística Clarke y Wright con Inserción Secuencial y treinta y siete veces menos tiempo que el utilizado por la metaheurística de Optimización con Colonia de Hormigas.

En este capítulo se implementa la heurística denominada Clarke y Wright con Inserción Secuencial como un complemento de la heurística del vecino más cercano. La heurística del vecino más cercano entrega rápidamente una ruta, que en promedio, retorna un camino con una distancia de recorrido un 25% más largo que el menor camino conocido en la literatura (Johnson & McGeoch, 1997), que al ser comparadas se observa que la heurística Clarke y Wright con Inserción secuencial mejora las respuestas obtenidas en un 5.28%, y si se compara con los resultados obtenidos con la optimización con colonia de hormigas se presenta una diferencia porcentual 14.49%, siendo mejor que el 19.01% que se obtuvo entre HVMC y ACO. De hecho, supera los resultados obtenidos por la heurística golosa bi-objetivo basada en el vecino más cercano por alrededor del 17,0%. Los resultados sugieren que los algoritmos propuestos se podrían aplicar a otros problemas de ruteo como, por ejemplo, Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP), Periodic Location Routing Problem (PLRP), el Muti-Depot Vehicle Routing Problema with Fleet Heterogeneous (HMDVRP), entre otros.

## ***Referencias***

*Cacchiani V., C. B., Escobar, J. W., Escobar Falcon, L. M., Linfati, R., & Toth, P. (2018). An Iterated Local Search Algorithm for the Pollution Traveling Salesman Problem. In S. L. Daniele P., & C. Springer (Ed.), New Trends in Emerging Complex Real Life Problems, AIRO Springer Series (Vol. 1, pp. 6-10). Springer. doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-030-00473-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00473-6_10)*

- Calvet, L., Wang, D., Juan, A., & Bove, L. (2019). Solving the multidepot vehicle routing problem with limited depot capacity and stochastic demands. *International Transactions in operational research*, 26(2), 458-484.
- Chunyu, R., & Wang, X. (2009). Study on hybrid genetic algorithm for multi-type vehicles and multi-depot vehicle routing problem with backhauls. *Intelligent Computation Technology and Automation. 1. Zhangjiajie, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*.
- Chunyu, R., & Wang, X. (2009b). Study on improved hybrid genetic algorithm for multi-depot vehicle routing problem with backhauls. *Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. Zhangjiajie, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*.
- Chunyu, R., Song, Z., & Wang, X. (2009). Study on Single and Mixed Fleet Strategy for Multi-depot Vehicle Routing Problem with Backhauls. *International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing(CINC 2009). 2. Wuhan, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*.
- David S.W. Lai, O. C. (2016). A tabu search heuristic for the heterogeneous vehicle routing problem on a multigraph. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 86, 32-52.
- Deif, I., & Bodin, L. (1984). Extension Of The Clarke And Wright Algorithm For Solving The Vehicle Routing Problem With Backhauls. *Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistics Management (págs. 75-96). Maryland - USA: University of Maryland*.
- Goeke, D. (2019). Granular tabu search for the pickup and delivery problem with time windows and electric vehicles. *European Journal of Operational Research*, 278(3), 821-836.
- Johnson, D. S., & McGeoch, L. A. (1997). The traveling salesman problem: A case study in local optimization. *Local search in combinatorial optimization*, 215-310.
- Majid Eskandarpour, D. O. (2019). Enhanced multi-directional local search for the bi-objective heterogeneous vehicle routing problem with multiple driving ranges,. *European Journal of Operational Research*, 277(2), 479-491.
- María Soto, M. S. (2017). Multiple neighborhood search, tabu search and ejection chains for the multi-depot open vehicle routing problem. *Computers & Industrial Engineering*, 107, 211-222.
- Min., H., Current, J., Schilling, D., & Current, J. (1992). The multiple depot vehicle routing problem with backhauls. *Journal of Business Logistics*, 1992(13), 259-288.
- Naveed Wassan, N. W. (2017). The Multiple Trip Vehicle Routing Problem with Backhauls: Formulation and a Two-Level Variable Neighbourhood Search. *Computers & Operations Research*, 78, 454-467.



- Reza Eshtehadi, E. D. (2020). Solving the vehicle routing problem with multi-compartment vehicles for city logistics. *Computers & Operations Research*, 115.
- Rohandi, S. M., Imran, A., & Prasetivo, H. (2014). Penentuan Rute Distribusi Produk Obat Menggunakan Metode Sequential Insertion dan Clarke & Wright Savings. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Jurusan Teknik Industri Itenas Bandung*, 02(02).
- Salhi, S., & Nagy, G. (1999). A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauls. *Journal of the Operational Research Society*, 50, 1034-1042.
- Santa Chávez, J., Granada Echeverri, M., Escobar, J., & Peñuela Meneses, C. (2015). A Metaheuristic ACO to Solve the Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Backhauls. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, 6(2), 49-58.
- Sifeng Lin, J. F. (2017). Route design for last-in, first-out deliveries with backhauling. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 76, 90-117.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. Bologna, Italy: Università Degli Studi di Bologna.
- Wade, A., & Salhi, S. (2003). An ant system algorithm for the mixed vehicle routing problem with backhauls. In M. Resende, & J. de Sousa, *Metaheuristics: Computer Decision-Making*. Boston: Springer.
- Wang, J., Weng, T., & Zhang, Q. (2019). A two stage multiobjective evolutionary algorithm for Multiobjective multidepot vehicle routing problem with time windows. *IEEE Transactions on cybernetics*, 49(7), 2467-2478.
- William, H., George T.S., H., Ping, J., & Henry C.W., L. (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21, 548-557.
- Wright, J., & Clarke, G. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Point. *Operations Research*, 12, 568-581.
- Xu, H., Pu, P., & Duan, F. (2018). A Hybrid Ant Colony Optimization for Dynamic Multidepot Vehicle Routing Problem. *Discrete dynamics in nature and society*. doi:10.1155/2018/3624728
- Yong Wang, J. Z. (2018). Collaboration and transportation resource sharing in multiple centers vehicle routing optimization with delivery and pickup. *Knowledge-Based Systems*, 160, 296-310.
- Yongbo Li, H. S. (2019). An improved ant colony optimization algorithm for the multi-depot green vehicle routing problem with multiple objectives. *Journal of Cleaner Production*, 227, 1161-1172.



## Anexo

Tabla 15. Resultados obtenidos para 10 ejecuciones cada una con 100 iteraciones de los algoritmos propuestos.

Número Instancia	Instancia	Heurística Vecino Más Cercano			Heurística Clarke y Wriugh con Inserción Secuencial			Colonia de Hormigas*			Porcentaje HVMC C&WIS	Porcentaje HVMC - ACO	Porcentaje C&WIS ACO
		Distancia Promedio	Tiempo Ejecución (seg)	Mejor Solución	Distancia Promedio	Tiempo Ejecución (seg)	Mejor Solución	Distancia Promedio	Tiempo Ejecución (seg)	Mejor Solución			
1	GJ01H	749,8	0,18	719,5	844,4	0,43	798,0	693,6	6,92	654,0	-10,92%	9,10%	18,05%
2	GJ01Q	846,8	0,26	808,5	3,0	0,52	904,2	777,2	3,55	744,6	-11,83%	7,90%	17,65%
3	GJ01T	826,6	0,27	795,2	1001,9	0,36	916,1	782	7,68	760,5	-15,20%	4,37%	16,99%
4	GJ02H	836,1	0,18	831,9	739,5	0,34	727,7	645,4	0,92	598,8	12,52%	28,02%	17,71%
5	GJ02Q	820,2	0,19	816,3	752,7	0,33	740,3	700,2	1,63	685,9	9,31%	15,98%	7,36%
6	GJ02T	787,5	0,20	770,3	746,0	0,47	719,9	665,9	2,45	662,8	6,54%	13,96%	7,93%
7	GJ03H	1081,1	0,24	1062,0	1049,7	0,78	936,4	848,6	8,13	827,9	11,83%	22,05%	11,59%
8	GJ03Q	1066,3	0,26	1012,4	1066,3	0,77	1005,7	923,1	9,96	903,0	0,66%	10,81%	10,21%
9	GJ03T	996,0	0,26	953,7	1151,0	0,68	1077,8	896	6,66	874,4	-13,01%	8,31%	18,87%
10	GJ04H	1422,9	0,41	1416,4	1250,3	0,74	1185,5	1245,7	1,84	1219,6	16,30%	13,89%	-2,88%
11	GJ04Q	1426,0	0,41	1409,9	1464,0	0,90	1389,1	1303,6	4,69	1274,7	1,48%	9,59%	8,24%
12	GJ04T	1500,5	0,23	1489,7	1421,9	0,74	1380,7	1332,4	6,63	1288,9	7,32%	13,48%	6,65%
13	GJ05H	1519,2	0,09	1517,1	1161,3	0,50	1140,0	1028,4	0,25	1028,4	24,86%	32,21%	9,79%
14	GJ05Q	1467,0	0,20	1464,3	1272,7	0,52	1220,4	1136,5	2,34	1069,8	16,66%	26,94%	12,34%
15	GJ05T	1166,0	0,36	1155,7	1183,2	0,63	1120,7	1049,5	3,16	1027,8	3,03%	11,07%	8,29%
16	GJ06H	1440,3	0,30	1407,5	1257,4	1,06	1115,8	1155,1	9,05	1112,8	20,72%	20,94%	0,27%
17	GJ06Q	1445,0	0,44	1408,7	1482,8	1,10	1364,1	1243	8,10	1197,1	3,16%	15,02%	12,24%
18	GJ06T	1406,6	0,71	1373,7	1485,9	1,02	1355,4	1200,1	16,68	1165,3	1,33%	15,17%	14,02%
19	GJ07H	1342,2	0,29	1306,7	1245,3	0,77	1136,2	1143,9	11,75	1129,4	13,05%	13,57%	0,60%
20	GJ07Q	1359,4	0,60	1340,6	1473,3	1,20	1330,5	1195,3	18,97	1170,2	0,75%	12,71%	12,05%
21	GJ07T	1286,1	0,88	1262,4	1466,9	1,38	1399,6	1164,9	11,65	1140,6	-10,87%	9,65%	18,50%
22	GJ08H	7078,1	0,58	6943,6	6065,3	1,68	5610,8	5081,3	24,66	5000,1	19,20%	27,99%	10,88%
23	GJ08Q	7168,1	0,69	7073,6	7008,4	2,12	6654,4	5951,4	25,29	5808,3	5,93%	17,89%	12,71%
24	GJ08T	6791,0	0,80	6756,6	6828,4	2,01	6462,2	5874,3	50,19	5779,6	4,36%	14,46%	10,56%
25	GJ09H	7341,7	0,48	7111,0	6203,8	1,82	5733,2	5208,5	16,92	5164,1	19,38%	27,38%	9,93%

Número Instancia	Instancia	Heurística Vecino Más Cercano			Heurística Clarke y Wrigh con Inserción Secuencial			Colonia de Hormigas*			Porcentaje HVMC C&WIS	Porcentaje HVMC - ACO	Porcentaje C&WIS ACO
		Distancia Promedio	Tiempo Ejecución (seg)	Mejor Solución	Distancia Promedio	Tiempo Ejecución (seg)	Mejor Solución	Distancia Promedio	Tiempo Ejecución (seg)	Mejor Solución			
26	GJ09Q	7257,6	0,67	7036,6	7077,2	2,12	6771,3	6079,8	15,56	5858,0	3,77%	16,75%	13,49%
27	GJ09T	7229,4	0,54	7117,6	6963,6	1,45	6013,5	6079	38,41	5893,5	15,51%	17,20%	2,00%
28	GJ10H	6830,0	0,57	6404,2	6264,2	1,99	5940,5	4911,6	38,30	4765,5	7,24%	25,59%	19,78%
29	GJ10Q	7017,2	1,91	6908,1	7286,0	4,75	6869,0	5555	128,75	5438,9	0,57%	21,27%	20,82%
30	GJ10T	6049,2	3,66	5964,2	7282,3	6,78	6528,7	5443,2	112,43	5384,7	-9,46%	9,72%	17,52%
31	GJ11H	6950,8	1,29	6790,2	6366,2	1,54	5880,8	4930,4	84,36	4769,0	13,39%	29,77%	18,91%
32	GJ11Q	6583,1	3,12	6446,3	7313,5	4,38	6946,6	5299,4	134,72	5193,4	-7,76%	19,44%	25,24%
33	GJ11T	5877,4	7,07	5616,1	7327,5	3,45	6602,2	5123,5	250,39	5039,8	-17,56%	10,26%	23,67%
Promedios tiempo de ejecución y distancia de las rutas			0,86	3166,4		1,49	2999,3		32,2	2564,6	5,28%	19,01%	14,49%

\* Datos obtenidos de (Santa Chávez, Granada Echeverri, Escobar, & Peñuela Meneses, 2015).

# 18

## ***Análisis de eficiencia de los centros comerciales de la ciudad de Pereira a través de Data Envelopment Analysis (DEA)***

### ***Efficiency analysis of shopping centers in the city of Pereira through Data Envelopment Analysis (DEA)***

Sara Valentina Mejía Agudelo<sup>1</sup>, Marcela María Morales Chávez<sup>2</sup>

#### ***Resumen***

La eficiencia de un centro comercial depende de la satisfacción de los intereses, gustos y preferencias de los visitantes a partir de la utilización de los espacios, eventos y todos los recursos con los que cuenta. Es decir, se debe de llegar al corazón de los clientes entendiendo sus necesidades y adaptando la experiencia que viven al momento de visitar este tipo de formato comercial. En esta vía, esta investigación determina la eficiencia de siete centros comerciales de la ciudad de Pereira a partir de la técnica Data Envelopment Analysis (DEA), el modelo considera variables relacionadas con los recursos con los que cuenta cada centro comercial como parqueaderos, baños, mall de comidas, diversidad de locales y oficinas. Por otro lado, se incluyen variables asociadas a los resultados obtenidos por la utilización de estos recursos, medidos a través de una encuesta de satisfacción, en donde los clientes califican su experiencia acerca de la variedad, seguridad, aseo, exclusividad y atención que el centro

---

<sup>1</sup> Estudiante, Universidad Libre Seccional Pereira, sarav-mejiaa@unilibre.edu.co

<sup>2</sup> Ph.D(C), Universidad Libre Seccional Pereira, marcelam.moralesc@unilibre.edu.co

comercial les brindo en su visita. Los resultados generados por el modelo DEA muestran que los servicios ofrecidos con relación a baños, aseo, variedad de locales, exclusividad y atención el centro comercial 1 es el que obtiene una eficiencia del 100%. Con respecto al mall de comidas y el servicio de parqueaderos el centro comercial 5 es el que obtiene la eficiencia de Pareto. Se hace énfasis en el mejoramiento del servicio de parqueaderos para el centro comercial 2, el cual obtiene una eficiencia mínima del 10%.

**Palabras clave:** *Eficiencia, DEA (Data Envelopment Analysis), centros comerciales.*

## ***Abstract***

*The efficiency for a shopping center depends on the satisfaction of the interests, tastes and preferences of visitors based on the use of spaces, events and all the resources it has. That is to say, you must reach the heart of the customers, understanding their needs and adapting the experience they live when visiting this type of commercial format. In this way, this research determines the efficiency of seven shopping centers in the city of Pereira from the Data Envelopment Analysis (DEA) technique, the model considers variables related to the resources that each shopping center has, such as parking lots, bathrooms, food mall, diversity of premises and offices. On the other hand, variables associated with the results obtained by the use of these resources are included, measured through a satisfaction survey, where clients rate their experience about the variety, safety, cleanliness, exclusivity and attention that the center commercial offers on your visit. The results generated by the DEA model show that: services offered in relation to bathrooms, toilets, variety of premises, exclusivity and attention; the shopping center 1 is the one that obtains an efficiency of 100%. With regard to the food mall and the parking service, shopping center 5 is the one that obtains Pareto's efficiency. Emphasis is placed on improving the parking service for shopping center 2, which achieves a minimum efficiency of 10%*

**Keywords:** *Efficiency, DEA (Data Envelopment Analysis), shopping centers*

## ***Introducción***

Los centros comerciales en Colombia se han consolidado como espacios de integración que suplen necesidades generadas por un ambiente urbano a menudo hostil, usualmente las familias acuden porque encuentran seguridad, espacios cómodos, una oferta

completa de productos y servicios y, sobre todo, una experiencia que permite una adecuada interacción social dentro de un ambiente controlado (ACECOLOMBIA, 2018).

Por tal motivo, resulta cada día más evidente la concentración de la actividad comercial en grandes recintos, ubicados generalmente en las periferias urbanas y esto despliega unos efectos de gran trascendencia social, que se inició con el comercio alimentario de los primeros supermercados hasta llegar con la implantación de grandes centros comerciales (Álvarez Cantalapiedra & Villarejo Galende, 2003).

En la ciudad de Pereira se ha experimentado un rápido crecimiento en el número de centros comerciales construidos, lo que ha provocado profundos cambios socioeconómicos y geográficos que se evidencia en la gran afluencia de clientes que buscan experiencias innovadoras en los diferentes centros comerciales (Pereira, 2015).

El aumento de atención y adecuaciones del espacio físico generan una “experiencia de compra total” en lugar de solo ofertar mercancía. Es por esto, que se realizan mejoras en los ambientes dentro del centro comercial, la accesibilidad, el diseño físico, la combinación de tiendas y las percepciones de hacinamiento (Del & Intergubernamental, 2014; Merrilees & Miller, 2019).

A su vez los centros comerciales se han convertido en las principales zonas de atracción de una ciudad (Meena, Patil, & Mondal, 2019). De la misma manera, las administraciones de dichos formatos permiten que esta experiencia se logre mediante la inversión en arquitectura, iluminación, color, ambiente y una mezcla de inquilinos minoristas atractivos para sus visitantes (Bill Merrilees & Dale Miller 2019).

Cabe resaltar que estudios recientes informan que los consumidores están recurriendo cada vez más al comercio minorista en línea, que ofrece una amplia gama de productos y marcas disponibles, realizando entregas al día siguiente, con grandes descuentos y promociones (Calvo-Porrall & Lévy-Mangin, 2019). Este auge puede llevar a que las compras presenciales desaparezcan.

No obstante, un análisis morfológico de los centros comerciales encontró que el espacio comercial de ladrillo y mortero no va a desaparecer; más bien, se está desarrollando cada vez más en espacios orientados hacia la experiencia urbana. Estos diversos cambios, experiencias y adaptaciones de tiendas pueden considerarse una forma de resiliencia (Rao, 2019)

El fenómeno de comercio en línea puede cambiar si un centro comercial mejora sus características de descanso, comodidad, espacios agradables y actividades recreativas, fomentando de esta manera un contexto de madurez de formato que aumentaría la competencia y la satisfacción de compra de los visitantes.

Teniendo en cuenta que las características de los centros comerciales pueden dar lugar a respuestas cognitivas y efectivas que, al mismo tiempo, pueden explicar el comportamiento del visitante, se crea una necesidad de evaluar y comparar las variables que atraen a los consumidores.

Dicho lo anterior, la evaluación y comparación de las variables se puede realizar por medio de la herramienta DEA (Análisis Envolvente de Datos), que es un método no paramétrico que se ha utilizado recientemente para medir la eficiencia y la productividad de las DMUs (Decision Making Unit) por sus siglas en inglés, que depende de múltiples entradas y salidas (Omran, Shafaat, & Emrouznejad, 2018). Considerando que las DMUs para este estudio son los centros comerciales de la ciudad de Pereira.

Es necesario recalcar que en la última década DEA ha sido reconocido como uno de los enfoques más frecuentes para medir la eficiencia de las Unidades de toma de Decisiones (DMU) (Omran et al., 2018) y se ha demostrado que es altamente efectiva para la evaluación del desempeño y la evaluación comparativa de las DMUs y de esta manera mejorar los niveles de eficiencia (Reza, Ignatius, & Rezaee, 2019).

En relación con los estudios realizados en los centros comerciales se realiza una revisión sistemática de la literatura. Como fuente de consulta se utilizó la base de datos especializada Scopus, con la ecuación de búsqueda: “shopping center”. A su vez el proceso de revisión se limitó en artículos de revistas, ya que su información es más detallada y completa.

Estudios recientes sobre centros comerciales hacen énfasis en la parte ambiental con la implementación de energías renovables, por ejemplo: la ejecución de un nuevo sistema de refrigeración, calefacción y energía asistida por la luz solar, sistema propuesto en un edificio de centro comercial (Bai, Liu, Gong, & Lei, 2019). También se proponen medidas de ahorro de energía para el sistema de ventilación de estas grandes superficies (Curto, Franzitta, Longo, Montana, & Riva Sanseverino, 2019).

Otras investigaciones destacan la contaminación que generan los centros comerciales con las emisiones de CO<sub>2</sub>, por la aglomeración de edificios (Zhao, Wu, Gong, Yang, & Ni,



2019), Además, se han implementado técnicas para medir la calidad del aire interior de los establecimientos, ya que tiene un impacto importante en la salud de las personas (Lei, Chen, Xue, & Liu, 2019).

En el campo de la tecnología, se implementan mejoras para los estacionamientos, donde el conductor puede encontrar el espacio del parqueadero usando una aplicación en el móvil (Hamza, Ganesh, Ganesh, Uddin, & Ghosh, 2019). Denman, Fookes, Yarlalagadda y Sridharan (2019) propone el uso de redes neuronales convolucionales y arquitecturas de memoria a largo plazo para estimar el rendimiento de los peatones desde puntos de vista arbitrarios de circuito cerrado de televisión para los operadores de grandes espacios públicos.

Hay que mencionar además los artículos que resaltan la sostenibilidad (Mariano, Sobreiro, & do Nascimento Rebelatto, 2015; Nebois, Gartner, & Herzfeld, 2019; Perović & Šestović, 2019; Visar, 2019), en este caso se presentan propuestas para el mejoramiento de vías debido a que los requisitos globales reflejan debilitado los espacios públicos abiertos como lugares de interacción social, a favor de los centros comerciales, así mismo, facilitar la movilidad con la construcción de un ferrocarril subterráneo con estaciones en diferentes calles comerciales, también se destaca la reutilización sostenible de edificios por una necesidad de reducir el consumo de recursos naturales, el uso de la energía y las emisiones CO<sub>2</sub>.

A su vez, se evidencia los pocos estudios realizados basados en la eficiencia de los centros comerciales, ya que los artículos relacionados anteriormente tienen otros campos de aplicación. De esta manera se crea la necesidad de desarrollar una investigación donde se miden las diferentes estructuras comerciales, sus tamaños y aspectos organizativos, urbanísticos y tecnológicos que conforman este tipo de establecimientos.

Por otro lado, se utilizó simultáneamente la ecuación de búsqueda "data envelopment analysis" y los resultados indican que se han publicado alrededor de 6500 artículos relacionados con DEA (J. S. Liu, Lu, & Lu, 2016). Esta técnica se ha aplicado con éxito a una multitud de diferentes entidades que participan en una amplia variedad de actividades: Banca, salud, educación, deportes, agricultura y manufactura (H.-H. Liu, 2018; Pastor, Aparicio, Alcaraz, Vidal, & Pastor, 2018).

En coherencia con los resultados de la ecuación anterior no se encuentran estudios relacionados con centros comerciales. Por tal motivo se evidencia la oportunidad de contribuir con las tendencias de consumo en los centros comerciales, estudiando las variables y características que conforman estas aglomeraciones mejorando su competencia.

Para su presentación, el artículo se ha estructurado de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta la metodología utilizada, detallando cada componente del modelo matemático plantado. Los resultados obtenidos y su discusión para el caso de los centros comerciales se encuentran en la Sección 3. Finalmente, la Sección 4, presenta algunas conclusiones y recomendaciones relevantes para investigaciones futuras.

## ***Metodología***

Esta investigación tiene como finalidad analizar la eficiencia de los centros comerciales de la ciudad de Pereira, mediante la aplicación de la herramienta matemática DEA, además de establecer según lo observado estrategias de mejora para cada uno de estos.

En esta vía, en la sección 2.1 se presentan las variables consideradas en el estudio, además del proceso de recolección y análisis de los parámetros de entrada. Por otro lado, el modelo matemático DEA utilizado se expone en la sección 2.2.

### **Variables y parámetros**

Determinar la eficiencia a partir de la técnica DEA propuesta por Charnes, Cooper y Rhodes, requiere inicialmente calcular la productividad de cada DMU evaluada, la cual es la relación existente entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978).

Bajo este marco, la eficiencia de un centro comercial depende de la satisfacción de los intereses, gustos y preferencias de los visitantes a partir de la utilización de los espacios, eventos y todos los recursos con los que cuenta.

Es decir, se debe de llegar al corazón de los visitantes entendiendo sus necesidades y adaptando la experiencia que viven, mediante comodidad, ambiente, seguridad, aseo y atención, nutriendo estos factores con festividades, productos, servicios o actividades específicas que hacen reconocer a un centro comercial.

A través de esta investigación se busca una relación entre los factores que brinda los centros comerciales y las necesidades que sule a los visitantes dando como resultado las siguientes variables de entradas (recursos) y salidas (resultados).

## VARIABLES DE SALIDA

Grado de satisfacción que genera cada espacio del centro comercial:

Tabla 1. Descripción de las variables de salida

<i>Variables de salida</i>	<i>Calificación de parqueadero: Grado de satisfacción que tuvo el cliente respecto al área de parqueaderos.</i>
	<i>Calificación seguridad: Grado de satisfacción que tuvo el cliente en cuanto a la seguridad con la cual cuenta el parqueadero.</i>
	<i>Calificación baños: Grado de satisfacción que tuvo el cliente respecto al área de los baños.</i>
	<i>Calificación aseo: Grado de satisfacción que tuvo el cliente respecto al aseo en la zona de baños.</i>
	<i>Exclusividad: Tiene como objetivo adaptarse a las necesidades actuales del cliente, pero siempre representando la esencia de cada centro comercial.</i>
	<i>Variedad: Amplia gama de productos, servicios y marcas que conforman el formato comercial.</i>
	<i>Atención: Hecho que muestra que se está atento al bienestar y seguridad, considerando también el respeto y la cortesía hacia los visitantes del centro comercial.</i>

## VARIABLES DE ENTRADA

Se clasifican de acuerdo con los recursos que cuenta cada centro comercial.

Tabla 2. Variables de entrada

<i>Variables de entrada</i>	<i>Cantidad de parqueaderos</i>
	<i>Cantidad de baños</i>
	<i>Cantidad de locales ocupados</i>
	<i>Mall de comidas</i>

Teniendo en cuenta las variables definidas para el estudio se diseñó una encuesta cuyo objetivo radica en conocer, desde la óptica y percepción de los consumidores, la evaluación e importancia que confieren los mismos a los atributos del servicio que ofrece el Centro Comercial.

Esta encuesta consiste en una serie de preguntas que deben responder los usuarios de cada uno de los centros comerciales. El cuestionario fue diseñado de manera tal que motive al encuestado para que aporte la información valiosa para la investigación, y así mismo minimizar el sesgo de medición.

También se diseñó un formulario para la información correspondiente a las variables de entrada, cuyos valores se obtuvieron de la observación directa y por medio del personal de los respectivos centros comerciales.

Para la aplicación de la encuesta se utilizó el muestreo aleatorio simple para poblaciones infinitas teniendo en cuenta la variable Servicio para el cálculo de tamaño de la muestra, con una confianza del 95% y un error del 5%.

### **Modelo matemático *DEA***

El método *DEA* es planteado por Farell (1957) y es presentado por primera vez por Charnes et al. (1978) (Xie, Li, Wang, & Liu, 2018), el cual es una técnica de programación no paramétrica que mide la eficiencia de las unidades de toma de decisión (DMU) considerando múltiples entradas y salidas (Essid, Ganouati, & Vigeant, 2018).

Determinar la eficiencia técnica requiere inicialmente calcular la productividad de cada DMU  $j$  que es la relación existente entre los resultados obtenidos ( $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_r$ ) y los recursos utilizados ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$ ) (ver Ecuación 1). Teniendo en cuenta que las variables (entrada-salida) consideradas pueden ser de diferente naturaleza, *DEA* les asigna ponderadores ( $V_i, U_r$ ) que permiten eliminar las unidades de las variables, dando como resultado la Ecuación 2.

$$Productividad_j = \frac{\text{resultados obtenidos}_j}{\text{recursos utilizados}_j} = \frac{\text{salidas}_j}{\text{entradas}_j} \quad (1)$$

$$Productividad_j = \frac{\text{suma ponderada de las salidas}_j}{\text{suma ponderada de las entradas}_j} = \frac{\sum_{r \in R} U_{rj} Y_{rj}}{\sum_{i \in I} V_{ij} X_{ij}} \quad (2)$$

De esta manera, la eficiencia se obtiene a través de la relación entre la productividad de la DMU observada  $j$  y la DMU con la mejor productividad obtenida  $j_o$  del grupo evaluado (ver Ecuación 3) (Farrel MJ, 1957).

$$Eficiencia_j = \frac{Productividad_j}{Productividad_{j_o}} \quad (3)$$

DEA cuenta con una diversidad de modelos matemáticos que permiten realizar los análisis de acuerdo con la naturaleza del problema. En este estudio se utilizó el modelo CCR-O, es una de las técnicas más utilizadas para medir la eficiencia relativa de las unidades de toma de decisiones (DMU) debido a su capacidad intuitiva para prescribir ponderaciones de evaluaciones (Reza et al., 2019)

### Modelo CCR-O

Es un método propuesto Charnes, Cooper y Rhode (CCR), mide la eficiencia de cualquier DMU como la relación entre la suma ponderada de salidas y la suma ponderada de entradas, sujeto a la condición de que las relaciones similares para cada DMU sean menores o iguales a uno. A continuación, se presenta el modelo matemático.

Tabla 3. Componentes del modelo matemático CCR-O

<i>Componente</i>	<i>Descripción</i>
<i>Conjuntos</i>	<i>J: Conjunto de DMUs</i> <i>I: Conjunto de variables de entrada</i> <i>R: Conjunto de variables de salida</i>
<i>Parámetros de entrada</i>	<i>X<sub>ij</sub> = Cantidad de la variable de entrada i utilizada en la DMU j</i> <i>Y<sub>rj</sub> = Cantidad de la variable de salida r que produce la DMU j</i>
<i>Variables de decisión</i>	<i>V<sub>ij</sub> = Ponderador de la variable de entrada i utilizada en la DMU j</i> <i>U<sub>rj</sub> = Ponderador de la variable de salida r utilizada en la DMU j</i>

Función objetivo:

$$\text{Max } Z = \sum_{r \in R} U_{rj_o} Y_{rj_o} \quad (4)$$

Restricciones del modelo:

$$\sum_{i \in I} V_{ijo} X_{ijo} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{r \in R} U_{rjo} Y_{rj} - \sum_{i \in I} V_{ijo} X_{ij} \leq 0 \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$V_{ijo}, U_{rjo} \geq 0 \quad (7)$$

El objetivo de DEA es maximizar la eficiencia de las DMUs evaluadas, lo cual se obtiene minimizando las entradas o maximizando las salidas, lo que da lugar a los modelos con orientación input (entradas) y output (salidas). En este caso, el modelo seleccionado está orientado a la maximización de las salidas como se observa en la función objetivo (ver Ecuación 4).

De acuerdo con este planteamiento, la restricción (5) fija con un valor de 1 las entradas que corresponden al denominador de la ecuación de eficiencia (ver Ecuación 1). A su vez, la Ecuación 6 establece que la eficiencia de cada una de las DMUs evaluadas debe ser menor o igual al 100%. Finalmente, la Ecuación 7 restringe los ponderadores a números no negativos.

## ***Resultados***

Los centros comerciales tienen unas áreas fundamentales para los usuarios, como son los baños, parqueaderos, diversidad de locales, oficinas y su mall de comidas. Por tal motivo se hizo énfasis en estos 4 recursos, evaluando diferentes percepciones frente a los servicios prestados en cada una de estas áreas, generándose cuatro modelos DEA, la Tabla 4 presenta las variables que se consideraron en cada uno de los análisis realizados.

Tabla 4. Análisis DEA realizados

<i>Análisis</i>	<i>Variables de entrada</i>	<i>Variables de salida</i>
<i>DEA 1</i>	<i>Cantidad de baños</i>	<i>Calificación baños</i> <i>Calificación aseo</i>
<i>DEA 2</i>	<i>Cantidad de locales ocupados</i>	<i>Exclusividad</i> <i>Variedad</i>
<i>DEA 3</i>	<i>Mall de comidas</i>	<i>Variedad</i> <i>Atención</i>
<i>DEA 4</i>	<i>Cantidad de parqueaderos</i>	<i>Calificación parqueaderos</i> <i>Calificación seguridad</i>

### **Análisis DEA 1**

El servicio de baños es algo básico para la salud de las personas, por tal motivo tanto la higiene como la comodidad en esta área es fundamental para todo centro comercial. La Tabla 5 presenta las variables utilizadas en la implementación del modelo DEA 1 teniendo en cuenta el área de baños.

Tabla 5. Datos DEA 1

<i>DMUs</i>	<i>(i)Cantidad de baños</i>	<i>(o)Calificación baños</i>	<i>(o)Calificación aseo</i>
<i>Centro comercial 1</i>	3	3,625	4,292
<i>Centro comercial 2</i>	4	4,775	4,694
<i>Centro comercial 3</i>	4	4,521	4,629
<i>Centro comercial 4</i>	4	4,333	4,493
<i>Centro comercial 5</i>	3	2,943	3,743
<i>Centro comercial 6</i>	3	2,976	3,585
<i>Centro comercial 7</i>	6	4,243	4,557

En el análisis del área de baños, se encontró que solo 1 centro comercial es eficiente, como se puede evidenciar en la Figura 1. El centro comercial 7 a pesar de tener la mayor cantidad de baños es la DMU menos eficiente, dado que a veces la cantidad no es la única variable relevante que observa el usuario, se debe de tener presente la limpieza, orden e implementos de aseo suficientes para el uso del cliente.

Por otro lado, el centro comercial 5 y 6 obtienen la eficiencia más baja en este análisis, con 87% y 84% respectivamente. A su vez, están los centros comerciales 2, 3 y 4 que su eficiencia está por encima del 90%. Finalmente, la eficiencia promedio de los 7 centros comerciales es de 87%. También cabe destacar que en la cantidad de baños los centros comerciales es la adecuada, en este caso no se requieren más baños para lograr la eficiencia, sino que se debe de mejorar las características anteriormente mencionadas.

Se recomienda para el centro comercial 7 que tiene una eficiencia del 59%, realizar aseo permanente, igualmente estar pendiente de la dotación de los productos de aseo y de esta manera se generar más satisfacción a los clientes en esta área.

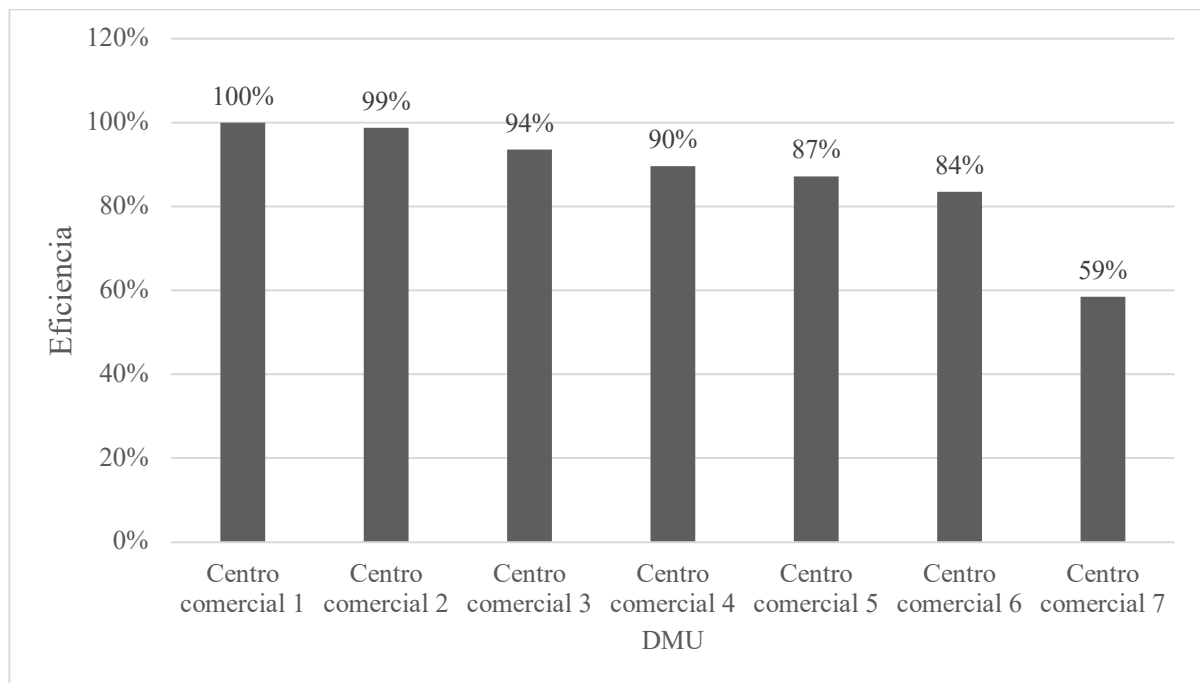


Figura 1. Eficiencia generada por DEA 1 para cada centro comercial



## Análisis DEA 2

El éxito de un centro comercial se basa en la combinación de tiendas y servicios que se pueden encontrar en este lugar, ya que con un gran *retail* los compradores tienden a visitar más tiendas durante su estadía. En la Tabla 6 se muestran las variables que se utilizaron para implementación del modelo DEA 2 en el área de locales.

Tabla 6. Datos DEA 2

<i>DMUs</i>	<i>(i)Cantidad de locales ocupados</i>	<i>(o)Exclusividad</i>	<i>(o)Variedad</i>
	30	3,500	3,583
<i>Centro comercial 1</i>	70	4,686	4,783
<i>Centro comercial 3</i>	87	4,132	4,319
<i>Centro comercial 4</i>	63	3,980	4,219
<i>Centro comercial 5</i>	57	2,647	2,941
<i>Centro comercial 6</i>	87	2,763	3,143
<i>Centro comercial 7</i>	66	4,261	4,203

En cuanto a la eficiencia en el análisis de DEA 2 el centro comercial 1 es el único eficiente, mientras que el centro comercial 6 es el menos eficiente con un 30% como se observa en la Figura 2. La eficiencia promedio de los centros comerciales fue de 55% lo que evidencia la mala administración de los recursos con los que cuentan. Por otra parte, el número máximo de locales ocupados es de 87 y el número mínimo es 30, se tiene una diferencia de 57 locales, esta diferencia se debe a la extensión de los centros comerciales que de alguna manera afecta la eficiencia. El centro comercial 6 a pesar de que cuenta con 87 locales ocupados, la exclusividad y la variedad de los locales no hacen de este un lugar atractivo para que las personas lo visiten. El centro comercial 2 cuenta con una buena calificación en variedad y exclusividad, pero debido a su cantidad de locales no logra ser eficiente, ya que su proyección debería ser más alta.

Para incrementar la eficiencia de esta área, se recomienda diseñar políticas o pactos de exclusividad para los almacenes y en segunda instancia se debe evitar la concentración de tiendas con prestación de los mismos servicios o productos y de esta manera generar más variedad.

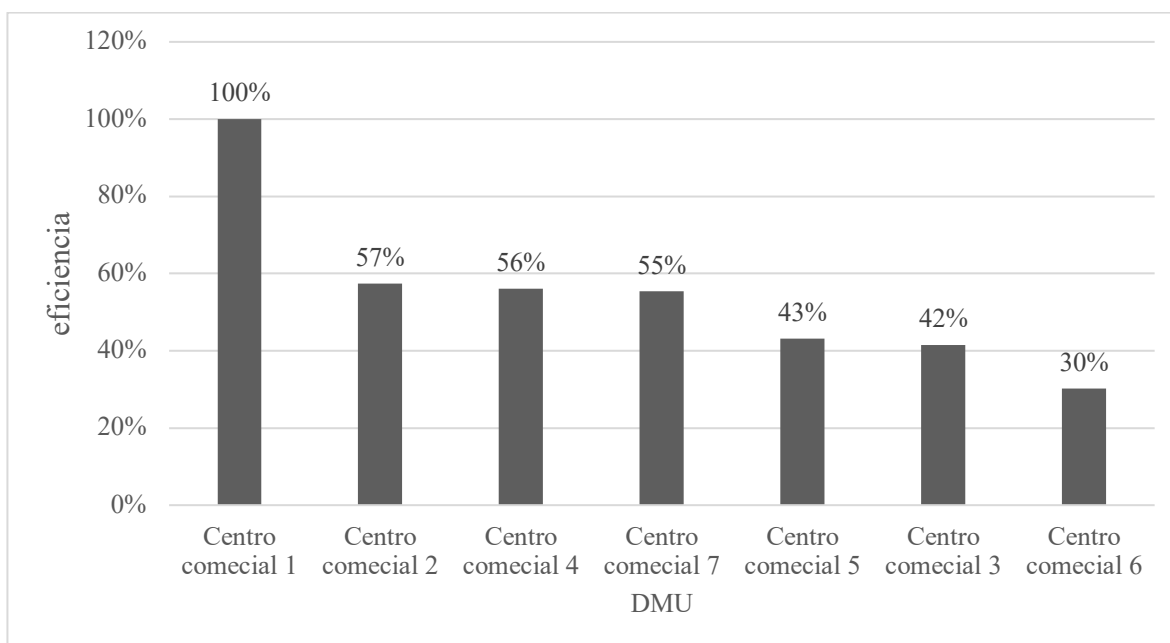


Figura 2. Eficiencia generada por DEA 2 para cada centro comercial

### **Análisis *DEA 3***

Las plazoletas de comidas es un motivo esencial por el cual muchos usuarios acuden a los centros comerciales, debido a que familias y amigos buscan un sitio tranquilo y con diversidad de opciones para elegir. Los datos que se implementaron para el modelo *DEA 3* en el Mall de comidas se representan en la Tabla 7.

Tabla 7. Datos DEA 3

<i>DMUs</i>	<i>(i)Mall comidas</i>	<i>(o)Variedad</i>	<i>(o)Atención</i>
<i>Centro comercial 1</i>	18	3,583	3,833
<i>Centro comercial 2</i>	22	4,783	4,704
<i>Centro comercial 3</i>	24	4,319	4,329
<i>Centro comercial 4</i>	33	4,219	4,326
<i>Centro comercial 5</i>	4	2,941	3,500
<i>Centro comercial 6</i>	10	3,143	3,902
<i>Centro comercial 7</i>	14	4,203	4,300

Como resultado del modelo DEA 3, se tiene una eficiencia promedio de 41%, la más baja de los análisis realizados. El centro comercial 5 es eficiente y el centro comercial 4 el menos eficiente, con un resultado del 17% (ver Figura 3). Seis de los siete centros comerciales tienen una eficiencia inferior al 45%, esto se debe a que en los Mall los consumidores hoy en día buscan precios razonables, calidad, buena atención, higiene y sin dejar a un lado la agilidad y la cercanía. Por otro lado, está el tipo de comida que se oferta, ya sea comida rápida o tradicional.

No obstante, para mejorar la eficiencia del Mall de comidas se recomienda de manera general que, los malls asocien factores como el espacio, la comodidad, la luz, la ventilación y la estética para convertir este espacio en el lugar especial para el consumo de alimentos. También se debe educar a las personas sobre la cultura de recoger los desechos de sus comidas o basura y que sea depositada en el respectivo punto ecológico.

Además, con el objetivo de minimizar los desperdicios generados los restaurantes, se propone implementar la “doggy bag” que consiste en un recipiente de cartón plegable o bolsas para llevar, con un diseño agradable e incluso reusables para que las personas las pueda usar en más de una ocasión para el almuerzo. Asimismo, se recomienda tener más flexibilidad en los horarios del mall de comidas, debido a que muchas personas asisten a los bares de la zona son clientes potenciales.

También se podría lograr negociaciones óptimas con los proveedores nacionales y extranjeros para establecer una cadena de suministros más sólida y mejorar la eficiencia de los negocios.

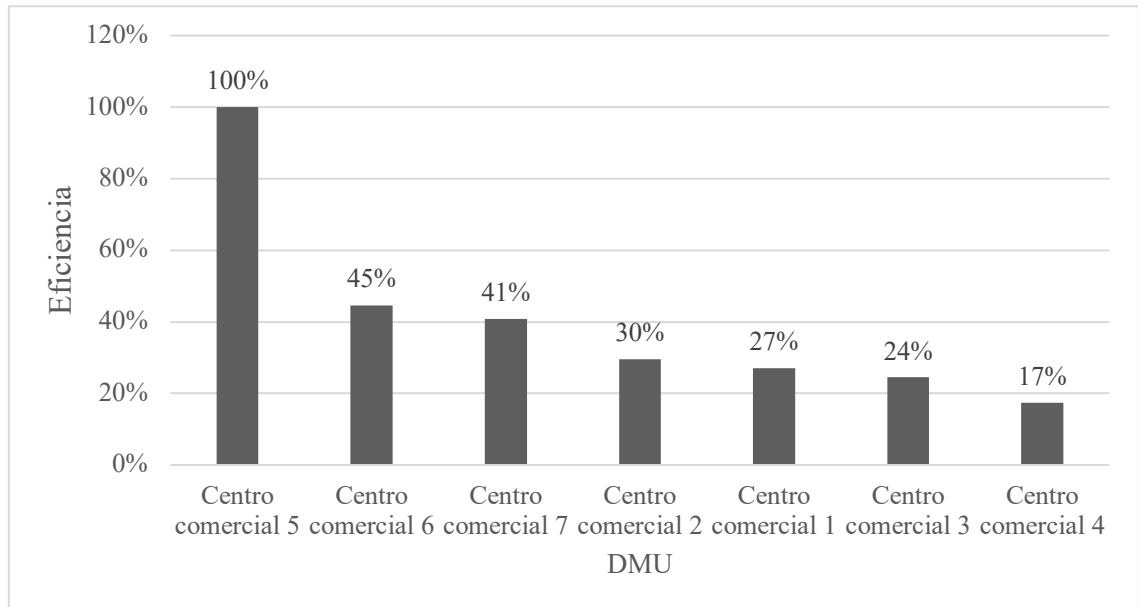


Figura 3. Eficiencia generada por DEA 3 para cada centro comercial

#### **Análisis DEA 4**

El servicio de parqueadero en los Centros Comerciales en la actualidad se ha considerado como un servicio esencial, por la comodidad y la seguridad que se le genera al usuario. En la Tabla 8 se presentan los datos que se implementaron en el modelo DEA 4 para el área de parqueaderos.

Tabla 8. Datos DEA 4

<i>DMU</i>	<i>(i)Cantidad de Parqueaderos</i>	<i>(o)Calificación parqueadero</i>	<i>(o)Calificación seguridad</i>
<i>Centro comercial 1</i>	<i>150</i>	<i>3,750</i>	<i>4,500</i>
<i>Centro comercial 2</i>	<i>1320</i>	<i>4,627</i>	<i>4,803</i>
<i>Centro comercial 3</i>	<i>700</i>	<i>4,565</i>	<i>4,507</i>
<i>Centro comercial 4</i>	<i>330</i>	<i>3,934</i>	<i>4,348</i>
<i>Centro comercial 5</i>	<i>87</i>	<i>3,057</i>	<i>4,176</i>
<i>Centro comercial 6</i>	<i>147</i>	<i>2,951</i>	<i>3,810</i>
<i>Centro comercial 7</i>	<i>400</i>	<i>4,059</i>	<i>4,400</i>

En el siguiente análisis solo se encontró una DMU eficiente la cual es el centro comercial 5. El centro comercial 2 es el menos eficiente con una puntuación del 10% como se evidencia en la Figura 4. En cuanto al promedio de la eficiencia se obtiene un 46%. Asimismo, 4 de los 7 centros comerciales tienen una eficiencia menor al 34%, esto sucede debido a que los parqueaderos no son lo suficiente cómodos y seguros para los consumidores, ya que la estructura de este lugar está conformada por múltiples columnas que para algunas personas es un riesgo de accidente al momento de parquear, los espacios suelen ser muy pequeños y carece que cámaras de seguridad como de vigilantes. Adicionalmente, el alto costo en algunos centros comerciales no genera una buena percepción del cliente.

Para mejorar el porcentaje de eficiencia se sugiere implementar cámaras de vigilancia y personal suficiente, que permitan generar un sentimiento de seguridad y confianza en el cliente. También se propone un sistema inteligente sensorial que indique los espacios de parqueo disponibles. En el caso de la comodidad: la iluminación y la ventilación de las zonas del parqueo son factores muy importantes, de tal manera se debe poner en funcionamiento un buen sistema de iluminación que a su vez contribuya con el medio ambiente en cuanto ahorro de energía. Con relación a la ventilación se requiere de extractores potentes.

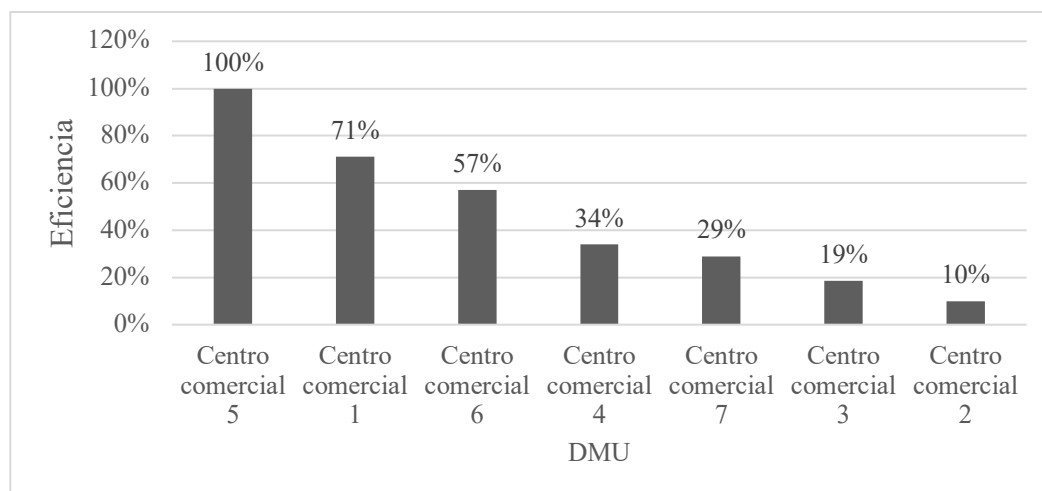


Figura 4. Eficiencia generada por DEA 4 para cada centro comercial

En la tabla 9, se consolidó la eficiencia de los 7 centros comerciales con los 4 modelos DEA, donde se puede observar que el centro comercial 1 es eficiente en el análisis 1 y 2 que corresponden el área de baños y locales ocupados, mientras que el centro comercial 5 es eficiente en el estudio 3 y 4, que hacen referencia al mall de comidas y al área de parqueaderos. Hay que mencionar, además que el centro comercial 2 posee la mínima eficiencia de todos los modelos con un valor de 10%. Otro punto por destacar es el promedio del DEA 3, porque tiene una eficiencia del 41%, la mas baja de todos los análisis.

Tabla 9. Resumen de eficiencias

DMU	EFICIENCIA			
	DEA 1	DEA 2	DEA 3	DEA 4
Centro comercial 1	100%	100%	27%	71%
Centro comercial 2	99%	57%	30%	10%
Centro comercial 3	94%	42%	24%	19%
Centro comercial 4	90%	56%	17%	34%
Centro comercial 5	87%	43%	100%	100%
Centro comercial 6	84%	30%	45%	57%
Centro comercial 7	59%	55%	41%	29%
Promedio	87%	55%	41%	46%

## ***Discusión y conclusiones***

Se desarrolla un modelo DEA para el análisis de eficiencia de los centros comerciales de la ciudad de Pereira utilizando el modelo CCR-O. Se determina que los servicios ofrecidos con relación a baños, aseo, variedad de locales, exclusividad y atención el centro comercial 1 es el que obtiene una eficiencia del 100%. Con respecto al mall de comidas y el servicio de parqueaderos el centro comercial 5 es el que obtiene la eficiencia de Pareto.

Se realizan recomendaciones para las diferentes áreas estudiadas (Baños, locales ocupados, Mall de comidas y parqueaderos) con el fin de mejorar su eficiencia y competencia. Se hace énfasis en el mejoramiento del servicio de parqueaderos para el centro comercial 2, el cual obtiene una eficiencia mínima del 10%. Se sugiere para futuras investigaciones, escalar el estudio a un nivel regional o nacional, que permita con la inclusión de mas DMUs el análisis de las variables en un solo modelo.

## ***Referencias***

- ACECOLOMBIA. (2018). *Centros comerciales, destinos para el turismo de shopping*. Revista Punto Comercial, 83. Retrieved from <http://www.acecolombia.org/descargas/puntocomercial33.pdf>
- Álvarez Cantalapiedra, S., & Villarejo Galende, H. (2003). *La Regulación de Llos Grandes Centros Comerciales:: Una Aproximación Sociológica y Jurídica*. Revista de Derecho (Valdivia), 15, 131–155. <https://doi.org/10.4067/S0718-09502003000200006>
- Bai, Z., Liu, Q., Gong, L., & Lei, J. (2019). *Application of a mid-/low-temperature solar thermochemical technology in the distributed energy system with cooling, heating and power production*. Applied Energy, 253(January), 113491. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113491>
- Calvo-Porrá, C., & Lévy-Mangin, J. P. (2019). *Profiling shopping mall customers during hard times*. Journal of Retailing and Consumer Services, 48(November 2018), 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.02.023>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). *Measuring the efficiency of decision making units*. European Journal of Operational Research, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Curto, D., Franzitta, V., Longo, S., Montana, F., & Riva Sanseverino, E. (2019). *Investigating energy saving potential in a big shopping center through ventilation*

- control. *Sustainable Cities and Society*, 49(March), 101525. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101525>
- Denman, S., Fookes, C., Yarlagadda, P. K. D. V., & Sridharan, S. (2019). Scene Invariant Virtual Gates Using DNNs. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 29(9), 2637–2651. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2018.2874649>
- Del, I., & Intergubernamental, G. (2014). *Cambio climático 2014. Informe de síntesis. Versión Castellano*.
- Essid, H., Ganouati, J., & Vigeant, S. (2018). A mean-maverick game cross-efficiency approach to portfolio selection : An application to Paris stock exchange. 113, 161–185. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.040>
- Hamza, M. F., Ganesh, S. R., Ganesh, V. S., Uddin, A. A., & Ghosh, S. (2019). Parking system for smart cities. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2 Special Issue 11), 3535–3538. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1436.0982S1119>
- Lei, L., Chen, W., Xue, Y., & Liu, W. (2019). A comprehensive evaluation method for indoor air quality of buildings based on rough sets and a wavelet neural network. *Building and Environment*, 162(May), 106296. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106296>
- Liu, H.-H. (2018). Applying three-stage DEA on the operational performance of foreign banks in Taiwan. *International Review of Applied Economics*, 32(1), 104–118. <https://doi.org/10.1080/02692171.2017.1332014>
- Liu, J. S., Lu, L. Y. Y., & Lu, W. M. (2016). Research fronts in data envelopment analysis. *Omega (United Kingdom)*, 58, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.04.004>
- Mariano, E. B., Sobreiro, V. A., & do Nascimento Rebelatto, D. A. (2015). Human development and data envelopment analysis: A structured literature review. *Omega*, 54, 33–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.01.002>
- Meena, S., Patil, G. R., & Mondal, A. (2019). Understanding mode choice decisions for shopping mall trips in metro cities of developing countries. *Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour*, 64, 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.05.002>
- Merrilees, B., & Miller, D. (2019). Companion shopping: the influence on mall brand experiences. *Marketing Intelligence & Planning*, 37(4), 465–478.
- Nebois, C., Gartner, I., & Herzfeld, T. (2019). Vienna Underground, Neubaugasse Station – Preparatory works and challenges on the surface | U-Bahn Wien, Station Neubaugasse – Vorarbeiten und Herausforderungen an der Oberfläche. *Geomechanik Und Tunnelbau*, 12(5), 417–425. <https://doi.org/10.1002/geot.201900030>
- Omrani, H., Shafaat, K., & Emrouznejad, A. (2018). An integrated fuzzy clustering cooperative game data envelopment analysis model with application in hospital



- efficiency. *Expert Systems With Applications*, 114, 615–628. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.07.074>
- Pastor, J. T., Aparicio, J., Alcaraz, J., Vidal, F., & Pastor, D. (2018). Bounded directional distance function models. *Central European Journal of Operations Research*, 26(4), 985–1004.
- Perović, S. K., & Šestović, J. B. (2019). Creative street regeneration in the context of socio-spatial sustainability: A case study of a traditional city centre in Podgorica, Montenegro. *Sustainability (Switzerland)*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/su11215989>
- Rao, F. (2019). Resilient forms of shopping centers amid the rise of online retailing: Towards the urban experience. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/su11153999>
- Reza, M., Ignatius, J., & Rezaee, B. (2019). Improving discriminating power in data envelopment models based on deviation variables framework. *European Journal of Operational Research*, 278(2), 442–447. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.046>
- Visar, H. (2019). Sustainable impact of adaptive reuse of communist style shopping malls in Kosovo. *Property Management*, 37(5), 662–683. <https://doi.org/10.1108/PM-02-2019-0010>
- Xie, Q., Li, Y., Wang, L., & Liu, C. (2018). Improving discrimination in data envelopment analysis without losing information based on Renyi ' s entropy. *Central European Journal of Operations Research*, 26(4), 1053–1068. <https://doi.org/10.1007/s10100-018-0550-y>
- Zhao, Y. B., Wu, G. Z., Gong, Y. X., Yang, M. Z., & Ni, H. G. (2019). Environmental benefits of electronic commerce over the conventional retail trade? A case study in Shenzhen, China. *Science of the Total Environment*, 679, 378–386. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.081>

# 19

## ***Actualización e implementación de sistema electromecánico para caracterización óhmica y electromagnética de un electroimán Phylatex***

### ***Updating and implementation of the electromechanical system for ohmic and electromagnetic characterization of an electromagnet Phylatex***

Daniel Patiño Vargas<sup>1</sup>, Milton Humberto Medina Barreto<sup>2</sup>, Beatriz Cruz Muñoz<sup>3</sup>

#### ***Resumen***

Algunos de los retos por parte del desarrollo científico y tecnológico permiten retomar la caracterización de un electroimán como herramienta para la identificación magnética de materiales. Los últimos desarrollos tecnológicos están tomando como referente las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (ICT) de cara a los nuevos paradigmas que se plantean en la cuarta revolución industrial o industria 4.0. Por lo tanto, en este trabajo, como respuesta a esos nuevos desafíos, se planteó el diseño, construcción e implementación de un sistema de identificación electromecánico, empleado para la caracterización óhmica y electromagnética de un electroimán Phylatex con núcleo de hierro. Al mismo tiempo, se consideró en conjunto, el análisis metrológico para calcular las incertidumbres respectivas de las medidas directas e indirectas. El sistema electromecánico está compuesto principalmente

---

<sup>1</sup> Estudiante 10 Semestre Ingeniería Física, Universidad Tecnológica de Pereira, [danielpava95@utp.edu.co](mailto:danielpava95@utp.edu.co)

<sup>2</sup> Doctorado en Ciencias – Física, Universidad Tecnológica de Pereira, [mmedina@utp.edu.co](mailto:mmedina@utp.edu.co)

<sup>3</sup> Doctorado en Ciencias – Física, Universidad Tecnológica de Pereira, [bcruz@utp.edu.co](mailto:bcruz@utp.edu.co)

por dos partes: la primera integra una interfaz híbrida análogo-digital, la cual permitió obtener y analizar los datos, ya sea mediante una interfaz gráfica de usuario computarizada o a través de un display digital en el que se pueden observar los datos medidos de forma directa. En la segunda parte un sistema electromecánico permitió un posicionamiento espacial con tres ejes de libertad XYZ de un sensor Hall de campo magnético. La caracterización óhmica nos permitió evaluar la corriente, el voltaje y la resistencia para el electroimán, obteniendo las respectivas incertidumbres de acuerdo con la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida GUM. El proceso de caracterización electromagnética permitió obtener curvas de calibración campo magnético -corriente y curvas características de distribución espacial de acuerdo con el valor del campo magnético medido. Se obtuvieron valores máximos de  $984.70 T \cdot 10^{-3} \pm 10.70 T \cdot 10^{-3}$  para una corriente máxima de  $3.04 A \pm 0.11 A$  para una separación entre los núcleos de hierro de 0.01 m. En vista de que se conservó linealidad en los campos fue posible realizar la caracterización de los campos magnéticos y estimar un rango de trabajo.

**Palabras clave:** Actualización Electroimán, Calibración óhmica y magnética, Instrumentación, Electromagnetismo.

### ***Abstract***

*Some of the challenges of scientific and technological development allow us to resume the characterization of an electromagnet as a tool for the magnetic identification of materials. The latest technological developments are taking as reference the new information and communication technologies (ICT) facing the new paradigms that arise in the fourth industrial revolution or industry 4.0. Therefore, in this work, in response to these new challenges, the design, construction and implementation of an electromechanical identification system, used for the ohmic and electromagnetic characterization of an iron core Phylatex electromagnet, was raised. At the same time, the metrological analysis was considered together to calculate the respective uncertainties of the direct and indirect measurements. The electromechanical system is mainly made up of two parts: the first integrates a hybrid analog-digital interface, which allowed data to be obtained and analyzed, either through a computerized graphical user interface or through a digital display where they can be observed directly measured data. In the second part, an electromechanical system allowed spatial positioning with three XYZ freedom axes for a Hall magnetic field sensor. The ohmic characterization allowed us to evaluate the current, the voltage and the resistance for the electromagnet, obtaining the respective uncertainties according to the Guide for the Expression of Measurement Uncertainty GUM. The electromagnetic characterization process allowed obtaining magnetic field-current calibration curves and characteristic*

curves of spatial distribution according to the value of the measured magnetic field. Maximum values of  $984.70 \cdot 10^{-3} \pm 10.70 \cdot 10^{-3} \text{ T}$  were obtained for a maximum current of  $3.04 \pm 0.11 \text{ A}$  for a separation between the iron cores of  $0.01 \text{ m}$ . Since linearity was preserved in the fields, it was possible to characterize the magnetic fields and estimate a working range.

**Keywords:** Electromagnet Update, Ohmic and Magnetic Calibration, Instrumentation, Electromagnetism.

## Introducción

Los electroimanes son dispositivos básicos que han requerido continuamente atención en áreas de la ingeniería y la ciencia básica. Por un lado, presentan un amplio uso en sistemas de control de movimiento de precisión en aplicaciones relacionadas con rodamientos magnéticos (Yeh & Chung, 2000), litografía (Williams, Trurnper, & Hocken, 1993) y en microscopios de tunelamiento STM o de fuerza atómica AFM (Holmes & Trumperl, 1996) (Ludwick, Trumper, & Holmes, 1996), (Chen, D.L., & Smith, 2002). De otro lado, se requieren electroimanes que sean capaces de producir alta inducción magnética del orden de los militeslas o incluso de los teslas, para lograr estimular una respuesta magnética de un material magnético, lo que permite su caracterización por técnicas tales como resonancia magnética nuclear RMN (Louis-Joseph & Lesot, 2019), Magnetometría de Muestra Vibrante VSM (Hosseini, Khiabani, Sarreshtedare, & Fardmanesh, 2012) o Efecto Kerr Magnetoóptico (Allwood, Xiong, Cooke, & Cowburn, 2003).

Un electroimán fundamentalmente se constituye por una espira a través de la cual fluye corriente (William H. Hayt & Buck, 2006) (Sadiku, 2003), sin embargo, al sumar varias espiras se conforma una bobina de la cual existen múltiples configuraciones una de ellas es dos bobinas paralelas de tal forma que la distancia que las separa presenta aproximadamente el mismo valor de los radios comunes de las bobinas, generando una inducción magnética  $H$  casi uniforme en un volumen dado, a lo largo del eje  $x$  de las bobinas. A una distancia  $x$ ,  $H$  viene dado por la ecuación (1), donde  $N$  es el número de vueltas (Restrepo, Franco, & Pinedo, 2014).

$$H = \frac{\pi NI}{5r} \left[ \left( 1 + \frac{x^2}{r^2} \right)^{-3/2} + \left( 1 + \left( \frac{r-x}{r} \right)^2 \right)^{-3/2} \right] \quad (1)$$

Restrepo et al. (*Restrepo, Franco, & Pinedo, 2014*) presentan una metodología para el diseño y validación de un sistema de bobinas de Helmholtz cuadradas triaxiales para estimulación de sistemas biológicos con campos magnéticos de baja magnitud y frecuencia. Ellos concluyen que para verificar la distribución de campo magnético alrededor del centro de separación de las bobinas se debe medir en diferentes puntos sobre el volumen de trabajo por medio de una estructura base que determine la ubicación exacta de los sensores. Torres et al. realizan en el 2007 la caracterización y calibración de un electroimán Phylatex (*Cruz Muñoz, Torres O., & Marin Ramirez, 2007*) constituido por bobinas de Helmholtz con núcleos cilíndricos planos de hierro, y estudian la variación de la inducción magnética en función de la corriente, mediante la implementación de algoritmos de control usando el programa LabView 7.1, usando una fuente de corriente Kepco ATE 75-15M para alimentar el electroimán. Ellos encuentran que el arreglo óptimo para aplicaciones que requieran campos magnéticos mayores a 0,5 T corresponde a una distancia de 1,0 cm con una linealidad por debajo de los 3 A. Sin embargo, plantean que la histéresis del material de los núcleos hace necesario considerar procesos de desimánación en ellos. Posteriormente, el electroimán calibrado por Torres et al es empleado como componente del conjunto eléctrico para la implementación de un magnetómetro Kerr ex situ, cuyo funcionamiento fue validado con una muestra patrón de Permalloy (NiFe) (*Osorio & Muñoz, 2008*). Sin embargo, en este último trabajo es remarcable que la instrumentación y el control necesarias para el funcionamiento del electroimán se logra al considerar un conjunto de elementos de hardware tales como la DAQ, la inversión de fase y el Lock-in, y en una menor proporción la implementación de herramientas de software que, como bien mencionan los autores en sus conclusiones, podrían implementarse más exhaustivamente para el control del ruido. La progresiva madurez en los últimos años de las Tecnologías de la Comunicación y de la Información (ICT por sus siglas en inglés) es uno de los elementos considerados en la denominada cuarta revolución industrial (industria 4.0), como lo consideran Diez-Olivan y otros (*Diez-Olivan, Ser, Galar, & Sierra, 2018*). Ellos identifican la integración circular como una mezcla de integraciones horizontales y verticales, en donde se considera el papel de sensores y actuadores fusionados con las ICT en las diferentes etapas de un determinado proceso, para enlazar el usuario final con el ciclo de vida de un producto, generando soluciones flexibles y completamente digitalizadas.

En este trabajo, se considera la aplicación de las ICT integrando preferencialmente componentes de software, sobre las componentes de hardware, para mostrar que efectivamente es posible conectar de manera simple el usuario final con las diferentes etapas involucradas en la caracterización eléctrica, magnética y espacial de un electroimán Phylatex; maximizando el control de las variables eléctricas y magnéticas medidas mediante herramientas de programación como MATLAB y herramientas programables como la tarjeta ARDUINO que permiten un desarrollo software integrado al hardware de acuerdo a la

eficacia para este tipo de procesos (Ayi, Ganti, Adimulam, & Karthik, 2017) (Al-Busaidi & M, 2012) (Munna, Tarafder, Robbani, & Mallick, 2017) en los que permite el control sobre actuadores empleando la comunicación SERIAL (Matworks, 2020) (Arduino, 2020), a su vez la lectura de múltiples sensores en este caso para las variables de interés; estas partes permiten en conjunto la modernización de los procesos en el contexto del electromagnetismo. Al mismo tiempo, en acuerdo con la modernización de las tecnologías actuales es necesario la aplicación de las normas metrológicas de la GUM (JGM, 2008) (Hernández, 2012) (Rincon, Florez, Cruz Muñoz, & Medina Barreto, 2011), para evaluar adecuadamente los datos que se generan del estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos.

## **Metodología**

En complemento con un proceso de planeación, desarrollo e implementación electromecánico bajo criterios electrónico, mecánico y computacional, la aplicación de las ICT plantea componentes de software y hardware que apoyan una metodología deductiva; permitiendo dar cumplimiento a la repotencialización de un equipo que automatiza los procesos, disminuyendo el error humano y el tiempo de adquisición de la información. En este caso en particular, nos enfocamos en el análisis y caracterización eléctrica, magnética y espacial de un electroimán que admite el desarrollo de un algoritmo que permita correlacionar de manera cuantitativa y simple las variables de interés para el usuario final.

### **Criterios de diseño**

Se establecieron los criterios de diseño electromecánico debido a la necesidad de disminuir el error humano, proponiendo un sistema de posicionamiento conformado por tres componentes: electrónico, mecánico y computacional, como criterios fundamentales para permitir la repotenciación de un equipo en el cual la toma de datos es totalmente manual y depende de un usuario de tiempo completo controlando las variables.

### **Criterio Electrónico**

Se estableció el criterio de diseño electrónico de determinados ítems necesarios para el control de actuadores y la comunicación SERIAL con el ordenador, teniendo en cuenta trabajos recientes (Ayi, Ganti, Adimulam, & Karthik, 2017) (Al-Busaidi & M, 2012) (Munna, Tarafder, Robbani, & Mallick, 2017) de compatibilidad de las placas ARDUINO y la viabilidad en el mercado presentó una alternativa asequible.

Como se puede apreciar en la Tabla 1 el sistema electrónico está compuesto por 8 elementos: El controlador principal una placa ARDUINO MEGA 2560, la cual requiere una alimentación de 5V, posee 54 pines digitales I/O (15 de ellos permiten una salida PWM), 16

pinos analógicos y una velocidad de reloj de 16 MHz al igual que un puerto de comunicación SERIAL, cumpliendo condiciones necesarias para el control de actuadores, lectura de sensores y comunicación con el ordenador de forma adecuada y a una velocidad promedio de 9600 baudios. Dos controladores para motores paso a paso unipolares Driver ULN2003 en conjunto con motor paso a paso 28BYJ-48 el cual requiere una alimentación de 5V y permite el desplazamiento para los ejes XY acoplados a un tornillo sinfin para cada eje.

Tabla 1. Tabla de componentes electrónicos para la instrumentación del electroimán

<i>Elemento</i>	<i>Cantidad</i>
<i>ARDUINO MEGA 2560</i>	<i>1</i>
<i>Driver ULN2003</i>	<i>2</i>
<i>Motor 28BYJ-48</i>	<i>2</i>
<i>Servo motor MG996R</i>	<i>1</i>
<i>LCD2004</i>	<i>1</i>
<i>Modulo LCD I2C</i>	<i>1</i>
<i>Sensor de corriente ACS712 20A</i>	<i>1</i>
<i>Sensor de Voltaje FZ0430</i>	<i>2</i>

### **Phylatex**

Un servo motor MG996R de alto torque  $9.4 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$  (4.8V) y  $11 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$  (6V) con un rango de operación de 4.8V a 7.2V de piñonera metálica, que permite el movimiento vertical de acuerdo con lo planteado en el criterio mecánico. Una pantalla LCD 20x4 controlada por un módulo de comunicación I2C, esta permite visualizar los datos y observar el menú de control manual, conjunto a un JOYSTICK como mando de control los cuales requieren una alimentación de 5V. Un sensor de corriente ACS712 20A con un rango de medida de  $\pm 20 \text{ A}$  y Sensor de Voltaje FZ0430 con un rango de Voltaje a medir:  $0.00\text{V} \sim 25\text{V}$ ; el sensor de voltaje permite medir el campo magnético ya que el Teslámetro PHYWE presente para realizar posee salida para lectura analógica.

### **Criterio Mecánico**

Se estableció el criterio de diseño mecánico en el cual se realizó la elección del software SolidWorks (*Solidworks, 2020*) para desarrollar el diseño y simulación de la estructura mecánica con múltiples ejes (*Jonathan & Cumbal, 2014*) adecuada para soportar el sistema de posicionamiento; éste cuenta con un acople al electroimán estabilizando y posicionando el sistema en la parte superior del electroimán para un mejor ángulo de funcionamiento y de acuerdo con las condiciones físicas y mecánicas. La ubicación del sistema de posicionamiento en la parte superior, mostrado en el segmento A de la figura 1,

favorece el desplazamiento tanto de sensores como estabilidad en el movimiento. Se emplea el uso de dos varillas roscadas (o tornillo sinfín) como tornillo milimétrico para el desplazamiento en términos de ancho y profundidad, las varillas soportadas por dos ejes lisos y rotando a través de un acople con un motor de manera paralela (segmentos A y B de la Figura 1). El movimiento en el eje Z o altura se efectuó mediante un servomotor MG996R de giro continuo y alto torque, ya que requiere un esfuerzo mayor y relación de movimiento con un engranaje y una cremallera de manera vertical. Comprendido los sistemas mecánicos presentes en el sistema de posicionamiento cabe resaltar la base y el sistema de posicionamiento principal se encuentran divididos en dos piezas principalmente además de ser una estructura totalmente desarmable, la separación de dos piezas principales cumplió el objetivo de permitir el desacople del sistema de posicionamiento a la base para ajustes o traslados.

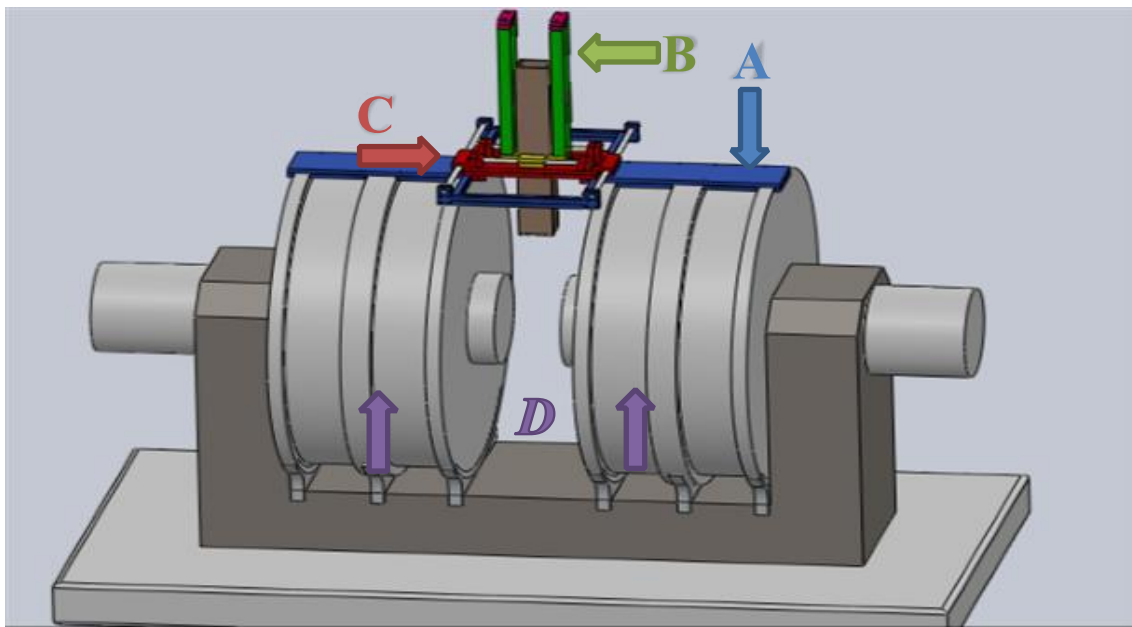


Figura. 1. Modelo en SolidWorks del electroimán y el sistema de posicionamiento tridimensional.

### **Criterio Computacional**

Se estableció el criterio de diseño computacional de acuerdo con la compatibilidad con el criterio electrónico debido a la necesidad de comunicación SERIAL o en SERIE (Saboya, 2012) entre ambas partes, consiguiendo de esta manera la capacidad de efectuar lectura y escritura por parte del software en interacción constante con el hardware. Debido a las toolbox presentes en MATLAB (Matworks, 2020) se logra una adecuada capacidad de



cómputo y análisis de datos por parte de software, en conjunto con Arduino; y la capacidad de realizar un control por parte del usuario final a través del desarrollo de una interfaz gráfica de usuario (GUI como sus siglas en inglés lo indican), ya que esto permitió una mayor comodidad y entendimiento para los procesos de análisis experimental dadas las evidencias en múltiples áreas que implementa la capacidad de cómputo de MATLAB y el desarrollo de GUI como herramienta (Li, Harari, Wong, & Kapila, 2004) (Giurma, Paramasiva, Osman, Kadir, & Muthusamy, 2009).

La comunicación SERIAL es totalmente bilateral, sin embargo, no permite que esta sea simultánea, debe haber verificación por parte del emisor y receptor para no generar un conflicto entre los datos de lectura y escritura. El desarrollo de software y el entendimiento de la comunicación serial permiten tanto la lectura de datos como el control de la componente electromecánica del sistema; sin embargo, la posibilidad brindada por la capacidad de programar la placa Arduino nos permite una interfaz híbrida en la cual el usuario podrá realizar lectura y control tanto computacional como manual.

## Resultados

Inicialmente se consideran los resultados obtenidos de la caracterización eléctrica voltaje corriente del electroimán Phylatex, como se muestra en la Figura 2, en la cual se evidencia el carácter óhmico de las bobinas que constituyen el solenoide al obtenerse un comportamiento lineal, en un rango de corriente entre 0 A hasta 3.14 A. En la gráfica se indican con barras los valores de la incertidumbre expandida de acuerdo con las normas de la GUM, para las medidas directas de corriente y tensión.

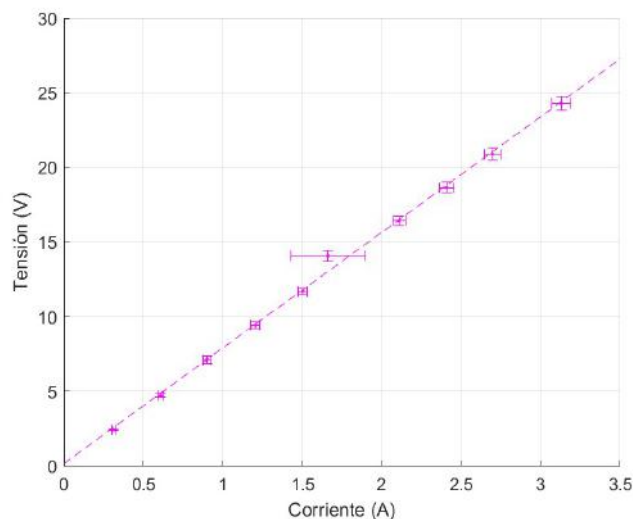


Figura 2. Curva característica voltaje-corriente del electroimán Phylatex

En la Tabla 2 se presentan los valores respectivos de voltaje y corriente con sus incertidumbres, y adicionalmente se presentan los resultados del cálculo de la incertidumbre en la pendiente, que en este caso corresponde a los valores de la resistencia como variable indirecta; teniendo en cuenta los coeficientes relacionados a las derivadas parciales del voltaje y la corriente y el coeficiente de correlación, como se expresa en las normas de la GUM. El valor promedio de la resistencia es de  $7.86\Omega \pm 0.05\Omega$ , valor que es muy similar al valor de referencia de  $7.0\Omega$  especificado por el fabricante. Por lo tanto, la ecuación que representa el comportamiento eléctrico del electroimán se puede representar como la ecuación (2), que muestra la relación que caracteriza la linealidad voltaje-corriente en el electroimán Phylatex.

$$V = 7.86 I \quad (2)$$

Tabla 2. Valores de tensión, corriente y resistencia con su respectiva incertidumbre, de acuerdo con las normas de la GUM

Tensión (V)	Corriente (A)	Resistencia (Ohm)
$0.31 \pm 0.01$	$2.40 \pm 0.07$	$7.78 \pm 0.05$
$0.61 \pm 0.02$	$4.75 \pm 0.12$	$7.84 \pm 0.01$
$0.90 \pm 0.02$	$7.15 \pm 0.21$	$7.92 \pm 0.04$
$1.21 \pm 0.03$	$9.48 \pm 0.23$	$7.86 \pm 0.01$
$1.50 \pm 0.03$	$11.77 \pm 0.28$	$7.83 \pm 0.01$
$1.71 \pm 0.18$	$14.14 \pm 0.35$	$8.25 \pm 0.66$
$2.10 \pm 0.04$	$16.47 \pm 0.40$	$7.83 \pm 0.01$
$2.40 \pm 0.05$	$18.72 \pm 0.37$	$7.79 \pm 0.01$
$2.70 \pm 0.05$	$21.00 \pm 0.50$	$7.80 \pm 0.01$
$3.14 \pm 0.06$	$24.20 \pm 0.60$	$7.70 \pm 0.01$

Para la caracterización magnética del electroimán se tuvieron en cuenta valores aproximados de la corriente aplicada en la curva característica corriente-voltaje para una distancia constante de separación de 0.01 m entre los núcleos cilíndricos de hierro. En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos, nuevamente considerando la Guía para el Cálculo de Incertidumbres, tanto en la corriente, como en el valor del campo magnético obtenido por el teslámetro incluyendo las incertidumbres tipo A (se repitieron 20 veces las medidas) y las incertidumbres tipo B1 (por resolución) y tipo B2 (por especificaciones del fabricante). Es evidente de la figura 3 el comportamiento completamente lineal del sistema, hecho que nos permite asociar a cada valor de corriente, un valor específico unívoco de valor de campo magnético inducido por el electroimán Phylatex. Sin embargo, es claro que, para el último dato correspondiente a un valor de corriente mayor a 3 A, el sistema comienza a alejarse de su linealidad, indicando que el sistema comienza un proceso de saturación. El respectivo ajuste lineal de esta expresión por mínimos cuadrados permite obtener la ecuación

(3) que representa la “calibración” campo magnético corriente en el electroimán para esta distancia. Dicha ecuación entrega la relación de calibración entre el campo magnético inducido y la corriente para una distancia de separación de 0.01 m

$$H = K_m \cdot I + b \quad (3)$$

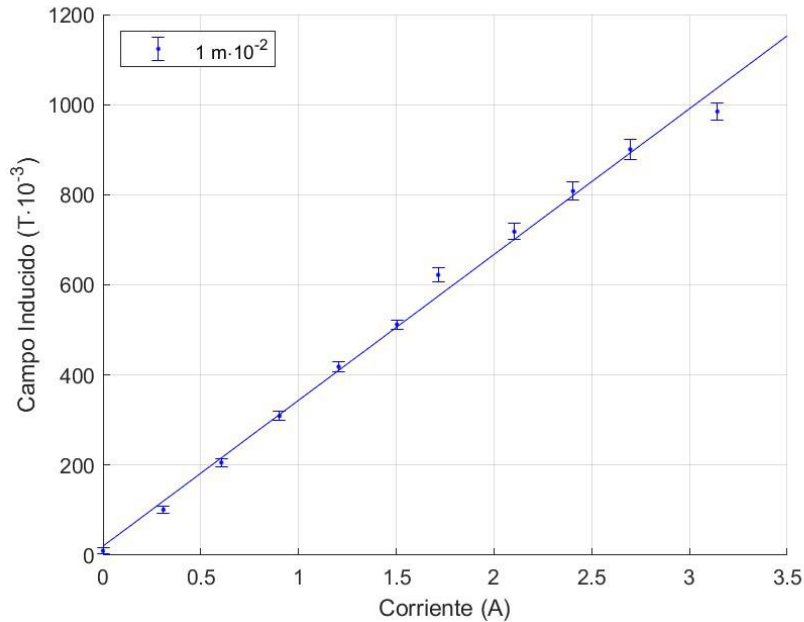


Figura 3. Curva Campo vs corriente para una separación de 0,01 m entre los núcleos de hierro cilíndricos del electroimán.

El factor de calibración  $K_m = 323.6 \cdot 10^{-3} T / A$  representa la pendiente de la recta y  $b = 20.2 mT$  es el corte con el eje vertical. Por lo tanto, es posible asignar unívocamente un valor de campo magnético inducido en el espacio entre los núcleos de hierro del electroimán, de acuerdo con el valor de corriente aplicado, en un rango entre los 0 A y los 3A.

En la figura 4, se muestran los resultados generales del comportamiento del campo magnético inducido con respecto a los valores de corriente en el rango ya mencionado, para valores de distancia entre los 0.01 m y los 0.04 m. El sistema en todos los casos se comporta linealmente, pero es evidente que cuando se incrementa la distancia de separación entre los núcleos, se presenta una mayor inhomogeneidad de las líneas de flujo magnético en el microvolumen definido por el electroimán, de modo que para 0.01 m se alcanzan valores de campo inducido de 1.0 T con 3 A de corriente, pero para una distancia de 0.04 m de separación sólo se alcanzan valores de campo inducido del orden de los 0.2 T con el mismo

valor de corriente. Por lo tanto, deducimos que las mejores condiciones de uniformidad con campo máximo se dan para una distancia de separación de  $0.01\text{ m}$ .

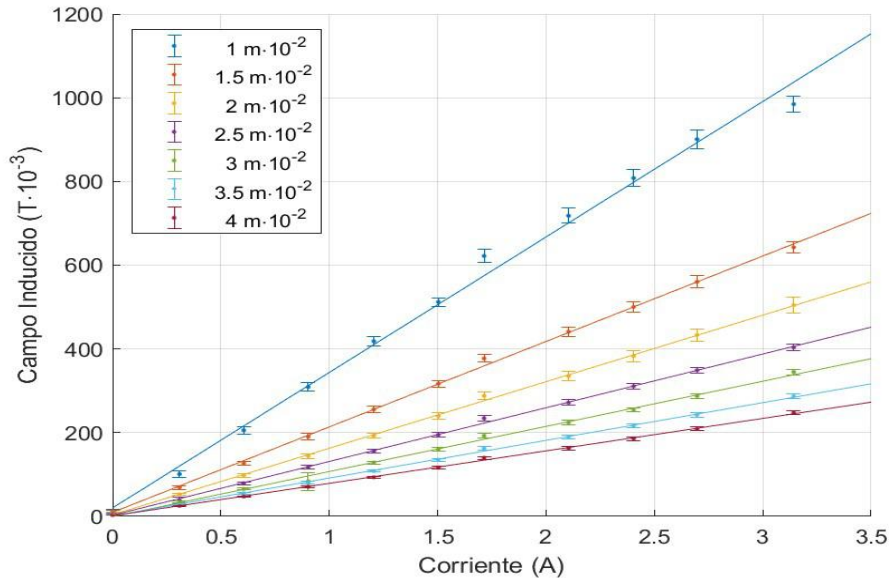


Figura 4. Relación entre el campo magnético inducido y la corriente aplicada en las bobinas para el electroimán Phylatex para distancias de separación de los núcleos de hierro entre los  $0.1\text{ m}$  y los  $0.04\text{ m}$

En la Tabla 3 se presentan los valores del factor de calibración  $K_m$ , del intercepto  $b$  y del coeficiente de determinación  $R^2$ . En todos los casos el coeficiente de determinación es mayor a  $0.99$ , indicando un importante grado de bondad entre el campo magnético inducido y la corriente aplicada para todos los valores de distancia, mostrando de esta manera la confiabilidad de los datos con sus respectivas incertidumbres.

Otra manera de interpretar los resultados es analizando el comportamiento del campo magnético inducido en función de la distancia de separación entre los núcleos de hierro para el rango de valores de corriente. En la figura 5, se observa que hay un decaimiento del campo magnético para cada uno de los valores de corriente, de modo que en el máximo valor de campo magnético para  $3.1\text{ A}$ , disminuye desde  $1\text{ T}$  (a una distancia de  $0.01\text{ m}$ ) hasta llegar aproximadamente a los  $0.25\text{ T}$  para una distancia de  $0.04\text{ m}$ . Por lo tanto, en el micro volumen definido por la zona de homogeneidad entre los núcleos.

Tabla 3. Valores obtenidos del ajuste lineal para el campo magnético inducido en el electroimán Phylatex en función de la distancia de separación para: el factor de calibración  $K_m$ , el intercepto  $b$  y el coeficiente de determinación

Distancia(m)	$K_m$	$b$	$R^2$
0.010	323.58	20.1898	0.9943
0.015	204.09	9.6486	0.9989
0.020	158.92	3.8648	0.9992
0.025	128.33	2.8585	0.9989
0.030	107.84	-0.7148	0.9971
0.035	90.03	1.5612	0.9991
0.040	77.54	1.4130	0.9991

Es interesante notar que del ajuste de cada una de las curvas de corriente constante en la figura 5, indica un comportamiento de la forma  $H = a \cdot xb$ , de acuerdo con el ajuste de las curvas mostrado en la Tabla 4. En este caso, el exponente resulta ser en todos los casos alrededor del valor  $-1.0$  con un coeficiente de determinación  $R^2$  entre 0.82 y 0.86, de modo que el nivel de bondad no es tan alto, como en el análisis de la gráfica anterior.

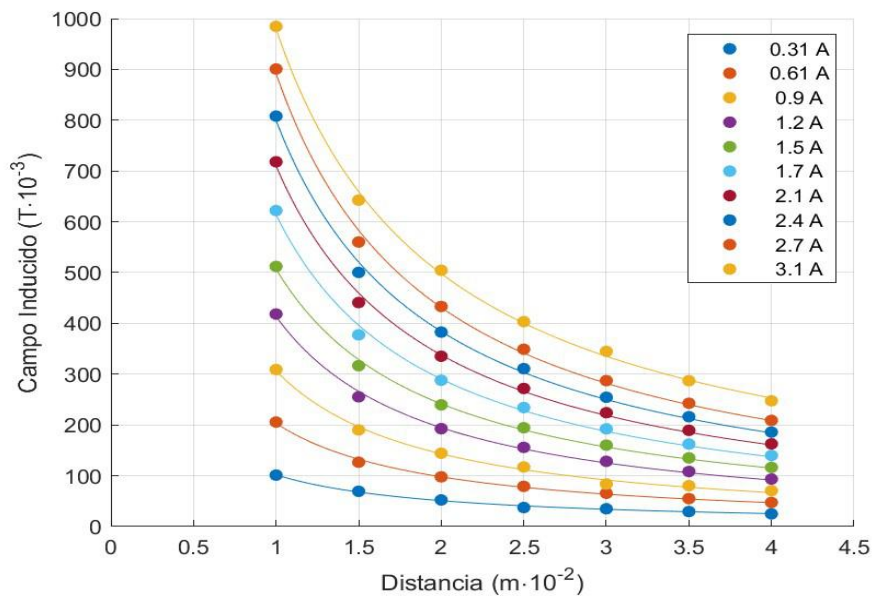


Figura 5. Relación entre el campo magnético inducido y la distancia de separación de los núcleos de hierro para un rango de corriente entre los 0 A y los 3 A.

Tabla 4. Valores del ajuste relacionados a la figura 5 para cada una de las curvas de corriente constante: constante de proporcionalidad a, exponente b, coeficiente de determinación  $R^2$ , y constante c para el electroimán Phylatex.

<i>Corriente I (A)</i>	<i>Constante de proporcionalidad a (T/m)</i>	<i>b</i>	<i>R2</i>
0.31	101.88	-0.9988	0.8554
0.61	203.35	-1.0551	0.8292
0.90	306.77	-1.0989	0.8204
1.21	413.58	-1.0869	0.8209
1.50	506.96	-1.0690	0.8274
1.71	614.07	-1.0801	0.8202
2.10	710.05	-1.0716	0.8248
2.40	799.70	-1.0579	0.8296
2.70	891.98	-1.0479	0.8341
3.14	979.44	-0.9759	0.8552

Se observó estabilidad en el sistema electromecánico y diseño físico de soporte, sin embargo, es necesario realizar más pruebas y establecer los puntos a mejorar en cada uno de estos, para desarrollar una versión mejorada del sistema de posicionamiento electromecánico que permita caracterizar campos electromagnéticos de manera adecuada.

## ***Conclusiones***

Se logró la construcción de un prototipo como sistema de posicionamiento electromecánico completo diseñado en SolidWorks, además de implementar el acople con el control por parte de Arduino incluyendo los componentes de visualización y control para el usuario como los actuadores requeridos, para el respectivo funcionamiento de un electroimán Phylatex que fue caracterizado eléctrica, magnética y espacialmente. El sistema de posicionamiento electromecánico fue controlado mediante comunicación serial, en conjunto con Matlab, en una aplicación computacional propia desarrollada en el transcurso del proyecto, la cual permitió el control y visualización de los datos, tanto de manera computacional como análoga o directa, a través de la consola física de control. La realización de la aplicación computacional y la construcción e implementación del sistema de posicionamiento permitió realizar toma de datos de manera automática incluyendo el posicionamiento de la sonda en la ubicación necesaria y así comparar los datos obtenidos mediante este sistema con los datos obtenidos previamente de manera totalmente analógica.

Se logró mejorar los tiempos de cálculo de incertidumbres y toma de datos, lo cual, ligado a los protocolos de adquisición desarrollados, permitió que el usuario tuviera de manera más eficiente la distribución de los tiempos de trabajo, debido al proceso de adquisición automático. La implementación del sistema de posicionamiento electromecánico permitió la actualización y repotenciación del electroimán Phylatex, ya que a través del sistema empleado es posible retomar en un tiempo mucho más corto y con datos confiables procesos de medición de campos magnéticos.

La caracterización eléctrica y magnética permitió verificar la linealidad entre el voltaje, la corriente y el campo magnético, mientras que la caracterización espacial permitió caracterizar un microvolumen homogéneo en el espacio entre los núcleos de hierro del electroimán con un campo máximo de 1 T.

## **Referencias**

- Al-Busaidi, & M, A. (2012). Development of an Educational Environment for Online Control of a Biped Robot Using Matlab an Arduino. Mechatronics-REM, 337-344.*
- Allwood, D. A., Xiong, G., Cooke, M. D., & Cowburn, R. P. (2003). Magneto-optical Kerr effect analysis of magnetic nanostructures. Journal of Physics D: Applied Physics, 2175–2182.*
- Arduino. (16 de Marzo de 2020). Arduino.cc. Obtenido de arduino.cc - Serial Communication:  
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/>*
- Ayi, M., Ganti, A. k., Adimulam, M., & Karthik, B. (2017). Interfacing of Matlab with Arduino for face detection and Tracking Algorithm using Serial Communication. Proceedings of the International Conference on Inventive Computing and Informatics, 944-948.*
- Chen, K.-S., D. T., & Smith, S. (2002). Design and control for an electromagnetically driven X–Y– $\theta$  stage. Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology, 355–369.*
- Cruz Muñoz, B., Torres O., J. I., & Marin Ramirez, W. (2007). Caracterización y Calibración Automática de Bobinas de Helmholtz en DC. Scientia et Technica Año XIII, Universidad Tecnológica de Pereira(No 34), 535-539.*
- Diez-Olivan, A., Ser, J. D., Galar, D., & Sierra, B. (2018). Data Fusion and Machine Learning for Industrial Prognosis: Trends and Perspectives towards Industry 4.0. Information Fusion, 2-49.*
- Giuma, B., Paramasiva, V., Osman, K., Kadir, M. R., & Muthusamy, K. (2009). Graphical User Interface (GUI) In MatLab for Solving the Pulsatile Flow in Blood Vessel . CFD Letters, 50-58.*
- Hernández, M. M. (2012). Estimación de incertidumbres, Guía GUM. Revista Española de Metrología, 113130.*
- Holmes, M., & Trumperl, D. (1996). Magnetic/fluid-bearing stage for atomic-scale motion control (the angstrom stage). Precision Engineering, 38-49.*

- Hosseini, N., Khiabani, S., Sarreshtedare, F., & Fardmanesh, M. (2012). *Optimized design and implementation of low-cost, sensitive and versatile Vibrating Sample Magnetometer*. *Iranian Conference on Electrical Engineering*, 15-17.
- JGM, C. (2008). *Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida*. España: Centro Español de Metrología.
- Jonathan, E., & Cumbal, R. (2014). *Diseño y Construcción de un Sistema de Posicionamiento Lineal Multieje Controlado por Visión Artificial para Cámara de Análisis Computarizado del Laboratorio de Análisis de Movimiento (LAM)*. *Ingeniería Mecatrónica*, 1-9.
- Li, Y.-F., Harari, S., Wong, H., & Kapila, V. (2004). *Matlab-Based Graphical User Interface Development for Basic Stamp 2 Microcontroller Projects*. *Proceeding of the 2004 American Control Conference*, 32333238.
- Louis-Joseph, A., & Lesot, P. (2019). *Designing and building a low-cost portable FT-NMR spectrometer in 2019: A modern challenge*. *Comptes Rendus Chimie*, 695-711.
- Ludwick, S. J., Trumper, D. L., & Holmes, M. L. (1996). *Modeling and Control of a Six Degree-of-Freedom MagnetidFluidic Motion Control Stage*. *Transactions on Control Systems Technology*, 553-564.
- Matworks. (16 de Marzo de 2020). *mathworks.com*. Obtenido de *mathworks.com* - Dispositivos de puerto serie: <https://la.mathworks.com/help/matlab/serial-port-devices.html>
- Munna, M. S., Tarafder, B. K., Robbani, M. G., & Mallick, T. C. (2017). *Design and Implementation of a Drawbot Using Matlab and Ardiuno Mega*. *International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 769-773.
- Osorio, J. I., & Muñoz, B. C. (2008). *Descripción e Implementación de un Magnetómetro Kerr Convencional*. *Scientia et Technica Año XIV*, 83-87.
- Restrepo, A. F., Franco, E., & Pinedo, C. R. (2014). *Metodología de Diseño e Implementación de un Sistema para Generación de Campos Magnéticos Uniformes con Bobinas Helmholtz Cuadrada Tri-Axial*. *Información Tecnológica*, 3-14.
- Rincon, J. A., Florez, A., Cruz Muñoz, B., & Medina Barreto, M. H. (2011). *Procedimiento para el Cálculo de las Especificaciones de Exactitud en el Rango de Temperatura de 700°C a 1000°C de un Horno Tubular*. *Scientia et Technica año XVI*, 169-172.
- Saboya, N. G. (2012). *Normas de Comunicación en Serie: RS-232, RS-422 y RS-485*. *Ingenio Libre*, 86-94.
- Sadiku, M. N. (2003). *Elementos de electromagnetismo*. Mexico D.F.: Oxford University Press México.
- Solidworks. (16 de Marzo de 2020). *my.solidworks.com*. Obtenido de *my.solidworks.com*: <https://my.solidworks.com/>
- William H. Hayt, J., & Buck, J. A. (2006). *Teoría electromagnética Séptima edición*. Mexico D.F.: The McGraw-Hill.
- Williams, M. E., Trurnper, D. L., & Hocken, R. (1993). *Magnetic Bearing Stage for Photolithography*. *Annals of the CIRP*, 607-610.
- Yeh, T.-J., & Chung, Y.-J. (2000). *Sliding Control of Magnetic Bearing Systems*. *Proceedings of the American Control Conference*, 1622-1626.



# 20

## ***Un algoritmo eficiente para la programación de turnos de trabajo en la operación de un sistema de transporte masivo***

### ***An efficient algorithm for staff turnover in the operation of a mass transportation system***

Rubén Iván Bolaños<sup>1</sup>, Luis Miguel Escobar Falcón<sup>2</sup>, Kenny Cárdenas Parra<sup>3</sup>, Mauricio Granada Echeverri<sup>4</sup>, César Augusto Marín Moreno<sup>5</sup>

#### ***Resumen***

En este estudio se aborda la construcción óptima de turnos de trabajo de los conductores del sistema de transporte masivo Megabús en la ciudad de Pereira, Colombia. A partir de las diferentes tablas de servicios diseñadas por el ente gestor (Megabús), el problema consiste en determinar el conjunto de turnos de trabajo mínimo y factible que debe ser realizado por los conductores. Las tablas asociadas a cada una de las rutas son de tamaños diversos (en tiempo y cantidad de viajes) y normalmente no pueden ser asignadas a un único conductor, ya sea porque el tiempo de todos los viajes en ella supera las horas reglamentarias, tanto en la cantidad de tiempo que un conductor puede trabajar de forma continua, como el tiempo de trabajo reglamentario por día. Así, surge la necesidad de realizar una partición adecuada de cada tabla de servicios, de forma que cada partición coincida con las

---

<sup>1</sup> M.Sc. en Ingeniería Eléctrica, Integra S.A., [rbolanos@integra.com.co](mailto:rbolanos@integra.com.co)

<sup>2</sup> PhD en Ingeniería, Universidad Libre Seccional Pereira, [luis.m.escobarf@unilibre.edu.co](mailto:luis.m.escobarf@unilibre.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero Industrial, Integra S.A., [kparra@integra.com.co](mailto:kparra@integra.com.co)

<sup>4</sup> PhD en Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira, [magra@utp.edu.co](mailto:magra@utp.edu.co)

<sup>5</sup> PhD en Ingeniería, Integra S.A., [cmarin@integra.com.co](mailto:cmarin@integra.com.co)

regulaciones de trabajo continuo, y que el turno diario no supere en la medida de lo posible el tiempo de trabajo máximo permitido. Se propone como metodología de solución, un algoritmo heurístico de dos fases para resolver el problema de turnos de trabajo. En la primera etapa se realiza la división de las tablas de horarios originales mediante un algoritmo que las segmenta según las restricciones operativas de los tripulantes y las convierte en bloques de trabajo (nodos) que procuran tener una duración mínima sugerida por el centro de operaciones. En la segunda etapa se realiza la construcción de los turnos de trabajo activando aristas de un grafo auxiliar que podría presentar el conjunto de nodos de la primera etapa. Estas aristas serán seleccionadas a través del Algoritmo de Kruskal para encontrar árboles de expansión mínima, modificado para construir caminos mínimos que cubran todas las aristas. Estos caminos que cumplen las restricciones operativas de los conductores de Megabús configuran los turnos de trabajo de los tripulantes. La metodología es validada en el sistema de transporte masivo del Área Metropolitana del Centro Occidente AMCO, operado por la empresa Integra S.A, la cual atiende aproximadamente 5000 servicios en días hábiles de funcionamiento. La metodología propuesta disminuye el número de turnos de trabajo que actualmente se utilizan en la operación. El algoritmo presenta buen rendimiento en términos de tiempo de cómputo, ofreciendo respuestas de buena calidad para la operación del sistema completo (tablas de hasta 5000 servicios), brindando además una herramienta de reprogramación cuando se presenten contingencias durante la prestación del servicio.

**Palabras clave:** *Problema de programación de conductores, algoritmo constructivo, heurística, matheurística.*

### ***Abstract***

*This study is focused in the construction of work shifts for the drivers of the massive transit system in the city of Pereira, Colombia. Starting with the multiple tables of services designed by the public transportation tactical agency (Megabús), the problem consists on finding out the minimum and feasible set of work shifts that must be attended by the drivers. Arises the need of an adequate division of each one of the timetables, so that each partition meets the constraints of continuous work, and also the maximum work time allowed for a driver in the same day. The methodology consists on a two-phase heuristic algorithm to solve the Crew Scheduling Problem. The algorithm is tested in the massive transit system of the West-center Metropolitan Area (AMCO), operated by Integra S.A., which attends around 5000 services during weekdays. The proposed methodology reduces the number of work shifts for operating the massive transit system of the AMCO. The algorithm has a good performance in terms of computing time, it reaches good quality solutions in limited times*

*by the operation, and it is an adequate solution for reprogramming the attention of the services during contingencies in the system.*

**Keywords:** *Crew Scheduling Problem, constructive algorithm, heuristic, matheuristic.*

## ***Introducción***

El transporte público ha aparecido como una de las alternativas de transporte para dar atención a gran parte de la población, siendo un medio de transporte más eficiente en el uso de los recursos que el transporte privado, y aportando en el desarrollo social y preservación del medio ambiente.

De acuerdo a literatura especializada, el problema más sencillo de asignación es aquel en donde se tiene que asignar un número de actividades a un igual número de recursos. El problema se hace más complejo cuando alguna de las tareas requiere más de un recurso o si los recursos pueden ser empleados en más de una tarea. Diferentes problemas reales pueden ser tratados de manera general como problemas de asignación, entre los cuales se encuentran: el problema clásico de transporte y problemas clásicos de asignación, tales como: horarios de salones de clase, horarios de clase para estudiantes, personal de salud para cubrir turnos en un hospital, programación de tripulación en las aerolíneas, trenes, asignación de conductores a buses del sistema de transporte público de las ciudades, entre otros.

La creación de turnos de trabajo para la posterior asignación de conductores en las empresas de transporte, es una de las tareas más complejas y requiere gran cantidad de tiempo en la gestión de la operación. Este proceso es un problema de gran interés ya que sin duda alguna la nómina de los operarios representa uno de los costos más elevados dentro del presupuesto de la operación de los sistemas de transporte público (Ceder, 2016). Tradicionalmente el problema ha tomado el nombre de problema de programación de la tripulación CSP (Crew Scheduling Problem) o DSP (Driver Scheduling Problem) y hace parte de la planeación operativa de los sistemas de transporte público y considera las tareas diarias asignadas a cada uno de los conductores que son necesarias para cubrir un conjunto de viajes asignados a un conjunto de vehículos (Vehicle Scheduling Problem). Es decir, dado un conjunto de viajes dentro de un horizonte de tiempo fijo, el problema consiste en generar la programación de turnos de trabajo factible que incluya tiempos de inicio y fin, diferentes tipos de tareas por parte de los conductores y una serie de viajes que deben cubrir por completo la programación de los vehículos. Además, debe satisfacer un conjunto de restricciones impuestas por las reglas de trabajo, tales como:

- Tiempo máximo de trabajo que puede realizar un conductor sin realizar pausas.
- Tiempo mínimo de descanso.
- Tiempo máximo de trabajo para cada conductor en un día
- Condiciones legales.

Los viajes, o tareas a realizar por un conductor en un vehículo de transporte público, se definen mediante la cantidad de viajes que le son asignados y todos los deberes juntos conforman la programación de turnos o itinerarios. Dicha programación se basa en el uso eficiente de los recursos humanos de tal forma que se cumpla íntegramente con las diferentes restricciones. Normalmente la programación de turnos de trabajo tiene uno o más de los siguientes objetivos: minimizar los costos asociados a los conductores, minimizar la cantidad de personal requerido y maximizar la eficiencia en el uso del personal disponible. En este trabajo, se busca minimizar el número de turnos de trabajo que deben ser atendidos.

El operador asumiendo la tabla de horarios (Timetable) entregada por el ente gestor, debe planificar los recursos necesarios para el cumplimiento de la misma; uno de los procesos de planeación es la asignación de vehículos disponibles para la operación a las tablas del itinerario y la desagregación de tablas en bloques de labores que son subconjuntos de servicios pertenecientes a una misma tabla, con el fin de que estos puedan empezar a ser asignados a cada operador disponible. Este proceso general debe cumplir con un conjunto de restricciones que están dadas por variables laborales y otras de viabilidad de ejecución tales como: tiempo máximo de turno, tiempo mínimo de turno, tiempo máximo de bloque de labores, mínimo tiempo de bloque de labores, tiempo mínimo de descanso, tiempo entre puntos de salida, consideraciones de finalización de turno, consideraciones de tiempo de jornada de trabajo entre otras.

El objetivo final de este proceso es crear los turnos de trabajo de los operarios de los vehículos; esta actividad de planeación se le considera en el ámbito local como programación de la operación y se realiza de forma semiautomática, presentando pérdidas de eficiencia por el tiempo demandado para hacer esta actividad, afectando directamente el rendimiento operativo de la empresa por la dedicación de personal a la planeación de la operación así como la no programación óptima de los conductores (Sasikumar, Pai, & Pradeepmon, 2013) y (Sarache Castro & Morales Chávez, 2016). Esta situación motiva un inminente replanteamiento del tema; una solución que permita agrupar todas las necesidades del proceso y optimice los resultados en términos de tiempo y calidad de la solución, entendiendo que la cantidad y calidad de los turnos de trabajo es el parámetro que mejor refleja el costo de personal de operación (Ceder, 2016).

En este trabajo se propone un algoritmo heurístico que permite la construcción eficiente de turnos de trabajo balanceados para la operación de sistemas de transporte masivo. El capítulo del libro está organizado de la siguiente manera: en la primera parte de la metodología se revisa la literatura relevante del problema es revisada. A continuación se describe el problema y se presenta la formulación matemática. Luego, se desarrolla la metodología que compone el algoritmo propuesto. Para finalizar, se presentan los resultados obtenidos y se discute acerca del desempeño del método.

## ***Metodología***

### **Revisión de la Literatura**

Durante las últimas décadas, el problema de programación de turnos de trabajo para la asignación de conductores ha sido tratado ampliamente bajo el objetivo de reducir los costos, mejorar la distribución de los servicios y reducir el número de turnos de trabajo. La literatura especializada ha tratado este tipo de problemas mediante la asignación de tripulación en sistemas de transporte aéreos, férreo y terrestre bajo el nombre de Crew Scheduling Problem. En este trabajo se realiza una revisión de las publicaciones más relevantes que ha tenido el CSP desde la década de los 80's hasta la fecha actual, en las cuales se evidencia la evolución que ha tenido el problema tanto en su formulación matemática como en los métodos de solución empleados por los diferentes autores. En la Figura 1. se muestra la cantidad de estudios de CSP publicados por año desde 1988.



Figura 1. Histórico de publicaciones

El problema de CSP, es considerado un problema combinatorio de difícil solución clasificado en la literatura especializada como NP-hard debido a la cantidad de variables y restricciones propias del problema, razón por la cual, no existe un método de solución exacto capaz de encontrar una solución en tiempos de cómputo razonables (Wren & Rousseau, 1995). Uno de los primeros trabajos con aplicación real, es el método propuesto por (Smith & Wren., 1988), en el cual presentan una formulación basada en el problema de cobertura (Set Covering Problem SCP), para lo cual, los autores proponen en primera medida la generación de conjuntos de turnos de manera exhaustiva bajo restricciones de un programador experto; seguidamente se aplican dos estrategias de reducción de turnos, las cuales consisten en primera medida, eliminar los turnos que son idénticos en cuanto a los servicios de cada uno de ellos, segundo se eliminan los turnos que son combinación de otros. A partir de la reducción de conjuntos se resuelve un problema de SCP relajado, es decir, se resuelve un problema de programación lineal considerando las variables de decisión continuas, a partir de este, se busca una solución entera a través el método de Branch and Bound.

En (Desrochers & Soumis, 1989), presentan un método de Generación de Columnas (CG) para resolver CSP, el cual se descompone en dos partes, la primera usa un problema de cobertura para elegir una solución factible de un día de trabajo; en la segunda etapa se resuelve un problema de camino más corto con restricciones de recurso, con el cual se propone una nueva programación de trabajo diaria que mejore la solución obtenida al

solucionar el problema de cobertura. Los resultados obtenidos sobre instancias reales demuestran el buen desarrollo de la metodología propuesta.

Una de las formulaciones clásicas en la literatura para resolver el CSP es el enfoque de Partición de Conjuntos (SP) con restricciones de lugar, propuesta en (Mingozzi, Boschetti, Ricciardelli, & Bianco, 1999). En dicha metodología, cada columna de la matriz del SP corresponde a un turno de trabajo factible, el cual está compuesto por un conjunto de servicios que deben ser realizados por un operador. Adicionalmente, los autores describen un proceso para determinar el límite inferior de la solución óptima por medio de una solución heurística para el problema dual de la relajación lineal del SP, la solución del problema dual es utilizada para reducir el número de variables en el SP y de esta manera resolver el problema de resultante de SP a través de un algoritmo de Branch and Bound. La metodología es analizada en instancias de la literatura con un tamaño que varía entre 50 y 500 viajes.

Cada metodología propuesta, busca alcanzar un objetivo en particular, sin embargo, es claro que el CSP encierra, desde el punto de vista matemático, más de un objetivo que se encuentran en conflicto, como lo son los costos y la calidad del servicio, este problema es abordado por (Lourenço, Paixão, & Portugal, 2001), donde desarrollan un algoritmo genético y una búsqueda tabú. Los algoritmos metaheurísticos propuestos presentan características innovadoras que guían el proceso de búsqueda de manera eficiente y encuentran soluciones de buena calidad, además, las características propias de dichos métodos pueden ser aplicadas al desarrollo de heurísticas para diferentes problemas de optimización de tipo combinatorio.

De igual manera (Li & Kwan, 2003), presentan un algoritmo genético de dos objetivos, en el cual se usa un algoritmo heurístico goloso para construir la programación de turnos de trabajo por medio de la selección de cambios secuenciales en posibles itinerarios, para la evaluación de dichos cambios, los autores utilizan un método de lógica difusa, cuyo criterio está basado en el conocimiento de expertos de empresas de transporte público de pasajeros. Los resultados obtenidos en casos reales son prometedores, comparadas con las programaciones manuales que realiza cada una de las empresas involucradas.

Cada método que ha sido publicado hasta ahora presenta un buen desempeño de acuerdo a la época de publicación y de acuerdo al tema tratado, donde se debe tener en cuenta tanto el número de variables y restricciones, las cuales son en últimas, las que deciden si una formulación puede ser resulta de manera exacta o aproximada. Debido a que el problema de programación de turnos de trabajo o Crew Scheduling Problem se clasifica en la literatura especializada como NP-hard, lo que significa que, no existe un único método o algoritmo capaz de solucionar el problema en tiempos de computo razonables, por lo cual, existen

diferentes métodos de acuerdo al caso a tratar y no es posible definir si un método es mejor a otro, puesto que en cada caso se consideran diferentes objetivos, se aumentan o disminuyen restricciones y no existen dos casos idénticos en cada ítem publicado a la fecha, por el contrario en cada publicaciones se resaltan contribuciones que pueden ser aplicadas dependiendo las necesidades de cada caso. La Tabla 1 muestra un resumen de los trabajos de CSP publicados, donde sintetiza las características de formulación, método de solución utilizado y tipo de caso de prueba usado en cada método propuesto.

### **Descripción del problema**

Para el caso específico de la empresa Integra S.A., se tienen diferentes conjuntos de restricciones técnicas y laborales, entre las que se incluyen restricciones de tiempo total de trabajo, tiempo continuo de trabajo, restricciones de lugar de inicio y finalización de un turno, tiempo de descanso mínimo entre turnos de trabajo, tipos de turnos de acuerdo a las capacidades de los operadores y horarios de inicio y finalización de los turnos de trabajo además que la empresa actualmente, debe realizar alrededor de 4600 viajes diarios, siendo este, un problema con un número extenso tanto en restricciones como en variables, lo cual, hace que el problema tratado se clasifique entre los denominados, problemas de difícil solución o NP-hard, para los cuales, no existe un método de solución único que sea capaz de resolverlo en tiempos de computo razonable y de manera exacta, razón por la cual, se debe proponer una nueva metodología basada en un método híbrido de dos fases que combine programación exacta y una técnica heurística que permiten realizar la programación de turnos de trabajo de los operadores del Sistema.

- El tamaño de los turnos de trabajo debe ser mayor o igual a 8 horas y menor o igual a 10 horas.
- Un turno de trabajo debe tener al menos un descanso de 40 minutos.
- En la composición del descanso se debe tener en cuenta la distancia temporal entre el punto de salida de fin de bloque y el punto de salida de inicio del nuevo bloque de trabajo.  $\text{descanso} = (40 \text{ minutos} + \text{tiempo entre puntos de salida})$
- Un bloque de trabajo no puede terminar en algunos puntos de salida (Solo en intercambiador o patios).
- Un turno que tiene servicios de tipo articulado y de tipo alimentador se considera mixto.
- Se debe minimizar el número de turnos mixtos.
- Se debe minimizar el número de turnos.
- El número máximo de bloques de un turno es 3.
- Minimizar el número de turnos de 3 o más bloques.



Tabla 1. Resumen trabajos publicados

Autor (Año)	Objetivo	Restricciones del Problema	Método de Solución	Caso
Smith & Wren (1988)	Minimizar el costo de itinerarios.	Número de turnos y tareas sin asignar.	Programación matemática.	Test.
Desrochers & Soumis (1989)	Minimizar costos de conductores programados.	Regulaciones laborales.	Generación de Columnas.	Real
Mingozzi, Boschetti, Ricciardelli, & Bianco (1999)	Minimizar el costo de itinerarios.	Cubrimiento de viajes y conjunto inicial de tareas.	Branch and Bound.	Test
Lourenço, Paixão, & Portugal (2001)	Múltiples Objetivos: Minimizar viajes sin realizar, infactibilidades, número de turnos y número de cambios de vehículo.	Cubrimiento de viajes.	GRASP, Búsqueda Tabú y Algoritmo Genético.	Test
Dias, Sousa, & Cunha (2002)	Minimizar costo de tareas.	Cubrimiento de viajes y restricciones de regulaciones laborales.	Algoritmo genético	Test
Fores, Proll, & Wren (2002)	Minimizar costos o número de turnos o minimizar costos con mínimo número de turnos.	Número de turnos y restricciones de tiempo para comidas.	Programación entera y heurísticas.	Test
Boschetti, Mingozzi, & Ricciardelli (2004)	Minimizar el costo de tareas.	Tiempo de trabajo continuo y número de conductores.	Relajación de Lagrange y Generación de Columnas	Test
Abbink, Fischetti, Kroon, Timmer, & Vromans (2005)	Minimizar costo de tareas.	Regulación laboral y variaciones en las tareas.	Generación de Columnas, Relajación de Lagrange y heurísticas.	Test
Yen & Birge (2006)	Minimizar el valor esperado de acciones futuras después de una interrupción.	Regulación laboral.	Generación de Columnas.	Test
Zhao (2006)	Minimizar el número de turnos.	Tiempo de trabajo, tiempo de descanso, número de cambios de vehículo.	Heurísticas.	Test
Takahashi, y otros (2008)	Minimizar el número de restricciones violadas después de una interrupción.	Regulación laboral y número de conductores.	Búsqueda Tabú	Ejemplo
Portugal, Lourenço, & Paixão (2009)	Minimizar la suma de los pesos de asociados a los costos de las tareas y los viajes no realizados.	Límite de tareas y mínima cantidad de trabajo cubierto.	Cplex.	Test
Steinzen, Suhl, & Kliewer (2009)	Minimizar el costo de tareas.	Cubrimiento de viajes y mismo de depósito de inicio y fin.	Ramificación Local.	Test
Chen & Niu (2012)	Minimizar el tiempo de ocio de los conductores.	Tiempo de trabajo sin descanso, tiempo total de trabajo, duración del tiempo de trabajo y descanso.	Búsqueda Tabú.	Test
Chen & Shen (2013)	Minimizar costos de tareas	Regulación laboral y número de turnos.	Generación de Columnas.	Test
Shen, Peng, Chen, & Li, (2013)	Minimizar el número de turnos y costos operacionales	Restricciones de regulación laboral y tiempos de descanso en un intervalo de tiempo específico.	Programación entera y heurísticas	Test
Kecskeméti & Bilics, (2013)	Minimizar los costos de las tareas.	Tiempo de propagación, cambio de límites, tiempo de descanso y tipos de servicio.	Programación entera y algoritmos evolutivos.	Test
Li & Kwan (2003)	Minimizar el tiempo de trabajo Vs Minimizar el tiempo de descanso del total de tiempo trabajado Vs Minimizar el número de tareas.	Cubrimiento de tareas y conjunto inicial de tareas.	Algoritmo genético.	Conjunto de instancias de prueba
Toth & Kresz, (2013)	Minimizar el costo de conductores programados.	Regulación laboral.	Algoritmo heurístico goloso.	Real.

Fuente: Tomado y modificado de (Ibarra-Rojas, Delgado, Giesen, & Muñoz, 2015)

## Formulación Matemática

De acuerdo a la revisión de la literatura del problema CSP existen diversas formulaciones matemáticas adaptadas a cada caso y a cada necesidad en particular, por lo tanto, no existe una formulación estándar capaz de resolver cualquier problema asociado a un CSP; sin embargo, con el fin de dar alcance a los objetivos planteados y por la similitud en restricciones con el problema planteado en este trabajo, la formulación matemática usada, corresponde a la realizada por (Chen & Niu, 2012), quienes a partir de un conjunto dado de viajes en un horizonte de planeación fijo, generan un conjunto factible de turnos de trabajo, los cuales incluyen tiempo de inicio, tiempo de finalización, tipo de servicio que pueden realizar los operadores, y una serie de viajes que cubren los horarios de cada una de las rutas planeadas con una frecuencia estipulada y satisface una serie de restricciones establecidas por las regulaciones laborales de cada país.

Los viajes que son asignados a un mismo operador constituyen la tarea que el operador debe desarrollar en una jornada laboral, y todo el conjunto de tareas constituyen la programación de la tripulación. Normalmente, el criterio usado para realizar la programación de una tripulación, consiste en el uso eficiente de los recursos (operadores) mientras se mantiene la integralidad de las reglas de trabajo. Los objetivos propuestos en las formulaciones matemáticas del CSP regularmente consisten en minimizar el costo de la tripulación, minimizar el número de operadores requeridos, maximizar la eficiencia de la tripulación, minimizar el tiempo de ocio de la tripulación entre otros. A continuación, se presenta la definición de la notación utilizada en el modelo matemático.

### Notación Matemática

- $N$ : Número de viajes dados en una tabla de trabajo para un día Timetable.
- $G$ : Número de tipos de tareas de la tripulación.
- $\eta$  : Número de operadores disponibles en un día de trabajo.
- $\theta$  : Número mínimo de operadores requeridos para realizar una tarea.
- $i$  : Índice de los viajes,  $i = 1, 2, \dots, N$ .
- $k$  : Índice de los operadores,  $k = 1, 2, \dots, \theta$ .
- $g$  : Índice del tipo de tarea.
- $z_g$  : Número de conductores asignados a la tarea  $g$ .
- $d_i$  : Tiempo de salida del viaje  $i$  en la estación de inicio.
- $a_i$  : Tiempo de llegada del  $i$  viaje a la estación final.
- $T_0$  : Tiempo mínimo para intercambio en la estación de inicio por cada operador.
- $T_g$  : Máximo valor de Tiempos de trabajo por cada operador con la tarea  $g$ .
- $B_g$  : Tiempo de inicio más temprano de la tripulación con la tarea  $g$ .

- $E_g$  : Tiempo de inicio más tarde de la tripulación con la tarea g.
- $x_{gk}^i$  : Variable de decisión que, toma el valor de 1 si el viaje i es realizado por el operador k en la tarea g , y toma el valor de cero en caso contrario.
- $y_{gk}^{ij}$  Variable de decisión que, toma el valor de 1 si el viaje j se realiza inmediatamente después de realizar el viaje i por el operador k en la tarea g, y toma el valor de cero en caso contrario.

### Modelo Matemático

Matemáticamente, el problema de CSP puede ser representado el modelo binario de programación entera de cuatro índices que se representa por medio del conjunto de ecuaciones (1)-(8), el cual fue propuesto por (Chen & Niu, 2012).

$$MinZ = \sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^{z_g} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (d_j - a_i) y_{ij}^{gk} \quad (1)$$

s.a

$$d_j x_{gk}^j - a_i x_{gk}^i \geq T_0 \quad \forall g, k \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{gk}^i (a_i - d_i) \leq T_g \quad \forall g, k \quad (3)$$

$$B_g \leq x_{gk}^i d_i \leq E_g \quad \forall g, k \quad (4)$$

$$z_2 \geq \theta \quad (5)$$

$$\sum_{g=1}^G z_g \leq \eta \quad (6)$$

$$\sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^{z_g} x_{gk}^i = 1 \quad \forall i \quad (7)$$

$$y_{gk}^{ij} = x_{gk}^i x_{gk}^j \quad \forall g, k \quad (8)$$

El objetivo del problema de programación de conductores consiste en maximizar el uso de todo el personal disponible y consecuentemente reducir el costo de operación; una de las formas de maximizar el uso del personal consiste en minimizar el tiempo de ocio, es decir, reducir en la medida de lo posible el lapso entre el fin de un viaje y el inicio del siguiente, tal como se representa en la función objetivo (1). El conjunto de restricciones (2) aseguran el cumplimiento del tiempo de parada entre dos viajes adyacentes en la estación de inicio realizados por el mismo conductor. Las desigualdades (3) y (4) representan las restricciones

de intensidad de trabajo y compatibilidad del tipo de tarea respectivamente. La restricción (5) asegura que el número de conductores con la tarea es mayor o igual al mínimo de conductores requeridos para dicha tarea. La desigualdad (6) corresponde a la restricción de máximo número de conductores disponibles. Las ecuaciones (7) asegura que cada viaje debe ser realizado exactamente por un único conductor. Finalmente, las ecuaciones (8) muestra la relación existente entre las variables de decisión.

### **Metodología propuesta**

El problema de CSP en la operación de Sistemas de Transporte Masivo consiste en generar turnos de trabajos para sus operadores de tal manera que se realicen todos los viajes programados de acuerdo a frecuencias establecidas por el ente gestor de dichos sistemas. El problema inicia a partir de diferentes tablas de servicios Timetables otorgadas por el ente gestor, que para efectos de este trabajo es Megabús, quien se encarga de entregar la programación de viajes que se deben realizarse diariamente en el Área Metropolitana Centro Occidente; las tablas asignadas por parte de Megabús deben ser cubiertas en su totalidad por las empresa Operadora de Transporte Masivo Integra S.A.; el problema para la empresa operadora, radica en que cada una de las tablas son de tamaños diversos (en tiempo y cantidad de viajes) dependiendo de la Tiempo la ruta y la frecuencia, esto implica que, normalmente la cantidad de viajes que posee cada tabla no pueden ser realizados por un único conductor, ya que existen regulaciones laborales tanto internas como externas que estipulan un tiempo máximo de trabajo continuo, tiempo máximo de trabajo por día, tiempo mínimo de descanso después de realizar un turno de trabajo entre muchas otras restricciones, es por ello que, surge la necesidad de realizar turnos de trabajo adecuados, para lo cual es necesario realizar la partición de cada tabla de servicios, de tal forma que cada una de las particiones coincidan con las regulaciones de trabajo expuestas.

En la Figura 2. se describe de forma general la metodología aquí propuesta, la Figura 2-a. muestra que el proceso inicia con un conjunto de tablas de programación de servicios que se deben realizar Timetables diariamente. La Figura 2-b. ilustra el proceso de división de las tablas en sub-tablas, las cuales cumplen con un conjunto de restricciones técnicas de trabajo. Finalmente, la Figura 2-c. muestra un de emparejamiento donde 2 o más sub-tablas pueden ser unidos para formar un turno de trabajo de un operador durante un día y que cumpla con todas las restricciones técnicas de operación y regulación laboral.

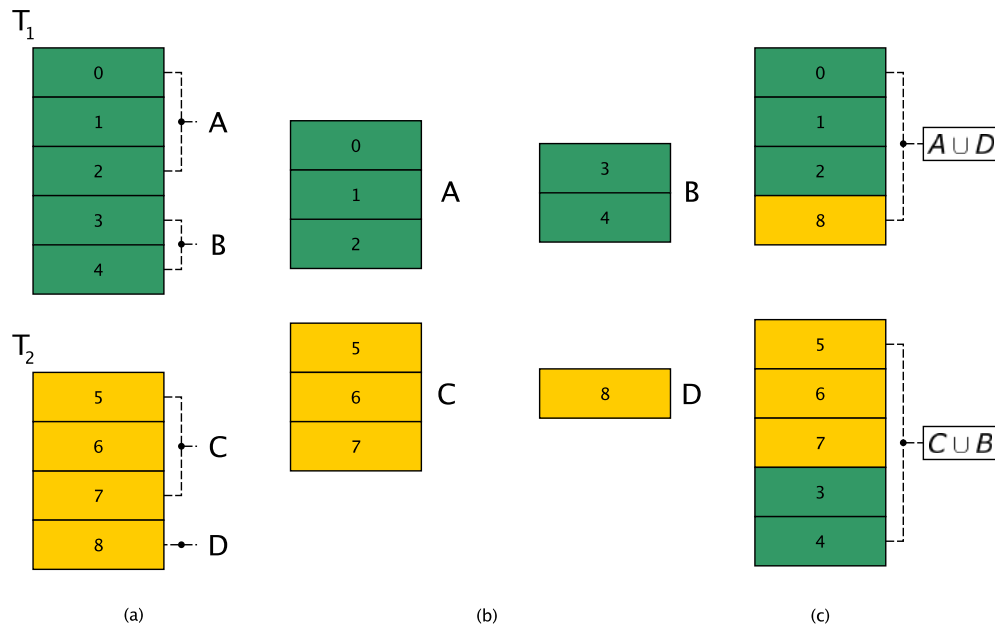


Figura 2. Metodología general de CSP para Integra S.A

Para solucionar el problema de CSP de Integra S.A. se propone un método híbrido de dos fases; en la primera fase se realiza la división de cada una de las tablas de servicios acorde a el tiempo máximo de trabajo continuo permitido, para lo cual se realiza una adaptación del método de división de secuencias propuesto en (Prins, 2004) y extendido en (Liu, Huang, & Ma., 2009), mientras que en la segunda fase se realiza una adaptación del método de presentado por Kruskal para árboles de expansión mínima (Jungnickel, 2008), por el medio del cual, se realiza un emparejamiento entre sub-tablas que cumplan con las restricciones técnicas y laborales.

El Algoritmo 1. muestra de manera general, la metodología propuesta para solucionar el problema de CSP aplicado al caso real de la empresa Integra S.A. operadora del Sistema de Transporte Masivo del Área Metropolitana Centro Occidente.

**Algoritmo 2** Constructivo SecuenciaPrins+KruskalModificado

**Require:**  $N_h$  - Número de horas de un bloque de trabajo,  $T_b$  - Tiempo de descanso,  $T_{d_{ij}}$  Tiempo de desplazamiento entre los puntos de finalización del bloque de trabajo  $i$  y el punto de inicio del bloque de trabajo  $j$ ,  $C_r$  - Conjunto de restricciones para formar turnos de trabajo,  $N_t$  - Número máximo de bloques de trabajo para constituir un turno,  $N_{C3}$  - Número de conductores con licencia C3,  $N_{C2}$  - Número de conductores con licencia C2

**Ensure:** Turnos de trabajo Caso Integra S.A.

```
1: Viajes = ProcesarRegistros(BD_Eventos);
2: for ViajesRutai ∈ Viajes do
3:   BloquesTrabajoRutai = SecuenciaPrins(ViajesRutai,  $N_b$ );
4:   BloquesTrabajo ← BloquesTrabajo ∪ BloquesTrabajoRutai;
5: end for
6: GrafoBloquesTrabajo ← ∅;
7: for BloqueTrabajoi ∈ BloquesTrabajo do
8:   nodoi = construirNodo(BloqueTrabajoi);
9:   GrafoBloquesTrabajo.nodos ← GrafoBloquesTrabajo.nodos ∪ nodoi;
10: end for
11: for nodoi ∈ GrafoBloquesTrabajo.nodos do
12:   for nodoj ∈ GrafoBloquesTrabajo.nodos do
13:     if nodoi ≠ nodoj ∧  $C_r$  then
14:       GrafoBloquesTrabajo.aristas ← GrafoBloquesTrabajo.aristas ∪ (nodoi, nodoj)
15:     end if
16:   end for
17: end for
18:  $N_t$  ← 3;
19: TurnosTrabajo ← KruskalModificado( $N_t$ ,  $N_{C3}$ ,  $N_{C2}$ , GrafoBloquesTrabajo);
20: return TurnosTrabajo;
```

El código fuente del algoritmo implementado, así como el instructivo para la ejecución del algoritmo en ambiente C++ junto con el solver CPLEX.

### I. División de Tablas

De acuerdo al orden de atención brindado por una secuencia de viajes, que en este caso se establece con el orden ascendente de los tiempos de inicio de cada uno de los viajes, se obtiene el subgrafo auxiliar. En la Figura 3. se muestra el mencionado subgrafo.

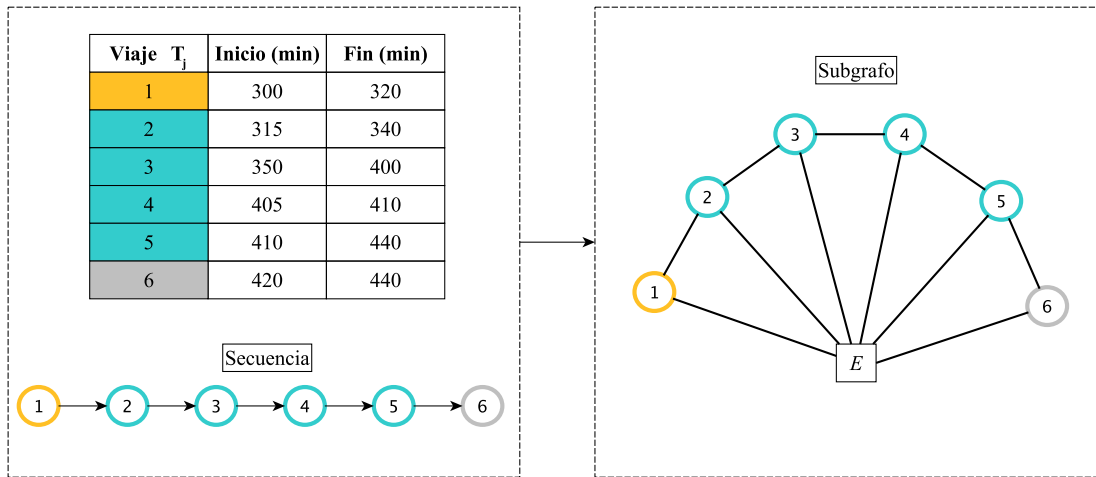


Figura 3. Subgrafo según la secuencia

En la Figura 3, se muestran conexiones entre todos los viajes de la secuencia en el subgrafo, además no es posible por ejemplo atender el viaje  $T_2$  después del viaje  $T_1$ , o el viaje  $T_5$  después del viaje  $T_6$  porque hay traslape en los tiempos de inicio y finalización de los mismos. Estas conexiones se deben descartar para que no sean incluidas en las combinaciones que se explorarán en la siguiente fase. El subgrafo resultante se observa en la Figura 4.

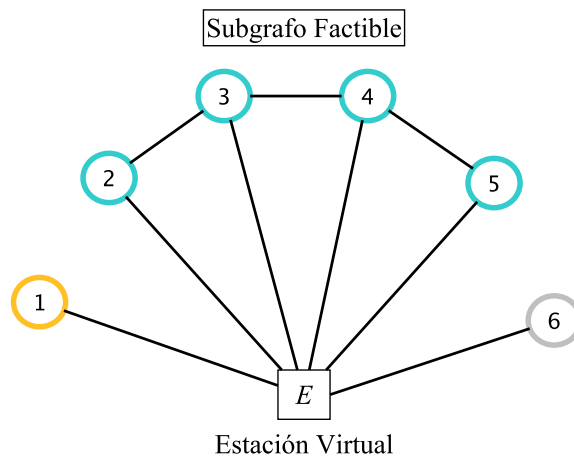


Figura 4. Subgrafo sólo conexiones factibles entre viajes.

Posteriormente se construye un grafo acíclico  $H = (X, A)$  con  $n + 1$  nodos, de esta manera  $X$  contiene un nodo estático o ficticio  $E$  más  $h$  vértices que representa el conjunto de viajes de una tabla en el orden establecido por el tiempo de inicio de cada uno de ellos  $TT_j + T_1, T_2, \dots, T_h$ . Seguidamente se crea un conjunto de aristas  $A$ , donde cada componente de dicho conjunto hace referencia a un arco  $(i,j)$ , es decir, que un número determinado de viajes contiguos pueden ser atendidos por un mismo turno, lo cual se cumple si, la suma de todos los tiempos de duración de los viajes incluidos en el arco no supera el tiempo máximo de trabajo continuo, para lo cual se debe cumplir la restricción (3) del modelo matemático.

El valor  $t_{ij}$  de cada arista, está dado por la sumatoria de la diferencia de tiempos que se obtiene al restar el tiempo máximo de trabajo para un turno o tarea denominado  $T_g$  y la sumatoria del tiempo de cada uno de los viajes incluidos en un determinado arco, tal como se muestra en la ecuación (9).

$$t_{ij} = T_g - \sum \text{tiempo de cada viaje} \quad (9)$$

La Figura 5. muestra el digrafo o grafo acíclico resultante. En este se muestra cómo se obtienen los valores  $t_{ij}$  y las aristas que surgen según las conexiones del subgrafo de la Figura 4.

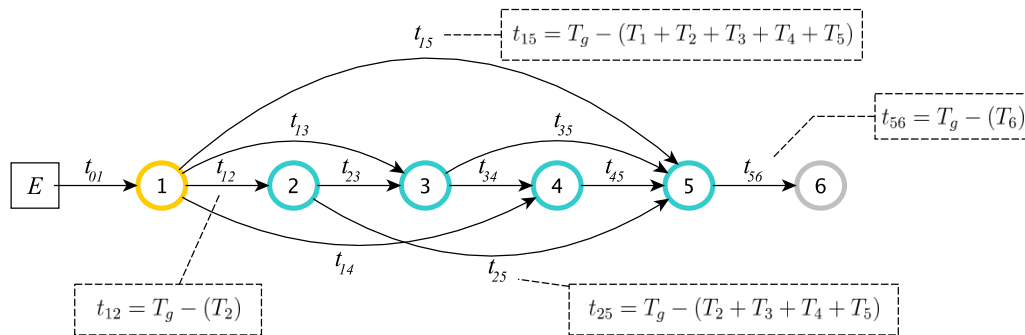


Figura 5. Grafo para encontrar una partición balanceada de una ruta.

Una vez se tienen todos los arcos factibles con respecto al tiempo máximo de trabajo continuo, se procede a determinar la partición de cada tabla de programación de viajes que superan el tiempo máximo de trabajo continuo, para lo cual, se resuelve de manera exacta un problema de programación lineal para hallar el camino más corto entre dos puntos de una red.

#### A. Modelo matemático para el problema de la ruta más corta

Este modelo permite determinar el camino más corto entre dos vértices cualquiera de una red. Sea  $n$  el conjunto de nodos de una red, en la cual ingresa una unidad externa de flujo



en el nodo  $s$  y sale en el nodo  $t$ , siendo  $s$  y  $t$  los nodos entre los cuales se desea encontrar la ruta más corta, también se define a  $x_{ij}$  como la cantidad de flujo en el arco  $(i, j)$  y  $c_{ij}$  como el costo del arco  $(i, j)$ . El modelo matemático está descrito por las ecuaciones (10) a (12).

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (10)$$

$$\text{s.a} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{k=1}^n x_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = s \\ -1 & \text{si } i = t. \forall i = 1, \dots, n \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (12)$$

La ecuación (10) representa la función objetivo, dado por el costo de las aristas utilizadas en la ruta que va desde el vértice  $s$  al vértice  $t$ . El conjunto de ecuaciones (11) representa la conservación del flujo en cada una de las aristas y finalmente la ecuación (12) representa el conjunto de variables binarias que representan el flujo por cada arista, las cuales toman el valor de uno si el flujo atraviesa la arista  $(i, j)$  y cero en caso contrario.

Los arcos más atractivos para establecer la ruta más corta entre el primero y el último nodo, son aquellos que incluyan más viajes. Para el ejemplo presentado, la ruta más corta se resalta en la Figura 6.

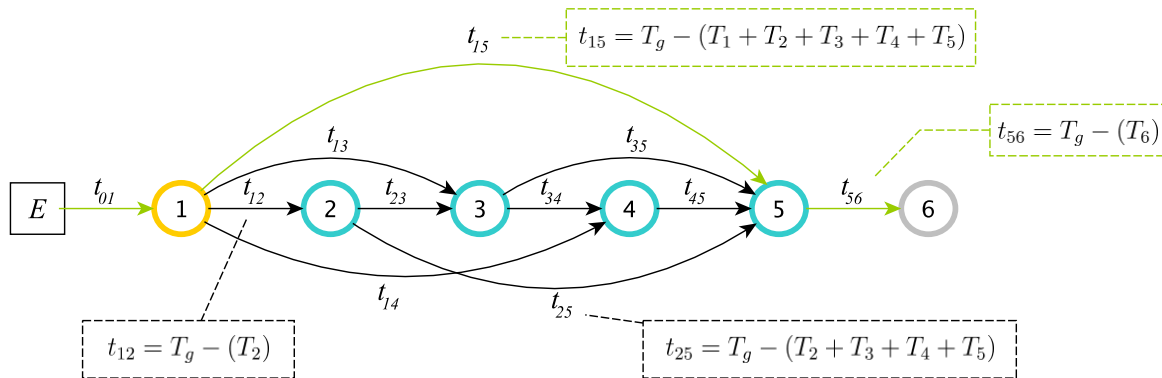


Figura 6. Ruta más corta que corresponde a una partición balanceada de la tabla de servicios.

Los arcos solución, resaltados en la Figura 6. representan bloques de trabajo o itinerarios de atención de viajes. En el ejemplo ilustrado correspondería a la forma de atención de la Figura 7.

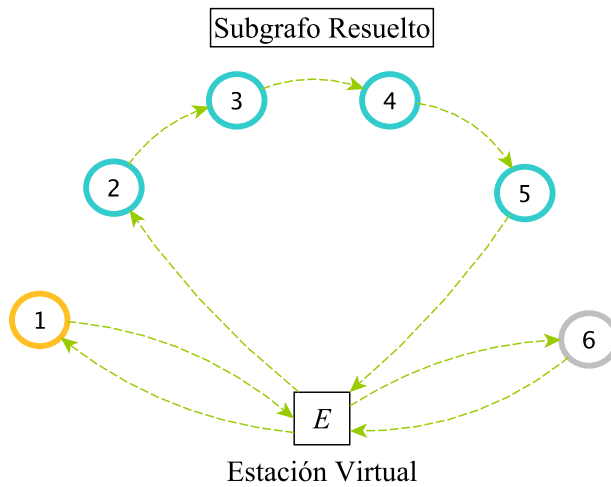


Figura 7. Agrupación de viajes en bloques de trabajo.

## II. Construcción de Turnos de Trabajo

Una vez se tienen los bloques de trabajo (grupos de viajes que se atienden de manera consecutiva), se procede a la fase de construcción de turnos. Los bloques de trabajo en esta fase estarán representados como nodos en el grafo que se presenta en la Figura 8. Esta última, busca ilustrar el Algoritmo de Kruskal y la modificación que se realiza en este trabajo para la construcción de jornadas de los conductores.

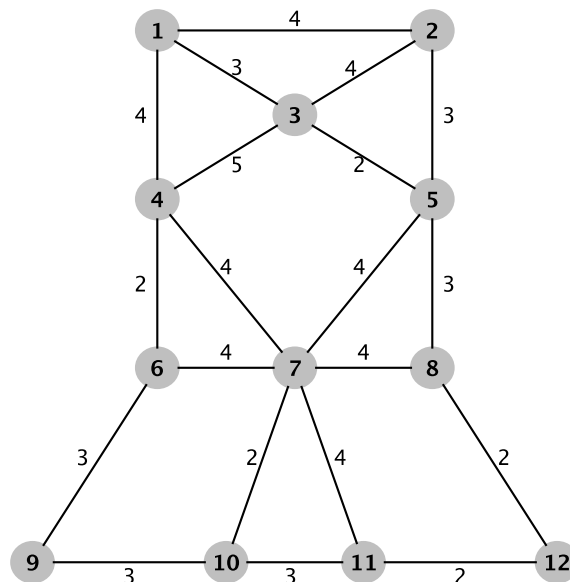


Figura 8. Grafo ilustrativo Algoritmo Kruskal.

El Algoritmo de Kruskal, descrito en (Jungnickel, 2008), tiene como objetivo encontrar el árbol de expansión mínima en un grafo (MST, del inglés Minimum Spanning Tree). Esta estrategia para hallar el MST se ajusta adecuadamente al problema que se trabaja en esta investigación, dado que los grafos de programación y asignación de tareas son en mayor o menor medida incompletos. En la Figura 9. se muestra el MST obtenido con el Algoritmo de Kruskal del grafo ejemplo de la Figura 8.

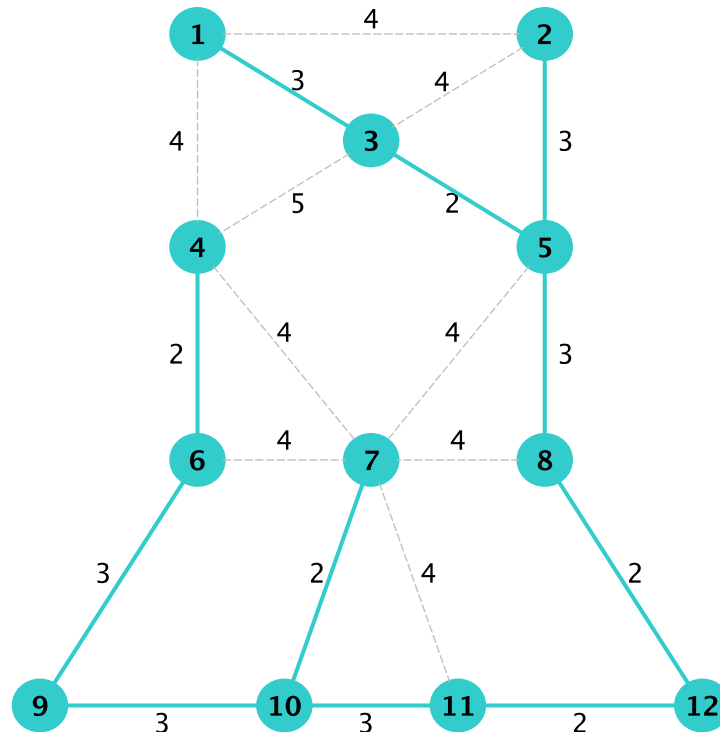


Figura 9. Árbol de Expansión Mínima.

Dado que el Algoritmo de Kruskal toma todos los nodos del grafo como islas que se van interconectando a través de las aristas de menor costo, con el fin de construir caminos de mínimo costo, la modificación que se realiza en este trabajo al Algoritmo de Kruskal, consiste en restringir la interconexión de caminos que están en crecimiento. En la Figura 10 se presenta una fase intermedia del Algoritmo de Kruskal aplicado al grafo de la Figura 8. y es en este punto donde el Algoritmo debe detenerse para el caso nuestro, porque se busca obtener el número mínimo de caminos de mínimo costo.

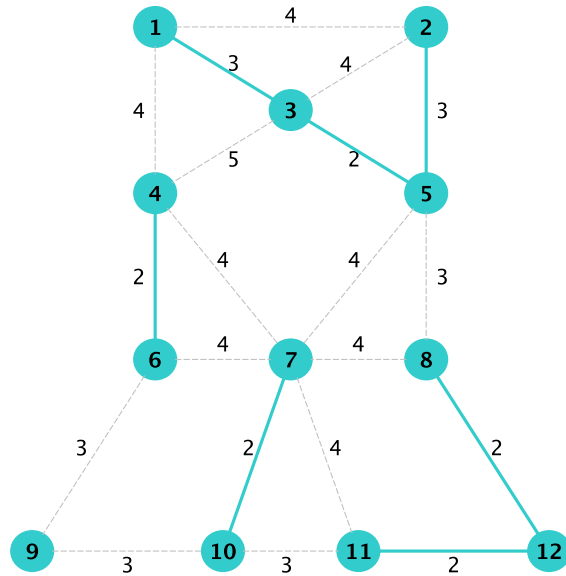


Figura 10. Kruskal Modificado (Caminos Mínimos)

Adicionalmente, para el caso nuestro, los nodos pueden consumir dos recursos diferentes, que en este caso son conductores con licencia C3 (que son más costosos) y conductores con licencia C2. Si un camino o jornada de trabajo presenta un nodo que requiera licencia C3, entonces es necesario emplear un conductor de este tipo para que atienda la jornada. Por lo tanto, el Algoritmo de Kruskal Modificado, busca interconectar primero nodos que requieran licencia C2 para utilizar el mínimo número de conductores de licencia C3. En la Figura 11. se presenta una posible construcción de turnos de trabajo por el Algoritmo de Kruskal Modificado.

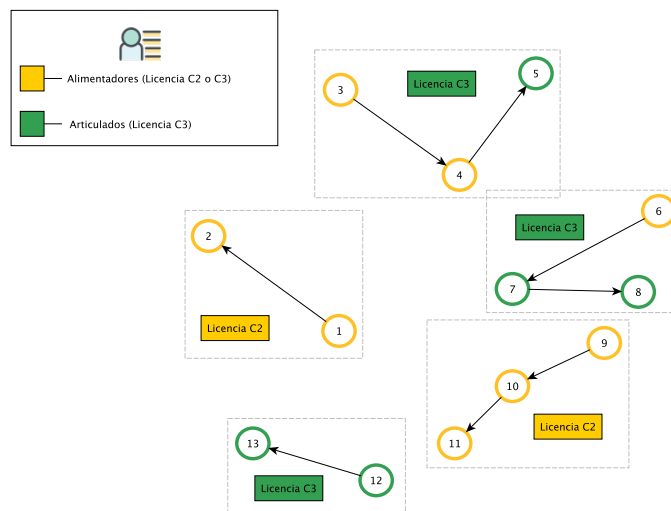


Figura 11. Kruskal Modificado Construcción Turnos

## Resultados

La metodología aquí propuesta, se implementó con el fin de encontrar soluciones de buena calidad en tiempos de computo mínimo, pensando en la programación real de los turnos de trabajo de los operadores de la empresa INTEGRA S.A., operadora del Sistema de Transporte Masivo del AMCO, la cual, en la actualidad debe atender un promedio de 4600 viajes diarios. La metodología fue implementada en el ambiente de programación de C++®, bajo sistema operativo Linux distribución Ubuntu 14.04 LTS de 64 bits junto con el solver CPLEX® Versión 12.06 de 64 bits, un procesador Intel® Core™ i7-3630QM CPU @ 2.40GHz × 8 y memoria RAM de 8 GB. Para validar la metodología propuesta, la empresa Integra S.A otorgó 3 casos de prueba, en los cuales, se deben realizar programación diaria para 2338, 4578 y 4608 viajes respectivamente.

En la Tabla 2. se muestran los resultados obtenidos de la programación diaria de turnos de trabajo en cada uno de los casos reales de la empresa Integra S.A., la tabla muestra el nombre o código del caso de prueba, el tamaño en números de viaje de cada caso, la solución obtenida en turnos, tanto por tipo de conductor como el total de turnos generados y el tiempo computacional en que se obtiene la solución.

Tabla 2. Comportamiento de la metodología en los casos de operación de Integra S.A.

Nombre del caso	No. de Servicios	Programación Manual			Algoritmo			Tiempo Ejecución (segundos)
		Turnos C2	Turnos C3	Total Turnos	Turnos C2	Turnos C3	Total Turnos	
Operación Actual	4578	62	69	131	63	<b>66</b>	<b>129</b>	18,50
Caso Prueba (28122014_1222430)	2338	33	29	62	36	<b>25</b>	<b>61</b>	1,47
Caso Prueba (31082016_090004)	4608	63	70	133	63	<b>69</b>	<b>132</b>	27,82

Para el caso de prueba actual, la empresa dispone de expertos en el área de operaciones, quienes son los encargados de realizar manualmente la programación de los turnos de trabajo para cada conductor, dicho proceso tarda alrededor de una semana en realizarse y su resultado es 132 turnos de trabajo, sin embargo, con la implementación del algoritmo aquí propuesto dicha labor tardará aproximadamente 20 segundos y la solución obtenida es de 129 turnos de trabajo.

En la Tabla 2. no solamente se observa la mejora en turnos de trabajo totales, si no también, la disminución de turnos que requieran licencia C3 para ser atendidos.

## ***Conclusiones***

En este trabajo se presenta la implementación de un algoritmo híbrido de dos fases, en el lenguaje de programación C++, para solucionar el problema de Programación de turnos de trabajo aplicable a empresas de Transporte Público de Pasajeros, conocido en la literatura especializada como CSP. Los resultados obtenidos en el caso real de la empresa Integra S.A., refleja que la metodología aquí propuesta, es eficiente tanto en tiempos de computo como en la calidad de solución, ya que mejora la programación actual en número de turnos de trabajo, lo cual representa ahorro económico en la operación, lo que se traduce en un aumento de la competitividad y productividad de la empresa.

Como se presenta en el documento, la metodología ofrece resultados satisfactorios, dado que mejora los costos asociados a la asignación de servicios y construcción de turnos de trabajo de los operadores, sin embargo, estos resultados pueden ser mejorados a través de técnicas metaheurísticas, las cuales realizan búsquedas más amplias, aleatorizadas y controladas como las que se presentan en (Granada & Santa, 2017).

Finalmente, el problema de asignación de conductores, que en este caso es resuelto directamente sobre las tablas de servicios emitidas por el ente gestor Megabús, se recomienda trabajarlo por fases (Ceder, 2016). La primera fase consiste en construir bloques de trabajo que se asignan a la flota disponible a partir de dichas tablas, y luego, sobre esos bloques de trabajo que surgen de la asignación a los vehículos, realizar la asignación de conductores. Dicha asignación puede ser enriquecida en trabajos futuros, a través de la implementación de Sistemas de Información Geográfica, que articulen la locación de los servicios, la ubicación de los vehículos y el lugar donde se encuentren los conductores, siguiendo los parámetros de implementación recomendados en (Gaviria & Alzate, 2018).

## ***Agradecimientos***

Los autores agradecen el apoyo de Integra S.A., COLCIENCIAS, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA y la Universidad Tecnológica de Pereira para el desarrollo de esta investigación.

## Referencias

- Ceder, A. (2016). *Public Transit Planning and Operation: Theory, modelling and practice*. CRC Press.
- Sasikumar, R., Pai, H., & Pradeepmon, T. (2013). Optimization of crew scheduling with uniform work distribution: A new approach using genetic algorithm. *Computational Intelligence In Production And Logistics Systems (CIPLS), 2013 IEEE Workshop on*, 61-69.
- Sarache Castro, W., & Morales Chávez, M. M. (2016). *Localización, transporte e inventarios: Tres decisiones estructurales en el diseño de cadenas de abastecimiento*. Universidad Nacional de Colombia. <https://books.google.com.co/books?id=qtPIswEACAAJ>
- Smith, B. M., & Wren, A. (1988). A bus crew scheduling system using a set covering formulation. *Transportation Research Part A: General*, 97-108.
- Desrochers, M., & Soumis, F. (1989). A column generation approach to the urban transit crew scheduling problem. *Transportation Science*, 1-13.
- Mingozzi, A., Boschetti, M. A., Ricciardelli, S., & Bianco, L. (1999). A set partitioning approach to the crew scheduling problem. *Operations Research*, 873-888.
- Lourenço, H. R., Paixão, J. P., & Portugal, R. (2001). Multiobjective metaheuristics for the bus driver scheduling problem. *Transportation science*, 331-343.
- Li, J., & Kwan, R. S. (2003). A fuzzy genetic algorithm for driver scheduling. *European Journal of Operational Research*, 334-344.
- Ibarra-Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R., & Muñoz, J. C. (2015). Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38-75.
- Chen, M., & Niu, H. (2012). A model for bus crew scheduling problem with multiple duty types. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- Prins, C. (2004). A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers Operations Research*, 1985-2002.
- Liu, S., Huang, W., & Ma, H. (2009). An effective genetic algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 434-445.
- Jungnickel, D. (2008). *Graphs, networks and algorithms*. Springer.
- Wren, A., & Rousseau, J. M. (1995). Bus driver scheduling—an overview. *Computer-aided transit scheduling*, 173-187.
- Granada, M., & Santa, J. (2017). *Optimización Combinatoria: de la teoría a la práctica*. Pereira, Colombia: Programa de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira.

*Gaviria, R., & Alzate, A. (2018). Implementación de infraestructuras tecnológicas (GIS) Geographic Information Systems, expresada en “servicios” como patrón de diseño. Pereira, Colombia: Universidad Libre Seccional Pereira, Colombia.*



# 21

## ***Oculus Rift una herramienta virtual para desarrollar habilidades creativas***

### ***Oculus Rift a virtual tool to develop creative skills***

Iván Giovanni Quesada Bonilla<sup>1</sup>

#### ***Resumen***

El ambiente que nos rodea y en particular los sonidos, olores y colores, generan sensaciones y reacciones en los seres humanos; estos estímulos pueden repercutir de forma positiva o negativa en el comportamiento cerebral de las personas. La creatividad al ser un estado mental y emocional, teóricamente puede depender de todo estímulo externo, influyendo las habilidades creativas. Una vez indagado el propósito en sus antecedentes y referentes teóricos, se propuso un proceso investigativo cuasi-experimental, que consistió inicialmente con los supuestos dados, en configurar un acorde cromático definido por colores cálidos que por su longitud y frecuencia de onda electromagnética, comparten la característica de mayor influencia en la actividad cerebral de los humanos potenciado por la intermediación de herramientas que facilitan la virtualización que además de incidir en su comportamiento a razón de la estimulación visual hacia la acción, la divergencia y la acción creativa. Esta investigación comprobó que con la mediación de la virtualidad apalancada en el equipo para simular entornos Oculus Rift; las habilidades creativas pueden ser influenciadas positivamente de tal modo que

---

<sup>1</sup> Maestría Creatividad e Innovación para las Organizaciones, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Correos electrónicos: [igquesada@sena.edu.co](mailto:igquesada@sena.edu.co) - [ivan.quesada@unad.edu.co](mailto:ivan.quesada@unad.edu.co)

los indicadores con que la creatividad es medida (Fluidez, Flexibilidad, Originalidad, Elaboración y Recursividad), tienen mejor desempeño de acuerdo al test de creatividad fundado en P. Torrance y J. Guilford. Este test fue aplicado en dos fases, un pre test aplicado a un grupo de control para determinar el estado inicial de las habilidades creativas y un pos test aplicado al grupo experimental de la muestra. Actualmente se está adelantando una nueva propuesta, en una población de estudiantes matriculados en la línea TICs del programa TecnoAcademia SENA Tolima y estudiantes de la escuela de Ingenierías y Ciencias Básicas de la UNAD, donde se busca establecer influencias específicas por los colores en cada una de las habilidades de la creatividad, de esta forma y de ser comprobada las hipótesis, se entregará a la comunidad una herramienta personalizable que de acuerdo a las necesidades individuales, el individuo podrá desarrollar la habilidad que mayor atención necesite en su momento creativo.

**Palabras clave:** *Creatividad; Educación; Habilidades Creativas; Colores Cálidos; Realidad Virtual*

### ***Abstract***

*The environment around us and in particular the sounds, smells and colors, generate sensations and reactions in human beings; These stimuli can have a positive or negative impact on people's brain behavior. Creativity, being a mental and emotional state, can theoretically depend on all external stimuli, influencing creative abilities. Once the purpose was investigated in its antecedents and theoretical references, a quasi-experimental investigative process was proposed, which initially consisted of the given assumptions, in configuring a chromatic chord defined by warm colors that, due to their length and frequency of electromagnetic wave, share the characteristic of greater influence on the human brain activity enhanced by the intermediation of tools that facilitate virtualization that in addition to influencing their behavior due to visual stimulation towards action, divergence and creative action. This research proved that with the mediation of leveraged virtuality in the team to simulate oculus rift environments; Creative skills can be positively influenced in such a way that the indicators with which creativity is measured (Fluency, Flexibility, Originality, Elaboration and Recursivity), have better performance according to the creativity test founded on P. Torrance and J. Guilford. This test was applied in two phases, a pre test applied to a control group to determine the initial state of the creative abilities and a post test applied to the experimental group of the sample. A new proposal is currently being advanced, in a population of students enrolled in the TCI's line of the TecnoAcademia SENA Tolima program and students of the School of Engineering and Basic Sciences of the UNAD, where it is sought to establish specific influences by colors in each One of the abilities of creativity, in this way and if the hypothesis is proven, a customizable tool*

*will be delivered to the community that according to individual needs, the individual will be able to develop the skill that needs the most attention in his creative moment.*

**Keywords:** *Creativity; Education; Creative Skills; Warm Colors; Virtual reality*

## ***Introducción***

Este capítulo presenta los resultados de la investigación que buscó establecer la influencia del uso del color de manera significativa para el logro y desarrollo de habilidades creativas, principalmente, definir herramientas y mecanismos que, fundamentados en el color y el diseño de ambientes propicios, promuevan el desarrollo de las habilidades creativas en las personas.

Se ha focalizado en los colores como característica común que se incorpora en el diseño de ambientes, basados en teorías e investigaciones desde los aspectos de la psicología, teoría, simbología y física del color, y su influencia en el comportamiento del individuo teniendo en cuenta los aspectos actitudinales y aptitudinales del ser creativo; estos colores agrupados en un acorde cromático configurado por la gama de los colores cálidos, que parte del amarillo hasta el rojo, definido por la longitud de onda electromagnética que inicia desde los 570 nm hasta 780 nm.

El acorde cromático establecido fue llevado al campo de las sensaciones mediante la realidad virtual que actuó como herramienta mediadora, aprovechando las bondades tanto económicas para configurar el espacio y ambiente propicio para la investigación, como las capacidades de acción que brindan estas tecnologías, pues las simulaciones de entornos a partir de gráficas multidimensionales logran engañar al cerebro humano generando así reacciones desde lo físico hasta lo emocional.

La metodología implementada para esta investigación fue definida por el corte cuantitativo cuasi-experimental, en el cual la estrategia virtual, se aplicó a dos grupos establecidos como control y experimental; estos grupos comparten características demográficas de población homogénea.

La validación de la influencia de la estrategia virtual en el desarrollo de las habilidades creativas, fue la aplicación del test de creatividad, fundado en Torrance et al. (1975) y Guilford (1971) en dos etapas: La primera o inicial (pre-test) a los grupos control y experimental para la evaluación de estado inicial de la variable dependiente (habilidades creativas), y la segunda en la fase experimental (post-test) luego de realizar la influencia

con la estrategia al grupo experimental (inmersión virtual a un ambiente con un acorde cromático específico) determinada como variable independiente.

Las pruebas pretendieron establecer un sistema comparativo entre los grupos de acuerdo a las variables, para así determinar si realmente existe influencia de la estrategia virtual utilizando la gama de colores, en el desarrollo de las habilidades creativas de los estudiantes.

Es el interés de esta investigación entregar a la sociedad nuevo conocimiento utilizando las TIC a través de una herramienta de realidad virtual como medio para ejecutar la estrategia cromática, que potencie el desarrollo de las habilidades creativas en los individuos, que se pueda replicar e investigar en diferentes campos del comportamiento humano.

## ***Desarrollo temático***

### *CREATIVIDAD*

“La creatividad es cualquier acto, idea o producto que cambia un campo ya existente, o que transforma un campo ya existente en uno nuevo” (Csikszentmihalyi, 1996). Se le han atribuido múltiples definiciones, y a su vez se ha convertido en una estrategia transversal a cualquier área del conocimiento pues es un término de uso constante cuando se trata de divergencia, novedad, respuestas o soluciones no cotidianas en determinadas situaciones. En la actualidad, se piensa en la creatividad como un factor importante que debe ser estimulado utilizando diferentes métodos, con el propósito de trabajar en las personas esta habilidad que todos poseen para obtener de ellos un mejor rendimiento.

Ahora bien, es de amplio conocimiento y como lo afirma Csikszentmihalyi (1998):

“Los ambientes creativos hacen referencia a un tema que podría ser visto desde los aspectos físicos del entorno y los aspectos de relación social directamente ligados a las personas. Debería ser entonces una suma de características que permita al final encontrar el ambiente ideal para potencializar la creatividad en las personas y al mismo tiempo impulsar de manera constante un proceso orientado a la innovación que permita en el tiempo, encontrar personas que expresen una mejor actitud y aptitud en su aporte de ideas dentro de su cotidianidad laboral, personal, y mayores posibilidades para la generación de ideas que aporten valor.”

La creatividad es considerada como un tejido integral de elementos cognitivos, afectivos, conductuales y comportamentales se consideró un enfoque ambiental como un medio conductista a lo comportamental del ser humano y, concebida como un proceso

creativo y sus fases: preparación, iluminación, incubación, elaboración y verificación, sumado a las capacidades.

La competitividad laboral ha desarrollado en las personas mayor interés por evolucionar sus capacidades orientadas a mejorar su rendimiento en cualquier tarea que realicen o rol que desempeñan, por ello asisten a capacitaciones, consumen material didáctico online, y buscan estrategias para siempre ser más competitivos, sin embargo, la creatividad no ha sido del mayor interés a mejorar, pues las empresas y los mismos individuos no la consideran necesaria, esto debe ser una preocupación asumida desde la academia misma con el propósito de empezar a detectar y aplicar las mejores maneras de ayudar a que el desarrollo creativo tenga mejores resultados desde cualquier área del conocimiento por las razones anteriormente mencionadas.

Según Guilford(1980 p. 88) los factores creativos, están divididos en dos grandes grupos, los Aptitudinales y los Actitudinales, aunque los dos contemplan a su otro, en algunas partes señalan una preferencia. Para poder comprender en qué consiste cada uno, es necesario recordar que una aptitud se refiere a la capacidad tanto de conocimientos como de habilidades mentales y destrezas con que cuenta una persona. En tanto, la actitud tiene que ver más con la forma en que siente y piensa ese individuo, es decir con la manera de comportarse y activar en relación a sus intereses, voluntad y convicciones, la cual igualmente puede fortalecer la aptitud.

La creatividad es vista desde los factores aptitudinales y se constituyen en una serie de capacidades o habilidades mentales que pueden ser desarrolladas y que poseen los individuos considerados creativos. Entre los factores aptitudinales fundamentales para crear están:

Fluidez en las ideas, capacidad de pensar en más cosas, preguntas, respuestas, etc. Frente a determinado problema. Tiene que ver con la rapidez y cantidad de elementos con que se responde más que a la calidad u originalidad. La fluidez puede darse de manera expresa, asociativa o ideativa. (Menchén, 1998).

Originalidad que es la capacidad para producir e idear obras técnicas, objetos, ideas que no sean copia, imitación o traducción de otra, es decir consideradas como novedosas o poco usuales. (De la Torre, 1995).

Recursividad se considera como la capacidad de poder asignar y reagrupar funciones y usos, se relaciona con la resolución de problemas con múltiples alternativas, puede darse de forma permanente o momentánea, utiliza todos los

elementos que se encuentren a la mano o en su imaginario que el individuo redefina su uso y da diferentes funciones. (Marín, 1991).

Flexibilidad en el pensamiento que es la facultad de encontrar enfoques diversos para solucionar cierta situación. Esto es la capacidad de cambiar la perspectiva y percibir los problemas o hechos de otra forma. (Menchén, 1998).

### *EL AMBIENTE Y EL COLOR*

De la Torre con su modelo transaccional de interacciones del ser con el ambiente, define: “La dimensión física como la espacialidad en la cual se interrelaciona el ser humano, e incluyen un patrón de conducta producido por las características ambientales y temporales. Son las características, la configuración y el diseño de un ambiente el que determina cómo serán las interacciones en este medio donde las fuerzas de influencia creativa se vectorizan directamente hacia el actuar de las personas que lo habitarán, potenciando las habilidades creativas”. (p. 45).

S. De La Torre & Violant, V (2001), afirman que “El medio o el ambiente tienen un valor pedagógico importante y debe de ser cuidadosamente definido, especialmente en las edificaciones levantadas para compartir conocimiento”; creando una relación entre el ambiente y la educación, la mayoría de los individuos se han formado en espacios cerrados, con estándares estipulados por una configuración de encierro y miradas fijas, utilizando colores que van acorde a la institucionalidad de cada institución, donde se imparten una serie de conocimientos que básicamente se interiorizan de una forma poco natural, pero que incluso mucha de esa información no alcanza a ser captada y se pierde.

En el caso específico del color, es un elemento de relevancia en la definición de ambientes que propendan a la estimulación de la creatividad, dada su influencia en los aspectos fisiológicos y psicológicos, “su manejo puede alterar el tamaño y calidez del recinto, propiciar recuerdos y asociaciones, alentar la introversión o la extraversión, propiciar o alterar la fatiga visual, etc.” (Meza, 1997, p. 30).

En este orden de ideas, el ambiente que nos rodea y en específico el color es uno de los elementos relevantes que influyen en la cotidianidad de las personas, por ende afectan el comportamiento de forma positiva o negativa; la teoría, la física y la psicología del color han proporcionado diferentes ideas y connotaciones desde sus gamas cromáticas aportando información fundamental en la influencia en las personas, ésta ha sido la razón principal por la cual se realizó esta investigación, pues permitió establecer su influencia cuando se trata de tener una mayor producción creativa aportando soluciones diferenciales, novedosas y efectivas para

las situaciones que se puedan presentar en su cotidianidad de trabajo o estudio bajo un ambiente creativo pensado y construido con las características necesarias para mejorar su potencial creativo.

Investigadores se han concentrado en estudiar el ambiente y de forma más profunda el color como catalizador para lograr influenciar la creatividad en los individuos, Maltin & Foley (1996) en su artículo Sensación y Percepción, nos demuestra cómo los colores son percibidos por el cuerpo humano, estimulando el sistema nervioso usando ondas luminosas del espectro visible y cómo estos colores influyen directamente en la actividad cerebral; aquí es preciso comprender que los colores es el resultado de una reacción física, y afectan las emociones y comportamientos o de los individuos (Heller, 2004), al ser aplicados a una superficie no solo están comunicando sino también afectando a la persona que se encuentra expuesta a estos. Teniendo en cuenta esto, nace la conjetura si la exposición intencional de una persona a colores especialmente configurados influye más allá de la percepción del color como tal, y llega a motivar la emoción o la conexión con el desarrollo de sus habilidades.

Según Heller (2004), Parodi (2002) y otros autores, la gama de colores cálidos (Rojo, Naranja y Amarillo) le son atribuidas características relevantes de las habilidades creativas como: La diversión, la energía, el entendimiento, las pasiones, lo dinámico, lo agresivo, la movilidad, la energía, la creatividad y la imaginación, entre otros.

A los colores cálidos se les relaciona con la estimulación de la mente en forma positiva, pues alegran y hasta excitan, generan dinamismo, movilidad y actividad cerebral, que asociadas al proceso y habilidades creativas permiten la generación de ideas, facilitan y estimulan la conexión de sus experiencias para reutilizar elementos, funciones, definiciones, que puedan llevar a la originalidad y producir novedades con mayor elaboración; aquí las personas estarían entregando un producto o servicio creativo.

En contraste, los colores fríos apaciguan el ánimo; los negros y grises pueden resultar deprimentes, mientras que el blanco refuerza los sentimientos positivos. Aunque estas sensaciones son puramente subjetivas y dependen de la percepción de cada cual, las investigaciones de Goethe (1810) y citado por Arnaldo, Javier., (1999), demostraron que son comunes a la mayoría de los individuos, y están determinadas por reacciones inconscientes de estos, así como por asociaciones inconscientes de estos colores con determinados fenómenos físicos.

## *LA REALIDAD VIRTUAL Y LA INVESTIGACIÓN*

Definir la Realidad Virtual por su composición de palabras sería algo contradictorio: Realidad = Real, Virtual = Irreal, por ello algunos autores cambian su nombre a Realidad Artificial, Entorno Virtual, o Ciberespacio y así evitar la controversia de su nombre; Southerland (1965) definió la realidad virtual como “la simulación de un mundo virtual interactivo”, a su vez afirmó que es “una interfaz interactiva determinada que permite resolver un problema concreto de simulación avanzada”.

La Realidad Virtual o entorno simulado es utilizado para simular situaciones especiales que sirvan para el aprendizaje o el entrenamiento a un bajo costo de aviones, vehículos de carga pesada o de movilidad, barcos, naves espaciales; se usa frecuentemente para entrenamiento militar y aeronáuticos, aunque también se encuentran simuladores de este tipo en centros de diversión hoy muy populares que incluso han motivado a la producción de películas de ciencia ficción. Su uso es de acuerdo a la necesidad, puede ser individual, en grupos o formando parte de una red conectada. Suele utilizar incluso diferentes plataformas electro-hidráulicas para simular movimientos, sensaciones y así generar reacciones y acciones propias de una realidad no simulada.

En línea con lo anterior la inmersión tiene significados muy variados según el contexto en que se utilice, pero en realidad virtual es un concepto muy claro. Se define la inmersión sensorial como el aislamiento de los sentidos del mundo real y la conexión al mundo virtual. Consecuentemente, el individuo que utiliza la realidad virtual deja de percibir el contexto actual, el entorno que le rodea y pasa a una realidad inmersa generada por el mundo virtual que simula un equipo de cómputo en tiempo real. La vista es el órgano que percibe sentidos que nos proporciona una mayor cantidad de información del entorno dónde se encuentre a su vez que genera mayor sensación de presencia. Por este motivo, todo sistema de realidad virtual debe proporcionar estímulos adecuados como mínimo para el sentido de la vista (es decir, debe generar las imágenes correspondientes al mundo virtual), a pesar de que a menudo los sistemas de realidad virtual proporcionan también inmersión acústica.

Esta tecnología ha evolucionado de tal manera que ha salido de los laboratorios de investigación y ha llegado a nuestros hogares, directamente influenciado por la industria de los videojuegos; marcas mundialmente reconocidas como Nintendo con su consola Wii y 3DS, Microsoft quien lanza el Software Development Kit (SDK) para Windows, un sistema para desarrollo de aplicaciones; PlayStation y Xbox que usan sistema de realidad aumentada basado en cámaras de captura de movimiento, son manifestaciones de la potencialidad y fácil acceso de esta tecnología.



Investigaciones como la de Chávez RA. (2004), identificaron que el ejercicio creativo utiliza diferentes partes del cerebro, definiendo así que no existe un punto exacto sobre él que se deba estimular; utilizaron la medida del flujo sanguíneo cerebral por medio de la prueba SPECT y medidas por las Pruebas de Torrance de Pensamiento, arrojando como resultado la activación de diferentes partes del cerebro.

De acuerdo a los resultados de Chávez, quien concluye que la actividad creativa utiliza diferentes puntos cerebrales da partida a la temática de influencias de ondas electromagnéticas que busca entablar estímulos en ambos hemisferios del cerebro humano y prepararlo para la influencia colorista a través de la utilización de la tecnología Realidad Virtual.

De acuerdo con Klimesch, Doppelmayr, Russegger, Pachinger, & Schwaiger, 1998; Coan Allen, 2004; Herrmann, 2001, coinciden que los estados emocionales, cognitivos y motores se ven representados en las frecuencias de las ondas cerebrales, que son influenciadas desde el contexto de las personas a través del el audio y la vista principalmente; el sonido y los colores son dos de los elementos del ambiente que generan ondas electromagnéticas que son medidas por su frecuencia en Hz y su longitud de onda en nM, estas medidas son utilizadas para determinar su capacidad que al ingresar al cuerpo humano impactan directamente en la actividad eléctrica del cerebro; al utilizar las frecuencias y longitudes de onda adecuadas es decir colores o sonidos especialmente seleccionados, el cerebro humano entra en una sincronía, preparándolo para recibir cualquier influencia; según la Sociedad Hispano Americana de Psicología Aplicada, afirma que es posible utilizar las ondas electromagnéticas para sincronizar las ondas eléctricas del cerebro para que los hemisferios entren en perfecta armonía, generando estados de atención y concentración, para luego al cambiar las ondas electromagnéticas externas e influyentes en el ambiente, bombardeen influencias y alteren el comportamiento emocional y/o psicológico de los individuos.

## ***Metodología***

El diseño metodológico para esta investigación fue de carácter cuantitativo cuasi-experimental en la cual la estrategia cromática, utilizando la tecnología de virtualización, fue aplicado a dos grupos que se definieron como el grupo control y grupo experimental; estos grupos presentaron características demográficas y de población homogéneas, fueron integrados por los estudiantes matriculados en el segundo semestre del año 2017 al programa de fisioterapia de la Universidad Autónoma de Manizales.

De acuerdo a estas consideraciones la población fue definida por los estudiantes participantes y asistentes a la convocatoria del programa académico de fisioterapia. Esta población ascendió a un número de 40 estudiantes.

Tabla 1. Distribución población en grupos.

GRUPO CONTROL				GRUPO CONTROL		
	Edad	Sexo	Semestre	Edad	Sexo	Semestre
1	18	f	2	19	f	5
2	18	f	2	20	f	5
3	18	f	4	21	m	5
4	18	f	4	22	m	5
5	19	m	4	23	m	5
6	20	f	5	20	F	7
7	22	f	5	21	f	7
8	27	f	5	23	f	7
9	22	m	5	29	f	7
10	21	f	7	19	m	7
11	26	f	7	21	m	7
12	23	m	7	19	f	8
13	20	f	8	21	f	8
14	20	f	8	21	f	8
15	21	f	8	27	f	8
16	21	f	8	21	f	9
17	22	f	8	21	f	9
18	22	f	8	21	f	9
19	23	f	8	23	f	9
20	22	f	9	23	f	9
21	24	f	9			

Fuente: Elaboración Propia

Las variables de la investigación se definieron así: Variable Dependiente, definida por las habilidades creativas que sumadas en un todo conforman la Creatividad Total de los individuos, planteadas desde los referentes Torrance y Guilford, como lo son: Originalidad, Fluidez, Flexibilidad, Recursividad y Elaboración.

Variable Independiente, definida por la estrategia cromática definida y configurada por la gama de colores cálidos, que contempla todos los colores que pueden existir entre los colores Amarillo, Naranja y Rojo, pero, limitados en sus cotas inferior y superior por las longitudes de onda, propiedad física medible y que corresponden al rango entre los 570 nm a 870 nm.

El instrumento utilizado para determinar el estado inicial de las habilidades creativas en la muestra, será la aplicación del test de creatividad fundado en P. Torrance et al. (1975) y J. Guilford (1971). Este test permite evaluar las cinco (5) habilidades creativas desde las aristas: Semántico, Figurativo y Simbólico Figurativo; este primer test (pretest) se aplicó a los grupos control y experimental, medida que fue utilizada como valor inicial de comparación de la investigación. Posteriormente se aplicó la estrategia cromática al grupo experimental que consiste en la inmersión virtual a un ambiente simulado a través de la producción de un video realizado con características de 360°, con figuras amorfas y aleatorias a partir de la gama de colores cálidos, este video puesto en un canal de Youtube para reproducción con la opción VR desde un teléfono celular siendo este soportado por una Google Cardboard; esta influencia tuvo una duración de treinta (30) minutos diferenciando los primeros y últimos cinco (5) minutos por acostumbramiento y des-acostumbramiento a la herramienta, con una velocidad e intensidad de colores inferior a la configuración de los veinte (20) minutos restantes donde se acentuó la influencia.



Figura 1. Muestra video estrategia cromática

Fuente: Elaboración Propia: <https://www.youtube.com/watch?v=IW6bGkrdevQ>



Figura 2. Estudiante influenciada por Oculus Rift  
Fuente: Elaboración Propia

Finalizada la influencia se aplicó el instrumento Test de Creatividad (postest) a los dos grupos experimental y control, cuyos datos permitieron el análisis estadístico de la investigación.

Las pruebas buscaron establecer un sistema comparativo entre los grupos de acuerdo a las variables, para así determinar si realmente existió influencia de los colores en el desarrollo de las habilidades creativas de los estudiantes. Fue del interés de esta investigación entregar a la sociedad nuevo conocimiento utilizando las TIC a través de una herramienta de realidad virtual como medio para ejecutar la estrategia cromática, que potencie el desarrollo de las habilidades creativas en los individuos.

## ***Resultados***

Se utilizó el software estadístico SPSS para realizar el procesamiento de los datos obtenidos en esta investigación, para esto se tomó como variable de contraste la creatividad y como variable de agrupación los cuatro grupos y los datos obtenidos de las puntuaciones de las cinco habilidades, así:

Variables independientes: Estrategia cromática diseñado a partir de la gama de colores cálidos y aplicados con la herramienta Cardboard, que influencia y ejerce control sobre la variable dependiente.

Variable dependiente o de contraste: Creatividad, obtenida para la Totalidad del conjunto de habilidades creativas.

VARIABLES DE AGRUPACIÓN: Pretest Control, Postest Control, Pretest Experimental, Postest Experimental.

*PRUEBAS DE VALIDACIÓN DE DATOS*

Antes de realizar la prueba de T de Student para variables independientes, se corroboró que la variable aleatoria presentara distribución normal (Tabla 2) y cumpliera con el parámetro de homocedasticidad (Tabla 3). Para esto se utilizó la prueba de Kolmogorov Smirnov y Levene respectivamente, cuyos resultados permiten la aplicación de la prueba de la investigación:

Realizada la prueba de Normalidad, la Tabla 2 muestra que para el test de Kolmogorov, se obtuvo un valor de significancia bilateral (P-Valor), de 0,200, para la variable dependiente Total Valoración Creatividad.

Entonces: Como  $P\text{-valor} > \alpha > 0,05$  se acepta  $H_0$ : los datos provienen de una distribución Normal y se rechaza  $H_1$ , es decir cumple con las características de normalidad.

Tabla 2. Pruebas Kolmogorov Smirnov

ETAPA INVESTIGACION	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk (muestra<30)		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CONTROL						
PREVIO	,119	20	,200*	,951	21	,358
EXPERIMENTAL						
PREVIO	,091	20	,200*	,944	20	,284
CONTROL POS	,189	20	,049	,833	21	,002
EXPERIMENTAL						
POS	,152	20	,200*	,941	20	,255

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Prueba de Levene y T Student

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias		
		F	Sig	t	GI	Sig. (bilateral)
<b>TOTAL</b>	Se asumen					
<b>VALORACION</b>	varianzas iguales	1,236	,273	-2,762	38	,009
<b>CREATIVIDAD</b>	No se asumen					
	varianzas iguales			-2,762	35,440	,009

Fuente: Elaboración Propia

*TOMA DE DECISIÓN:*

De acuerdo a la Tabla 3, la prueba de Levene, se establece como parámetro de significancia o P-valor: 0,005

Comparación pretest y postest para el Grupo Experimental, se obtiene un valor de Significancia = 0,273

Como P-valor es mayor que,  $\alpha > 0,05$  Entonces: Las varianzas de los dos grupos son iguales (Homocedasticidad).

*VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS*

Planteamiento de hipótesis:

H0 = No Existe diferencia significativa en las distribuciones de las k poblaciones comparadas, (son iguales).

H0 = La mediación del color a través de la estrategia cromática configurado por la gama de colores, aplicada en la herramienta sensorial, tecnológica y de realidad virtual Cardboard no influye en el desarrollo de habilidades creativas de los estudiantes matriculados en el segundo semestre del programa académico fisioterapia de la Universidad Autónoma de Manizales.

H1 = Existe diferencia significativa en las distribuciones de las k poblaciones comparadas.

H1 = La mediación del color a través de la estrategia cromática configurado por la gama de colores cálidos, aplicada con una herramienta sensorial, tecnológica y de realidad virtual Cardboard, influye en el desarrollo de habilidades creativas de los estudiantes matriculados en el segundo semestre al programa académico fisioterapia de la Universidad Autónoma de Manizales en el año 2017.

Para el análisis de la información recolectada de forma general la distribución de la variable Total Creatividad presentó una distribución Normal según la prueba de Normalidad y la prueba de Kolmogorov y Levine la distribución presentó Homocedasticidad, por tanto, la prueba estadística fue paramétrica para realizar las pruebas de T-student (ver Tabla 4) la cual se aplica y se encuentra al comparar los resultados de pretest y postest del grupo experimental obteniendo una significancia P-valor: 0,009. Este resultado al ser menor al parámetro de referencia P-valor=0,005 ( $0,009 < 0,05$ ) acepta la hipótesis de trabajo H1, donde se verifica que existen diferencia significativa entre las varianzas de los dos grupos, lo que quiere decir que la mediación del color a través de la estrategia cromática configurado por la gama de colores cálidos, aplicada con una herramienta sensorial, tecnológica y de realidad virtual Cardboard, influye en el desarrollo de habilidades creativas de los estudiantes matriculados en el segundo semestre al programa académico fisioterapia de la Universidad Autónoma de Manizales en el año 2017.

De forma complementaria, aprovechando los datos recogidos gracias a la prueba de creatividad y en búsqueda de otros posibles resultados, se decidió ampliar el análisis y establecer las diferencias significativas para cada una de las cinco habilidades: Originalidad, Fluidez, Recursividad, Flexibilidad y Elaboración, en el grupo experimental para sus estados de pretest y postest.

Al analizar estos datos, estadísticamente los resultados no son paramétricos, pues no cumplen con los requerimientos de Normalidad y Homocedasticidad, por tanto, se utiliza la prueba no paramétrica de Kuskal Wallis, como validador de hipótesis en muestras inferiores a 40, estableciendo un nivel de Significancia:  $\alpha = 0,05$ .

Todos los valores obtenidos, de la prueba conjunta. para los seis grupos analizados: Creatividad Total, Fluidez, Originalidad, Flexibilidad, Recursividad y Elaboración fueron menores a 0,05, P-valor  $< 0,05$ . Ver Tabla 4.

#### *TOMA DE DECISIÓN:*

Como la Significancia para todas las comparaciones fueron  $< 0,05$

Entonces: se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la H1: Existe diferencia significativa en las distribuciones de las k poblaciones comparadas.

Los resultados mostrados en la tabla 4, demuestran que existe una influencia positiva en el desarrollo de las habilidades creativas, estos resultados conllevan a la aceptación de la Hipótesis de trabajo

H1 = La mediación del color a través de la estrategia cromática configurado por la gama de colores cálidos, aplicada con una herramienta sensorial, tecnológica y de realidad virtual Cardboard, influye en el desarrollo de habilidades creativas de los estudiantes matriculados en el segundo semestre al programa académico fisioterapia de la Universidad Autónoma de Manizales en el año 2017.

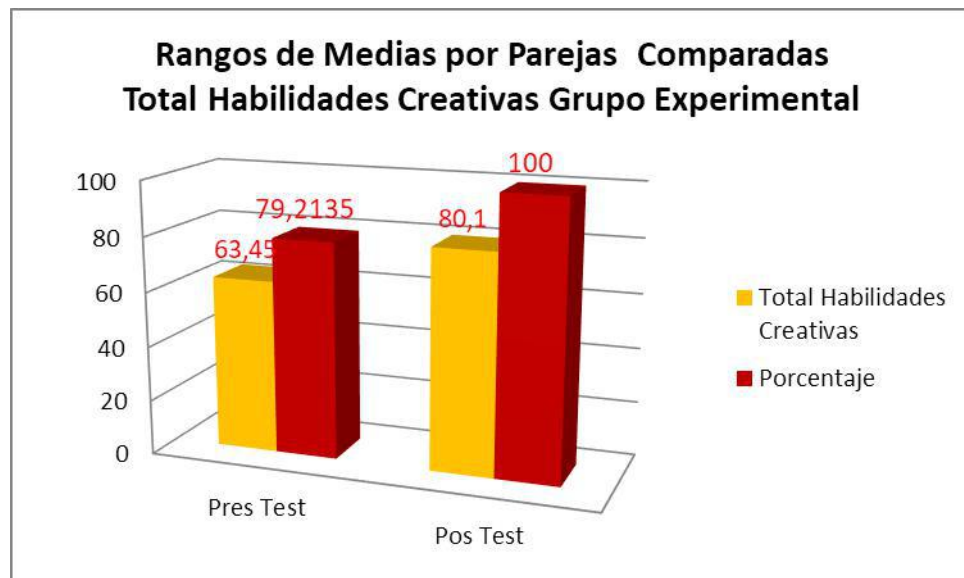


Figura 3. Rango de Medias Total Creatividad Experimental  
Fuente: Elaboración Propia



**Resumen de contrastes de hipótesis**

	<b>Hipótesis nula</b>	<b>Prueba</b>	<b>Sig.</b>	<b>Decisión</b>
<b>1</b>	La distribución de TOTAL VALORACION CREATIVIDAD es la misma entre las categorías de GRUPOS.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,007	Rechace la hipótesis nula.
<b>2</b>	La distribución de TOTAL ORIGINALIDAD es la misma entre las categorías de GRUPOS.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechace la hipótesis nula.
<b>3</b>	La distribución de TOTAL FLUIDEZ es la misma entre las categorías de GRUPOS.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechace la hipótesis nula.
<b>4</b>	La distribución de TOTAL RECURSIVIDAD es la misma entre las categorías de GRUPOS.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechace la hipótesis nula.
<b>5</b>	La distribución de TOTAL FLEXIBILIDAD es la misma entre las categorías de GRUPOS.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechace la hipótesis nula.
<b>6</b>	La distribución de TOTAL ELABORACIÓN es la misma entre las categorías de GRUPOS.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

Figura 4. Resultado resumen contraste de habilidades de creatividad por Kruskal Wallis  
Fuente: Elaboración Propia

La tabla 4 resumen del contraste de cada una de las habilidades creativas, e incluso la creatividad total, arroja como resultado que para cada una de ellas el nivel de significancia o p-valor es menor a 0,05, nuevamente validando nuestra hipótesis de trabajo y permitiendo concluir que cada una de las habilidades creativas de forma independiente son influenciadas en su desarrollo a través de la mediación de la estrategia cromática diseñada en esta investigación.

Gracias al análisis detallado de comparación entre las medianas de los resultados para cada una de las habilidades creativas obtenidos por el test de creatividad fundado en P. Torrance y J Guilford, se estableció que la Fluidez con un 79,6% es la habilidad que mayor diferencia porcentual presentó al comparar los resultados del grupo experimental en sus fases de Pretest y Postest, como se evidencia en la siguiente gráfica.

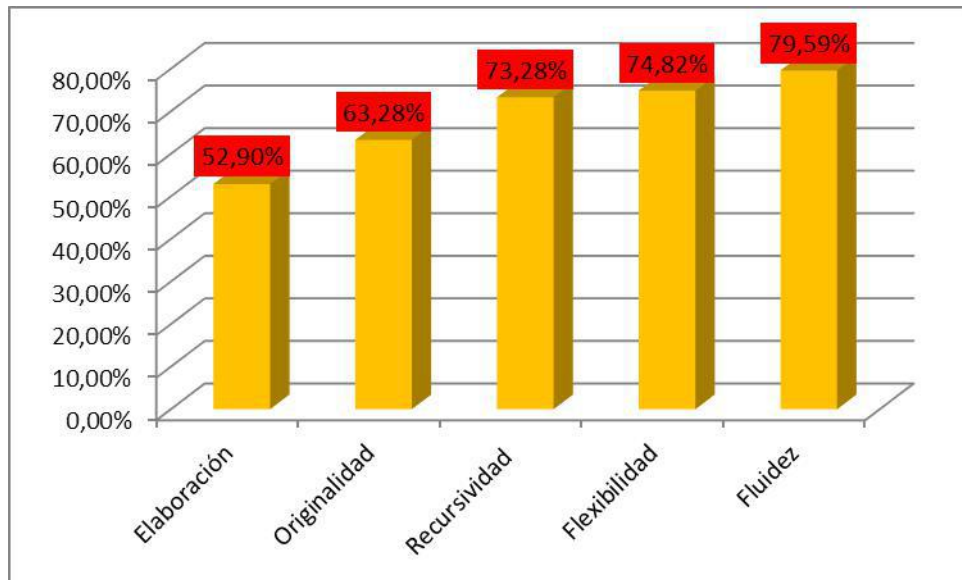


Figura 5. Diferencia porcentual entre medianas obtenidas por habilidad en grupo experimental fases control, experimental.

Fuente: Elaboración Propia

## ***Conclusiones***

La investigación determinó que el estado inicial de la creatividad total de la muestra representativa, en la fase Pre-Test de la prueba, fue en promedio de 63,4524 puntos; este dato fue utilizado como valor de referencia inicial para lograr determinar en una fase posterior, la influencia en el desarrollo de las habilidades creativas de los estudiantes del programa de la Universidad Autónoma de Manizales.

Se determinó que el acorde cromático diseñado y utilizado en esta investigación, es válido y funcional dentro de la estrategia cromática formulada para el desarrollo de las habilidades creativas, influyendo en los resultados obtenidos para la Creatividad Total de la muestra.

Se estableció que existe influencia en el desarrollo de las habilidades creativas usando la estrategia cromática aplicada por una herramienta sensorial de Realidad Virtual y configurada por la gama de colores cálidos, en la muestra representativa para la presente investigación.

La habilidad creativa que recibió mayor influencia por la estrategia cromática diseñada y utilizada en esta investigación es la fluidez, convirtiendo a la estrategia en una importante herramienta para la generación de ideas en un proceso creativo.

Los resultados de esta investigación permiten hoy continuar con la investigación y personalizar la herramienta, al punto de poder determinar las necesidades específicas e individuales de cada individuo, identificando así la habilidad o habilidades que requiera optimizar, de acuerdo a su necesidad en un proceso creativo, para ello se requiere establecer estadísticamente que color influye con mayor impacto a que habilidad creativa; este es el tema de la investigación que está en proceso.

## **Referencias**

- Chávez RA, et al. *Neurobiología de la Creatividad: Resultados preliminares de un estudio de activación cerebral. Salud Mental* 2004; 27:38-46
- Csikszentmihalyi, M. (1998). *Creatividad: el flujo y la psicología del descubrimiento y la invención* (pp. 41-71). Buenos Aires: Paidós
- De la Torre, S., & Violant, V. (2001). *Estrategias creativas en la enseñanza universitaria. Creatividad y sociedad*, 3, 10-35.
- Goethe, Johann Wolfgang von, citado por Arnaldo, Javier., (1999). *Teoría de los colores. Madrid: Consejo General de la Arquitectura Técnica de España*, 404 p
- Heller, E. (2004). *Psicología del color: cómo actúan los colores sobre los sentimientos y la razón. Editorial Gustavo Gili.*
- Klimesch W. (1999). *EEG alfa and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. Brain Research. Brain Research Reviews*, 29(2-3):169-95
- Maltin, M. & Foley, H. (1996). *Sensación y Percepción. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Tercera Edición, Naulcapan de Juárez, México*
- Meza, G (1997) *Ingeniería y Ambiente en el aula de clase: diseño de un modelo ambiental de aula de clase para optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje en la ingeniería industrial*, 1997, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Parodi, F. (2002). *La Cromoterapia, el significado del color en la comunicación visual.*
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1997). *La creatividad en una cultura conformista: un desafío a las masas*
- Sternberg, R. J., & O' Hara L. (2005). *Creatividad e Inteligencia*

- Torrance, E.P. (1974). Torrance Tests of Creative Thinking. Benesville, Illinois: Scholastic Testing Service.*
- Quesada, I. Moncayo, A. Rodríguez, M. (2018). Influencia de una estrategia cromática configurada por colores cálidos en el desarrollo de habilidades creativas en estudiantes del programa de fisioterapia de la UAM.*
- Wolfgang von Goethe, J. (1810). Teoría de los colores.*

# 22

## ***Aplicación de femtoceldas para soportar el tráfico de redes celulares en ambientes indoor***

### ***Femtocell application to load mobile network traffic in indoor environments***

Adrian Rueda Carreño<sup>1</sup>

#### ***Resumen***

El internet de las cosas demanda un incremento en el tráfico de datos en ambientes interiores, esta demanda desafía a los prestadores de servicios a optimizar sus redes con el menor costo posible, permitiendo a los usuarios finales obtener una gran experiencia de datos sin sacrificar la movilidad, actualmente la tendencia en ambientes interiores es de incrementar el uso de soluciones WiFi, pero este tipo de conexiones se limitan al interior del inmueble, obligando al usuario a cambiar la conexión a la red celular cada vez que sale de la zona de cobertura WiFi, una alternativa que permite brindar cobertura en interiores sin sacrificar la movilidad es el uso de soluciones femtocelda, que son puntos de conexión de corto alcance para brindar servicios inalámbricos de voz y datos en hogares, oficinas e incluso en exteriores, utilizan protocolos estándar incluyendo GSM, LTE, CDMA, W-CDMA, Mobile WIMAX y otros estandarizados por 3GPP, 3GPP2 e IEEE, que colectivamente comprenden las tecnologías incluidas en las definiciones de IMT (International Mobile Telecommunications) de la UIT-R (Unión internacional de las Telecomunicaciones - sección

---

<sup>1</sup> Ingeniero electrónico, Candidato a Magister en Telecomunicaciones Móviles de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, [adrianrueda06@gmail.com](mailto:adrianrueda06@gmail.com)

Radiocomunicaciones). Para identificar las ventajas y desventajas del uso de soluciones femtoceldas se realizó una revisión bibliográfica utilizando la metodología de índice, que consiste en iniciar con el desarrollo de un índice tentativo general limitado por los antecedentes del planteamiento específico de la aplicación de femtoceldas para incrementar la capacidad de una red celular, Refinándolo hasta que sea lo suficientemente específico en diferentes categorías o subcategorías. Bajo el contexto metodológico anterior se encuentra que en la última década la investigación relacionada se ha orientado hacia las áreas de incremento de capacidad del ancho de banda disponible por metro cuadrado en el área de cobertura, la disminución del consumo de energía para brindar el servicio, la forma de superar los problemas de interferencia para diferentes escenarios considerado los casos más críticos en el despliegue de femtoceldas, el estudio de soluciones para garantizar el handover entre los dos niveles de la red y entre los puntos de conexión del mismo nivel, la comparación con otras tecnologías para conexión inalámbrica indoor, como WiFi, el estudio de algoritmos de control de potencia para la disminución de interferencias, la definición de modelos de propagación adecuados para el diseño de las redes de dos niveles macro y femto, y los resultados de las experiencias obtenidas al usar femtoceldas para densificar redes celulares. Como producto se documenta un artículo de revisión estructurado en la consulta de diferentes fuentes bibliográficas, para sintetizar conocimientos fragmentados en bases de datos como IEEE Xplore, Google Scholar, reportes técnicos en páginas de internet de fabricantes, boletines del Smallcell fórum, Recomendaciones del 3GPP y el 3GPP2, IEEE 802.11, UIT-R y publicaciones en diferentes congresos sobre el impacto del uso de femtoceldas en la densificación de redes celulares.

**Palabras clave:** *Femtocelda, indoor, Mercado de las Comunicaciones móviles.*

### ***Abstract***

*The internet of things demands an increase in data traffic in indoor environments, this demand challenges service providers to optimize their networks with the lowest possible cost, allowing end users to obtain a great data experience without sacrificing mobility, currently the tendency in indoor environments is to increase the use of WiFi solutions, but these types of connections are limited to the interior of the property, forcing the user to change the connection to the cellular network every time he leaves the WiFi coverage area, An alternative that allows indoor coverage without sacrificing mobility is the use of femtocell solutions, which are short-range connection points to provide wireless voice and data services in homes, offices and even outdoors, using standard protocols including GSM, LTE, CDMA, W-CDMA, Mobile WIMAX and others standardized by 3GPP, 3GPP2 and IEEE, which collectively understand the techniques ologies included in the definitions of IMT*

*(International Mobile Telecommunications) of the ITU-R (International Telecommunications Union - Radiocommunications section). To identify the advantages and disadvantages of the use of femtocell solutions, a literature review was carried out using the index methodology, which consists in starting with the development of a general tentative index limited by the background of the specific approach to the application of femtocells to increase the capacity of a cellular network, refining it until it is specific enough in different categories or subcategories. Under the previous methodological context it is found that in the last decade the related research has been oriented towards the areas of capacity increase of the available bandwidth per square meter in the coverage area, the decrease in energy consumption to provide the service, how to overcome the interference problems for different scenarios considered the most critical cases in the deployment of femtocells, the study of solutions to ensure the handover between the two levels of the network and between the connection points of the same level, the comparison with other technologies for indoor wireless connection, such as WiFi, the study of power control algorithms for the reduction of interference, the definition of propagation models suitable for the design of two-level macro and femto networks, and the results of experiences obtained by using femtocells to densify cell networks. As a product, a structured review article is documented in the consultation of different bibliographic sources, to synthesize fragmented knowledge in databases such as IEEE Xplore, Google Scholar, technical reports on manufacturers' websites, newsletters of the Smallcell forum, 3GPP Recommendations and 3GPP2, IEEE 802.11, ITU-R and publications in different congresses on the impact of the use of femtocells on cell network densification.*

**Keywords:** Femtocell, indoor, Mobile Communications Market

## **Introducción**

Las femtoceldas son pequeños puntos de conexión inalámbrica diseñados para brindar servicios de voz y datos en el interior de los diferentes tipos de edificaciones, hogares, oficinas, negocios o empresas (ambientes indoor) (SmallCell Forum, 2013); usando los mismos protocolos estándar que la macrocelda y operando en el espectro licenciado asignado al operador, lo que permite hacer gestión sobre los indicadores de calidad y seguridad del servicio prestado (T. Lotfollahzadeh, 2016). Para conectarse con la red celular macro las femtoceldas utilizan una línea de abonado digital o conexión de banda ancha por cable (DSL/cable/ethernet/WIMAX), esta conexión se espera que sea pagada por el usuario, lo que hace que las personas al usar femtoceldas prefieran que el acceso al recurso sea solo para usuarios autorizados, es decir de tipo cerrado, lo que limita las ventajas para soportar el

tráfico cuando los usuarios autorizados no estén conectados y otros no autorizados que se encuentren en la zona de cobertura requieran conexión. Sin embargo, este tipo de soluciones optimiza la eficiencia de la red al permitir reutilizar los canales, brindando la posibilidad de soportar un mayor número de usuarios activos por hertz por unidad de área (SmallCell Forum, 2013). De igual forma optimiza la cobertura, al garantizar los niveles de potencia mínimos requeridos para que los equipos de los usuarios puedan acceder a la red, lo que en interiores representa un problema para la macrocelda, ya que los efectos de penetrar los muros y ventanas sobre las ondas electromagnéticas provocan una atenuación de alrededor de 18 dB (SmallCell Forum, 2015).

Los usuarios tienden a conectarse a los servicios de datos al encontrarse en el interior de las edificaciones, llevando a que más del 70% del tráfico total de las redes celulares se presente en ambientes indoor, esta es una tendencia que va en aumento, pues cada vez son más los equipos y soluciones tecnológicas para el hogar, oficina e industria que requieren de una conexión inalámbrica, de hecho los desarrollos dentro de la llamada internet de las cosas IoT buscan que por medio de él internet se incrementen los procesos o tareas que funcionen sin la intervención de las personas, para el año 2022 se estima que el tráfico de datos por las diferentes redes será de 77 exabytes mensuales, lo que se traduce en casi un zettabyte por año, de los cuales el 59% será direccionado por conexiones indoor (Cisco Visual Networking, 2019). Esta tendencia ha fortalecido las soluciones WiFi, incrementando su implementación, pero también ha evidenciado las falencias de su aplicación, dentro de las cuales se destacan los problemas de seguridad y calidad asociados al uso de espectro no licenciado, además de no permitir la movilidad fuera de la zona de cobertura (V. Rajesh M, 2015). Las femtoceldas por el contrario al formar parte de la red celular y usar los mismos canales asignados al operador pueden hacer la gestión sobre los indicadores de calidad y seguridad del servicio, también le permiten al usuario mantenerse conectado al salir de la zona de cobertura indoor de la femtocelda, puesto que la red le asigna un canal de la macrocelda sin interrumpir la conexión, esto es muy importante, debido a que la demanda del usuario no solo está orientada hacia la conexión o el ancho de banda de la misma, sino que también hacia garantizar su movilidad sin perder conexión (N. Khac Bao, 2015).

La implementación de soluciones femtocelda nació como una necesidad de mejorar la cobertura al interior de las diferentes edificaciones cuando se iniciaron los despliegues de redes de tercera generación celular, pues al usar frecuencias más altas que la segunda generación los efectos de la penetración ocasionaban que la potencia de la señal en interiores para 3G fuera menor que para 2G, las primeras soluciones se ofrecieron como alternativas de incremento de capacidad y con iniciativas orientadas a fidelizar a los consumidores. La implementación enfrentó dificultades sobre todo con la gestión de interferencias, porque aunque la señal de la macrocelda en el interior de las edificaciones era muy débil para



garantizar la conexión, era lo suficientemente fuerte para generar interferencia en diferentes escenarios.

Este documento inicia con la presentación de la metodología de investigación documental, posteriormente se presentan los resultados de la implementación de esta, iniciando con un recorrido por los primeros pasos de la implementación de femtoceldas en las redes celulares, luego se presentan las previsiones del mercado en cuanto a la migración de las redes celulares a nivel mundial, así como la necesidad de herramientas de densificación de las redes sin hacer inversiones elevadas, posteriormente se presenta una revisión de los aspectos técnicos a tener en cuenta para el diseño de redes de dos niveles macrocelda y femtocelda, Para finalizar se presentan los estándares aplicables y las conclusiones de la investigación.

## ***Metodología***

Para la revisión de la documentación se utilizó la metodología de índice, que consiste en iniciar con el desarrollo de un índice tentativo general limitado por los antecedentes del planteamiento específico de la aplicación de femtoceldas para incrementar la capacidad de una red celular, Refinándolo hasta que sea lo suficientemente específico en diferentes categorías o subcategorías (R. Hernández Sampieri, 2010). Bajo el contexto metodológico anterior se encuentra que en la última década la investigación relacionada se ha orientado hacia las áreas de incremento de capacidad del ancho de banda disponible por metro cuadrado en el área de cobertura, la disminución del consumo de energía para brindar el servicio, la forma de superar los problemas de interferencia para diferentes escenarios considerado los casos más críticos en el despliegue de femtoceldas,. Como producto se documenta un artículo de revisión estructurado en la consulta de diferentes fuentes bibliográficas, para sintetizar conocimientos fragmentados en bases de datos como IEEE Xplore, Google Scholar, reportes técnicos en páginas de internet de fabricantes, boletines del Smallcell fórum, Recomendaciones del 3GPP y el 3GPP2, IEEE 802.11 y publicaciones en diferentes congresos sobre el impacto del uso de femtoceldas en la densificación de redes celulares.

Para el análisis de los documentos de esta investigación se revisaron las publicaciones del año 2000 en adelante, por ser a partir de este año donde se presentan la mayor cantidad de publicaciones relacionadas con el uso de femtoceldas y con el ánimo de obtener un mejor contexto histórico de la evolución de esta tecnología, posteriormente se limitó los documentos a los publicados a la última década para tener resultados con mayor afinidad a las redes celulares actuales siguiendo modelo de investigación presentado en la Figura 1.

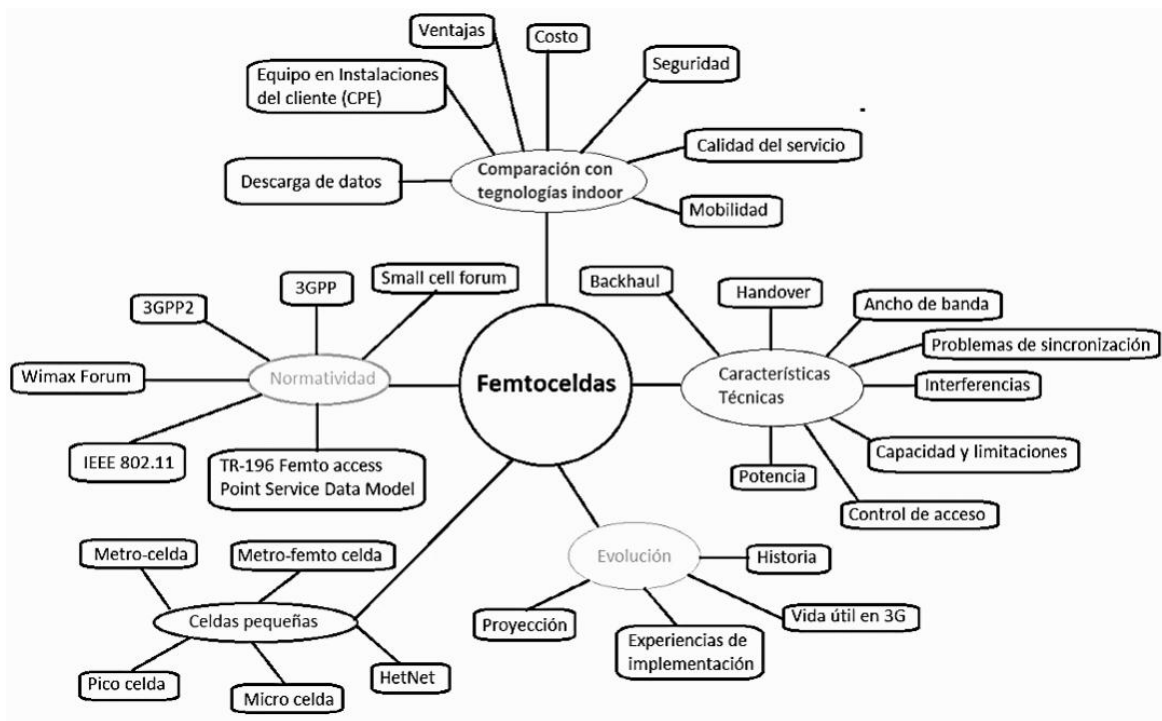


Figura 1. Modelo de la investigación para el desarrollo del estado del arte

## Femtoceldas

La necesidad de implementar alternativas técnicas para mejorar la propagación de las redes celulares en ambientes interiores se identificó con la aparición de la tecnología 3G (Borrill, 2004), el fabricante Huawei llegó a registrar pérdidas de señal 3G de hasta un 35% más altas que en señales 2G debidas al efecto ocasionado por la penetración en las paredes que impacta de forma más significativa a las señales con frecuencias mayores, para ese momento ya se tenía gran interés en garantizar el tráfico inalámbrico en interiores, pues ya representaba el 70% de los ingresos totales de los operadores, por lo tanto las femtoceldas comienzan a despertar el interés de los fabricantes y operadores (Ortiz, 2008). La visión para el uso de femtoceldas al año 2008 era la de lograr una plataforma de convergencia de servicios de TV, Internet, telefonía Fija y Móvil (Huawei, 2009).

El 27 de noviembre del 2008 la compañía Starhub, que ofrece soluciones de comunicaciones en Singapur, lanza “Home Zone” el primer servicio comercial de femtocelulas 3G del mundo, limitado a los primeros 200 usuarios, con un costo de 30\$ al mes, el valor del dispositivo femtocelda no se cargó a los clientes y se establecieron requisitos previos para disfrutar del servicio (Starhub, 2008), los cuales se listan en la Tabla 1.

Tabla 1. Requisitos previos establecidos por StarHub para la operación de Home Zone

Requisitos para el servicio Home Zone	Teléfonos 3G recomendados para disfrutar del servicio	Enrutadores recomendados para usar el servicio
Una tarjeta SIM / USIM Start Hub 3G con plan Star Hub 3G	Apple - iPhone 3G HTC - Diamond, Touch, Touch Diamond, Touch Pro	Belkin - P5612akE
Un teléfono móvil habilitado para 3G Un servicio postpago de banda ancha residencial MaxOnline.	LG - KF700, KS20, KT520, KT610, KU800, KU990, Secreto	D-Link - DI-624
Un puerto disponible en el enrutador doméstico.	Motorola - K3, Pazr2 V9, V6 MWG - Atom V  Nokia - 3120, 6110, 6120, 6500C, 6600S, 6680, 8800, E51, E61, E65, E71, N73, N80, N81, N82, N95  Samsung: F330, G810, i550, i600, i780, i900, InnovZ8, SGH-F500, SGH-P960, SGH-I450, U700, U900, Z720  Sony Ericsson - C702, C902, G900, K600i, K660, K810i, K850i, T650i, W660, W760, W910, W980	Linksys - SWRT54G, WRT54GL, WRT54G, WRT54GC y WCG200 v2  SMC - SMCWBR14S-N2 ZyXEL - P-320e

Para el mismo año el grupo Vodafone anuncio el inicio de pruebas técnicas con femtoceldas en 3G, las cuales se completaron con un piloto implementado en compañía con el fabricante Huawei, sobre un grupo limitado de clientes empresariales, la tecnología se identificó bajo el nombre de Vodafone Access Gateway, el servicio ofrecía descargas de hasta 7.2 Mbps, y para acceder a era necesario registrar los números teléfono en el sitio web de Vodafone, podía registrar hasta 24 números, pero solo 4 tendrían acceso simultaneo a la conexión (Vodafone, 2008). De la misma forma otros operadores y fabricantes inician sus pruebas y despliegues de soluciones femtoceldas, las cuales en un principio contaban con una gran expectativa, puesto que desde el punto de vista teórico el comportamiento de la red celular al implementar femtoceldas debe mejorar sin mayores complicaciones, pero los estudios previos de su aplicación se realizaron asumiendo condiciones ideales de una red de dos niveles de macro y femto celdas o trabajando en las condiciones especiales que brinda un banco de prueba, lo cual es muy diferente a las condiciones reales a las que se enfrenta el

diseño de una red celular, en consecuencia se hicieron predicciones de rendimiento poco confiables (Peng, Li, Li, Zhao, & Xu, Understanding and diagnosing real-world Femtocell performance problems, 2016). En algunas configuraciones comunes de despliegues de femtoceldas los usuarios experimentaron problemas de caídas de llamadas, interrupción del servicio de datos, conectividad inestable y problemas para conectarse con la femtocelda, destacando como principales causas a las ineficientes arquitecturas, las funciones del plano de control y las interferencias con la red macro. Sin embargo, los resultados de las mediciones en redes en funcionamiento con condiciones reales demuestran que las femtoceldas brindan una gran experiencia al usuario en ambientes interiores, particularmente para aquellos ambientes donde la señal de la macrocelda es débil o nula (Peng, Li, Li, Zhao, & Xu, Understanding and diagnosing real-world Femtocell performance problems, 2016).

### **Retos y proyecciones del mercado**

Los operadores a medida que se desarrollan nuevas tecnologías que prometen incrementar las bondades de los servicios prestados por la red celular y soportar la alta demanda de recursos por parte de los usuarios, deben tomar decisiones sobre las modificaciones de su red, estas decisiones pueden orientarse a optimizar la red con la tecnología que se tiene instalada o migrar a una nueva generación, las migraciones totales por lo general son muy costosas (Stanley & Resheff, 1998), por lo que cada vez es más común que se hagan modificaciones parciales, haciendo las redes más heterogéneas, es decir que tienen diferentes niveles de red y diferentes tecnologías ubicadas según la demanda de tráfico (Kamal & Mathai, 2014).

En la búsqueda de la optimización de las redes con el menor costo posible, proyectando soportar el incremento en la demanda de tráfico mientras se espera hasta que la 5G esté completamente disponible y sea asequible, lo cual se prevé sucederá entre los años 2022 a 2025 (Sharma & Singh, 2017), algunos proyectos grandes de migración entraran en espera, por lo que se espera un crecimiento en la instalación de celdas pequeñas como herramienta de aumento de capacidad, la proyección de las actualizaciones e implementaciones para mejorar las capacidades según el entorno estimadas por el small cell forum se muestra en la Figura 2.

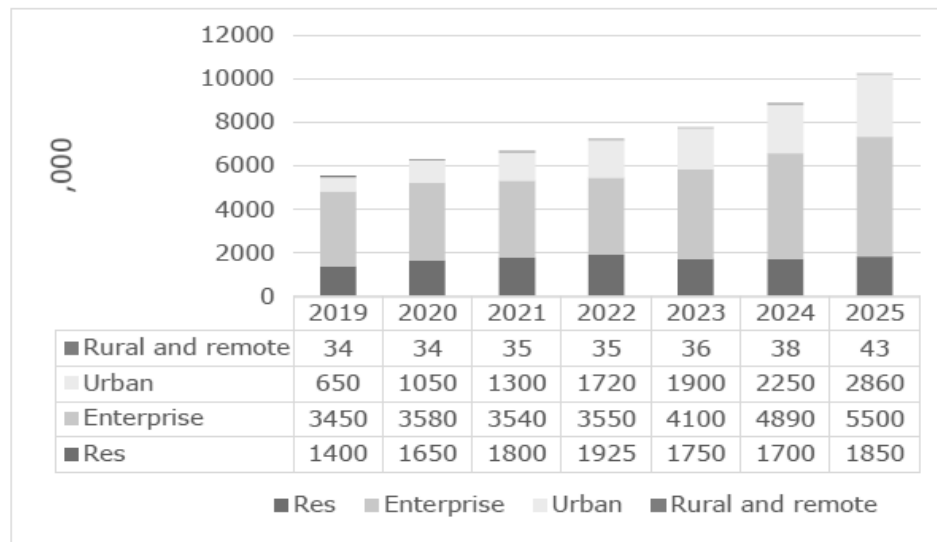


Figura 2. Nuevas implementaciones y actualizaciones por entorno.  
Fuente: (Small Cell Forum, 2018)

Para el 2025 se tendrá una base instalada de 40.2 millones de celdas pequeñas, dentro de las cuales las celdas en ambientes empresariales a los cuales el público tiene acceso, como los centros comerciales, de alguna forma tendrán participación en el soporte de la red pública, puesto que son celdas privadas con acceso libre. Dentro del contexto de la proyección del comportamiento de las implementaciones de las celdas pequeñas como herramientas de aumento de capacidad con costo sostenible, las femtoceldas son un gran aliado del proceso por los bajos costos de inversión, por detalles como que operan en el mismo espectro que la red macro, lo que ahorra el costo de nuevas licencias, el consumo de energía se transfiere al usuario final, no se asumen costos por locaciones y son ideales para los ambientes residenciales y algunos empresariales (Small Cell Forum, 2018).

Los operadores de radio móvil en muchos casos solo implementaran 5G para ubicaciones o aplicaciones seleccionadas y continuaran agregando 4G en otros lugares, sin embargo, continuarán sosteniendo los despliegues de tecnologías anteriores según los criterios que determinen que su operación es competente, según esto el small cell fórum prevé una implementación de celdas pequeñas clasificadas por tecnología de radio como se muestra en la Figura 3.

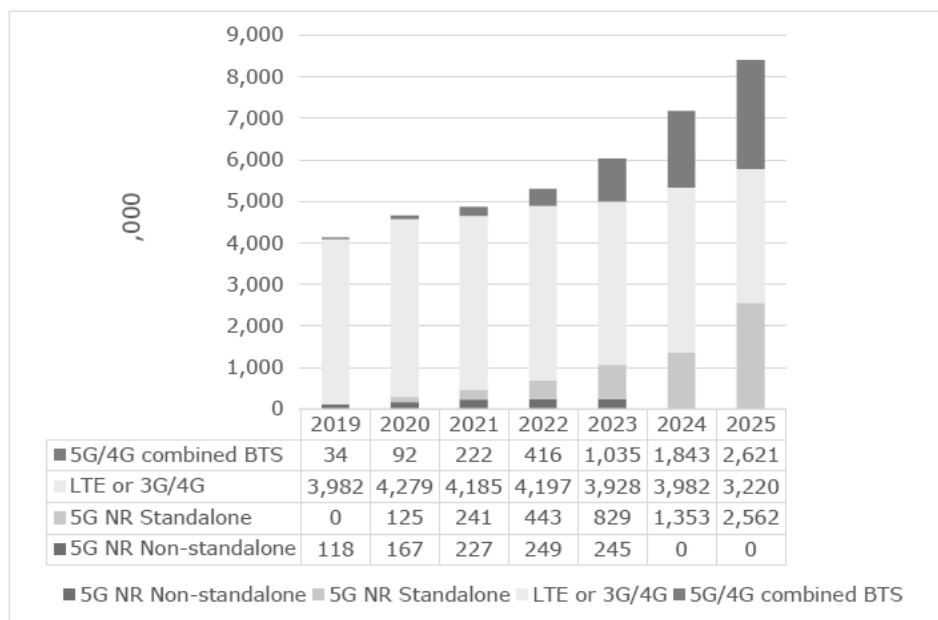


Figura 3. Nuevas implementaciones y actualizaciones de celdas pequeñas por tecnología de radio 2019-2025. Fuente: (Small Cell Forum, 2018)

La tendencia al incremento en la demanda de capacidad de las redes de comunicación es evidente no solo para las redes celulares, puesto que las suscripciones de banda ancha fija para acceso de alta velocidad a internet público (conexiones TCP/IP) con velocidades iguales o superiores a 256 kbit/s, incluyendo módem por cable, fibra hasta el hogar u oficina, DSL, banda ancha satelital y banda ancha inalámbrica terrestre fija, han incrementado año con año de forma significativa, pasando de 37.086.644 millones de suscripciones a nivel mundial en el año 2001 a 1.025.000.000 millones de suscriptores en el año 2017; En el mismo periodo de tiempo las suscripciones a telefonía móvil celular pasaron de 960.982.997 a 7.764.000.000 (Banco mundial, 2018). Esta tendencia ratifica un incremento en la demanda de recursos de datos en interiores y un mayor crecimiento de suscriptores de telefonía móvil. El GSMA que representa los intereses de más de 750 empresas del sector a nivel global, con la participación de más de 350 compañías en el ecosistema de las comunicaciones móviles, incluyendo fabricantes de dispositivos, compañías de software, proveedores de equipos y compañías de internet, así como organizaciones en sectores industriales adyacentes; Presenta una visión del comportamiento de las redes de comunicación celular clasificada por el porcentaje y tipo de tecnología que se espera aún se encuentre en vigencia en los diferentes sectores del planeta (GSMA Association, 2019). Esta información se recopila en la Tabla 2.

La población tiende a migrar hacia centros urbanos incrementando la cantidad de usuarios potenciales que se encuentran en lo que para una red celular sería su área de cobertura, lo que hace necesario una planeación inteligente del despliegue de la tecnología (Chen, Makki, Yen, & Pissinou, 2007), considerando que la tendencia es hacia la construcción de edificios que representan un problema para la propagación de las ondas de radio en exteriores y garantizar la penetración de la señal dentro de los mismos incrementar la potencia en el transmisor. Para lugares con una proyección de densidad de población alta, la cobertura tradicional con una macrocelda puede llegar a no ser suficiente, porque los limitados recursos tendrían que distribuirse entre muchas personas, es decir, que el espectro autorizado tendría que repartirse entre las personas que están demandando una conexión en el área de cobertura, lo cual, no sería posible en el momento que la cantidad de usuarios supere la cantidad de canales disponibles (Hidayat, Permana, Ridwany, & Iskandar, 2018).

Tabla 2. Cobertura por generación y zona geográfica en 2018 y proyección a 2025

Escenario		Porcentaje de cobertura			
		2G	3G	4G	5G
Mundial	2018	29	28	43	0
	2025	5	21	59	15
Asia y Pacífico	2018	34	21	45	0
	2025	5	13	67	15
Comunidad de estados independientes CIS	2018	36	45	19	0
	2025	2	18	68	12
Europa	2018	18	36	18	0
	2025	1	7	63	29
América Latina	2018	26	39	35	0
	2025	5	21	65	8
Medio Oriente y el Norte de África	2018	37	40	23	0
	2025	2	7	44	47
Norte América	2018	9	21	69	0
	2025	2	7	44	47
Sub Saharan África	2018	59	35	6	0
	2025	14	59	24	3

Para mejorar el servicio en subáreas de una zona de cobertura con alto incremento de subscriptores y aumento en la demanda de ancho de banda, se pueden usar celdas pequeñas que reutilicen los mismos canales que la macrocelda, permitiendo que haya más de un usuario por canal accediendo simultáneamente a los servicios de la red celular (Chae, Kim, Alem, Durrani, & Kennedy, 2014). Un ejemplo de este tipo de situaciones es la construcción de un

edificio de oficinas en una zona que al momento de haber dimensionado la red celular era considerada de uso residencial.

Las celdas pequeñas se utilizan en áreas específicas dentro de la zona de cobertura que son identificadas como de alta demanda de tráfico, en la Figura 3. Se presenta el escenario de brindar cobertura a una zona con alta densidad de personas con una macrocelda y para la misma área un despliegue de cobertura con macrocelda en exteriores y femtoceldas en interiores, este tipo diseños de red de dos niveles podrían brindar todos los recursos necesarios para cubrir las necesidades que se han identificado como propias de los usuarios dentro del mercado de las comunicaciones móviles, garantizando la calidad y seguridad de la conexión, sin necesidad de migrar la red a la siguiente generación tecnológica, esto si se superan los desafíos técnicos y comerciales de su implementación, como el control de interferencias, arquitecturas de red eficientes y disponibilidad de conexiones para el adecuado Backhaul (Chandrasekhar, Andrews, & Gatherer, 2008).

Dentro de la proyección de la evolución del mercado global de las telecomunicaciones se puede evidenciar que en el camino a la 5G existirá una alta convivencia en las redes entre las tecnologías 3G y 4G, para zonas urbanas, especialmente en mercados donde la diversidad de políticas de evolución tecnológica y la situación económica de los países retrasaran un poco la llegada del 5G (Politis, 2015).



Figura 3. Cobertura en zona urbana con macrocelda y con dos niveles de macro y femtoceldas.



Las femtoceldas son una opción con alto potencial para densificar las redes sin hacer altas inversiones (Akhter, Islam, & Amin, 2016). En el caso de Latino América y el caribe que tienen amplio margen de diferencia en la penetración de subscriptores móviles por país, el crecimiento estimado para el 2025, le ubica como una zona con un alto potencial, esperando que alcance a tener el 10% de los nuevos subscriptores a nivel mundial, donde se prevé que el mayor aporte lo harán los mercados de Brasil, México y Colombia, estimando un 74% de penetración, lo que le acercaría a los mercados más desarrollados con porcentaje de penetración de subscriptores móviles de 86%. Esto significa que se espera pasar de 442 millones en 2018 a 517 millones de subscriptores móviles en 2025 (GSMA, 2018). Lo que se convierte en un reto para los operadores, que deben decidir como optimizar sus redes para un servicio alineado con la demanda de tráfico y la tendencia de incremento de usuarios proyectados. Teniendo en cuenta la planeación de la asignación de espectro por parte de los diferentes gobiernos de la zona (Yang, 2011).

Una forma de incrementar la capacidad de las redes móviles de un país es la asignación de nuevo espectro, porque permite incrementar la capacidad de la red instalada sin lidiar con los tramites como autorizaciones de nuevos despliegues y los costos asociados a modificar la infraestructura de la red existente para mejorar la cobertura. Por otro lado, al tener nuevo espectro asignado los operadores justifican la inversión en nuevos despliegues, migrando a nuevas tecnologías que exploten de manera más eficiente este recurso y permiten una recuperación más rápida de la inversión (Shafi, Milner, Barry, & Gardenier, 2002). Pero la asignación de espectro es un proceso que involucra muchos intereses y es una decisión que los gobiernos toman en base al comportamiento macroeconómico de la región a la cual pertenecen, lanzar licitaciones de espectro en momentos donde existe una crisis económica puede llevar a obtener ofertas muy bajas o la no participación en el proceso, sin embargo el aplazamiento en la asignación de licencias para la explotación del espectro afecta el crecimiento del mercado por no tener flujo de inversión, ya que los operadores no invierten en los nuevos despliegues, costos de operación, marketing y demás costos relacionados. Para el caso de América Latina la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) recomendó que para la correcta evolución de las comunicaciones móviles de la región para el año 2015 se debía tener una asignación de espectro de 1300 MHz, pero al primer trimestre del año 2016 solo se tenían asignados en promedio 330MHz de espectro en la región, lo que representa el 25,38 % de lo recomendado (5G Américas, 2019).

La densificación de las redes con el uso de celdas pequeñas permite incrementar los recursos en las zonas de mayor interés, sin la necesidad de adquirir nuevo espectro ni modificar de forma significativa el despliegue. Pero este proceso también debe enfrentar desafíos para su éxito, en la Tabla 3. Se listan los que según el small cell fórum son los diez factores principales que los operadores a nivel global consideran pueden acelerar o ralentizar

el proceso de densificación redes, estos son diferentes para interiores y exteriores (Small Cell Forum, 2018).

Tabla 3. Diez Principales factores que se deben trabajar para lograr densificar las redes celulares.

Ambientes interiores empresariales	Ambientes exteriores
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menores costos de operación.</li> <li>• Marco de referencia claro para compartir riesgos y costos entre operador y empresa.</li> <li>• Retorno de inversión ROI definido.</li> <li>• Automatizado o subcontratado de operaciones de red.</li> <li>• Despliegue plug-and-play.</li> <li>• Espectro compartido.</li> <li>• Bajo costo de Backhaul.</li> <li>• Profunda integración con WiFi.</li> <li>• Baja inversión en equipos (CAPEX).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceso a locaciones.</li> <li>• Bajos costos de operación.</li> <li>• Proceso estándar de aprobación.</li> <li>• Backhaul asequible.</li> <li>• Costos compartidos de la implementación (con otros operadores o con la ciudad).</li> <li>• Proceso de implementación plug-and-play.</li> <li>• Espectro asequible o compartido.</li> <li>• Operaciones subcontratadas.</li> <li>• Baja inversión en equipos (Capex).</li> </ul>

### Características técnicas.

Las celdas de una red celular pueden ser de diferentes tamaños y capacidades, las características de esta dependen de su aplicación, del tipo de entorno y de la demanda de tráfico por unidad de área, en la Tabla 4. Se listan las características más relevantes de cada tipo de celda (M.Tech (student), 2016).

Una femtocelda es una estación base de bajo rango que generalmente tienen una potencia de salida inferior a 0,1 vatios, diseñada para ser usada en ambientes indoor. Se comunica con el teléfono móvil en la misma banda de frecuencias asignadas a la red celular y convierte las llamadas de voz en paquetes de voz sobre IP (VoIP), tiene la capacidad de sostener menos de diez llamadas simultáneas. Los paquetes se transmiten al proveedor de servicios por medio de una conexión de banda ancha como DSL, cable y fibra óptica (Small Cell Forum, 2014).

Tabla 4. Tipos de celdas.

	Femtocelda	Macrocela	Picocelda	Microcela
Aplicación principal	Áreas residenciales indoor	Áreas grandes en exteriores	Interiores y exteriores	Áreas de mediana cobertura
Rango	Hasta 30 metros	5 Km	100 metros a 1 kilómetro	3 kilómetros
Sectores	1	3	1	3
Número de usuarios por sector	>10	>200	De 10 a 50	Más de 200
Potencia de salida RF	100mW	10W	500mW	4W
Tipo de despliegue	Indoors	Outdoor	Outdoor/indoor	Outdoor
Costo	Muy bajo	Alto	Medio/bajo	Medio/alto
Tipo de escenarios	Hogar u oficina	Rural o residencial	Aeropuertos, estadios,	Residencial rural
Modo de acceso	Abierto/cerrado	Abierto	Abierto	Abierto

Aumentar la densidad de una celda con ayuda de femtoceldas, significa que se instalan varios FAB (Femtocell Base Station) en la zona de cobertura de la macrocela, los cuales brindaran todo el espectro licenciado en su pequeña área de cobertura en interiores, reutilizándolo en su totalidad en cada uno de estos, lo que se traduce en un incremento de la eficiencia de la red (Luis, 2009).

Las ventajas de usar femtoceldas para densificar una red se pueden evidenciar de diferentes formas, una de ellas es analizando las pérdidas por propagación en el canal que se pueden estimar usando un modelo de propagación (sin desvanecimiento) con la ecuación 1 (Chandrasekhar, Andrews, & Gatherer, 2008).

$$L = Ad^{-\alpha}; \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

A: Es la constante de pérdidas fijas.

d: Es la distancia entre transmisor y receptor.

$\alpha$  : Exponente de pérdidas del canal.

Si en una misma área de cobertura de  $L_M^2$ , se supone un objetivo de potencia de recepción fija y se analiza la cantidad de potencia necesaria para brindar el servicio con una macrocelda y luego con N femtoceldas. Se puede apreciar una disminución en el consumo de energía para el segundo caso.

Basados en el modelo para estimar las pérdidas descrito por la ecuación 1, se puede decir que la potencia en el receptor en función de la distancia al transmisor para cada caso sería:

$$P_{RX_F}(L_F) = P_{TX_F}AL_F^{-\beta}; \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$P_{RX_M}(L_M) = P_{TX_M}AL_M^{-\alpha}; \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$P_{RX_F}(L_F)$ : Potencia en el receptor conectado a la femtocelda a la distancia  $L_F$ .

$P_{TX_F}$ : Potencia de transmisión de la femtocelda.

$P_{RX_M}(L_M)$ : Potencia en el receptor conectado a la macrocelda a la distancia  $L_M$ .

$P_{TX_M}$ : Potencia de transmisión de la macrocelda.

A: Es la constante de pérdidas fijas.

$\alpha$  : Exponente de pérdidas del canal en exteriores.

$\beta$ : Exponente de pérdidas del canal en interiores.

La diferencia entre la potencia necesaria para brindar cobertura por la macrocelda y por las N femtoceldas en la misma área se puede estimar con.

$$\Delta P_{T(M-F)} = P_{RX_M}AL_M^\alpha - P_{RX_F}AL_F^\beta; \quad (\text{Ecuación 4})$$

Considerando una geometría cuadrada y que las N femtoceldas deben cubrir la misma área que la cubierta por la macrocelda, la distancia  $L_F$  será una fracción de la distancia  $L_M$ , que se puede calcular con la ecuación 5:

$$L_F = \frac{L_M}{\sqrt{N}}; \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde;

$L_F$ : Es la distancia desde la FAB hasta el borde de su zona de cobertura.

$L_M$ : Es la distancia desde la antena de la macrocelda, hasta el borde de la zona de cobertura de la macrocelda.

$N$  : Número de femtoceldas necesarias para brindar cobertura a la misma área que la macrocelda.

Ahora, expresando la ecuación 4 en decibelios.

$$[\Delta P_{T(M-F)}]_{dB} = 10 \text{Log} P_{RX_M} A L_M^\alpha - 10 \text{Log} P_{RX_F} A L_F^\beta; \quad (\text{Ecuación 6})$$

Remplazando la ecuación 5 en 6 y simplificando:

$$[\Delta P_{T(M-F)}]_{dB} = 10(\alpha - \beta) \log L_M + 5\beta \text{Log} N; \quad (\text{Ecuación 7})$$

Para un caso hipotético en el cual los exponentes de pérdidas se consideren  $\alpha = \beta = 4$ , y el área de cobertura de la macrocelda sea de  $4.000.000 \text{ m}^2$ , es decir que:  $L_M = 2000$  metros y al momento de remplazar la macrocelda por femtoceldas sean necesaria  $N = 121$  FAB para brindar servicio a la misma área, el ahorro en potencia de transmisión al usar femtoceldas sería de 52 dB, si para el mismo caso se considera que exponente de pérdidas en interiores es menor, es decir:  $\alpha = 4$  y  $\beta = 2$ , el ahorro en potencia de transmisión sería de 86.84 dB.

La propagación de las ondas de radio por el canal inalámbrico debe superar los fenómenos físicos que ocasionan las pérdidas de trayectoria, dispersión, reflexión y absorción, entre otros (Cadavid, Ibarra, & Rojas, 2014). Estos fenómenos se presentan de forma diferente según el entorno en el cual se propague la onda de radio, por lo que la degradación de la señal se puede estimar con la ayuda de diferentes modelos de propagación, los cuales se han desarrollado para cada uno de los cuatros entornos en los que se han clasificado las áreas de cobertura de una red celular, denominadas en: interior de hogar o edificios (indoor), zonas urbanas, suburbanas y rural (Xirio online, s.f.).

Los modelos se han desarrollado por medio de métodos empíricos, semi - empíricos y probabilísticos (t.sadiki & Paimblanc, 2009) . Representan de manera simplificada la realidad, por medio de la consideración de algunas restricciones e hipótesis, su clasificación no solo se hace por la aplicación o el entorno para el cual se diseñaron, también se pueden categorizar por el método empleado para su desarrollo, dentro de este contexto se pueden

diferenciar seis tipos de modelos: Matemáticos, empíricos o estadísticos, teóricos, deterministas, estocásticos y de caja negra. En cada categoría a lo largo de la historia se han desarrollado varios modelos que han sido utilizados, alcanzando diferentes niveles de aceptación en base a los resultados obtenidos (n. Yusuf, 2015). En la Tabla 5 se listan los métodos con mayor aplicación para el cálculo de radio enlaces basados en modelos de propagación siguiendo las recomendaciones internacionales para los diferentes tipos de entornos y frecuencias (Xirio online, s.f.).

Tabla 5. Modelos de propagación más utilizados en diseños de enlaces de radio

Método	Tipo	Aplicación
Rec. UIT-R P.526	Determinístico basado en difracción.	$F > 30$ MHz, entornos rurales, requiere cartografía.
Deygout.	Determinístico basado en difracción.	$F > 30$ MHz, entornos rurales, requiere cartografía.
Línea de vista.	Ideal	Escenario sin obstrucciones físicas y la propagación en línea recta. Todas las frecuencia.
Rec. UIT-R P.1546.	Empírico	Frecuencias entre 30MHz a 1GHz, entornos rurales, para cualquier tipo de radiodifusión.
Okumura-Hata	Empírico	Frecuencias entre 150MHz y 2 GHz, servicios móviles y acceso banda ancha, entornos rurales y urbanos.
Okumura-Hata modulado.	Híbrido	Frecuencias entre 150MHz y 2 GHz, versión mejorada del Okumura Hata.
Xia-Bertoni.	Determinístico	Frecuencias entre 800MHz y 2GHz, entornos urbanos en servicios móviles y acceso de banda ancha.
Rec. UIT-R P.1411	Determinístico	Frecuencias entre 800MHz y 5GHz, entornos, requiere cartografía e información de edificios.
COST 231	Determinístico	Frecuencias entre 800MHz y 2GHz, entornos urbanos en servicios móviles, requiere cartografía e información de edificios.
Stanford University Interim.	Empírico	$F < 11$ GHz, servicios móviles y acceso de banda ancha (especialmente WIMAX)
Rec. UIT-R P.1812	Determinístico	Frecuencias de 30MHz a 3GHz, Rurales y mixtos.

Método	Tipo	Aplicación
Rec. UIT-R P.452.	Determinístico	Frecuencias de 700MHz a 50 GHz, interferencias en radioenlaces de servicio fijo.
Rec. UIT-R P.530	Determinístico	F > 30 MHz
Curvas de superficie.	Empírico	F < 30 MHz
Método Indoor.	Semi - empírico	Compatible con escenarios de propagación indoor-outdoor, outdoor-indoor y entre diferentes plantas
Rec. UIT-R P.528.	Empírico	Frecuencias entre 125 MHz y 15,5 GHz, Servicio móvil aeronautico
Rec. UIT-R P.1147.	Empírico	Frecuencias entre 150 KHz y 1700 KHz, longitudes entre 50 y 12000m.
Rec. UIT-R P.533	Empírico	Predicción de frecuencias disponibles.

Las WLAN se rigen por estándares dentro de los cuales el más destacado es el IEEE 802.11, otros con relevancia son el HyperLAN y HomeRF (Welotec, s.f.). El estándar IEEE 802.11 se divide en dos capas principales: la capa MAC o Media Access Control layer y la capa PHY o Physical Layer (IEEE org, 2019). Estas dos capas permiten una separación funcional del estándar y lo que es más importante, permiten utilizar un único protocolo de datos con varias técnicas de transmisión de RF diferentes. Existen tres técnicas básicas de transmisión: espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) (Ramírez, 2013), espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) e infrarrojo difuso (unefacursodecomunicaciones).

Los principales estándares son: 802.11b (802.11HR) usando DSSS a 2.4 GHz con velocidades de datos de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps; 802.11g usando OFDM a 2.4 GHz con velocidades de datos de 1, 2, 5.5, 11 y 22 Mbps; 802.11a usando OFDM en la banda de 5 GHz con velocidades de datos de 6, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps y HiperLAN2 usando OFDM en las bandas de 5.15-5.35 GHz y 5.725-5.825 GHz, que es similar a la 802.11a PHY solo con diferentes códigos de convolución (Sadiki & Paimblanc, 2009).

Para modelar el comportamiento de las pérdidas de la señal de radio propagada en interiores se debe considerar qué según las características de la señal, esta debe cumplir con un tipo de estándar y su comportamiento se verá afectado de forma diferente para las diversas frecuencias en factores como: pérdidas de espacio libre, atenuación por los objetos en el camino, la dispersión y la interferencia (International Telecommunication Union, 2017). Para la adecuada predicción del comportamiento de las ondas de radio la UIT-R recomienda los métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones en interiores y redes radioeléctricas de área local en el documento UIT-R P.1238-9, se obtiene una

orientación sobre la propagación en interiores en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz y se brinda información sobre los modelos de pérdidas de trayecto, dispersión del retardo, efectos del diagrama de radiación de antena y su polarización, efectos de la ubicación, materiales de la construcción y de la movilidad de personas y objetos en interiores. De igual forma en la UIT-R P.1411 (International Telecommunication Union, 2017), se ofrecen directivas sobre la propagación en exteriores de corto alcance en el mismo rango de frecuencias y se recomienda su consulta en situaciones donde se tenga propagación en interiores y exteriores, si se desea tener una directriz más precisa sobre el efecto de los materiales y estructuras de construcción se puede revisar el documento UIT-R P.2040 (International Telecommunication Union, 2015).

Para un sistema celular es importante considerar la interferencia, que se encuentra conformada por toda aquella transmisión que se realiza en la misma frecuencia del canal asignado y que no forma parte del enlace entre la estación base y el usuario móvil, pero si está dentro del área de cobertura. Su existencia limita el rendimiento de la red, las fuentes que la producen son varias, pero la más relevante es la denominada co-canal, la cual, es consecuencia del reuso de frecuencias y depende de la distancia entre dos celdas que utilizan los mismos canales, el valor mínimo de esta distancia se denomina distancia de reuso, cuando se habla de emplear femtoceldas se pretende que los canales usados por la red macrocelda sean reutilizados por el FAB, pero debido a que este se encuentra en la misma zona de cobertura de la macrocelda se presentan diferentes escenarios donde la interferencia co-canal, entre los dos niveles de la red macro y femto afecta la prestación del servicio. De igual forma ocurre cuando se superponen las huellas de dos femtoceldas, que usan los mismos canales y se encuentran muy cerca entre sí (Aguero & Muñoz).

Las femtoceldas si son una alternativa competitiva para permitir la densificación de la red celular con un bajo costo de inversión y de operación, pero requieren una adecuada planeación para disminuir los riesgos de tener interferencia co-canal y co-nivel. La aplicación de este tipo de soluciones se presentó como una alternativa para solucionar los problemas de penetración asociados a los diseños de redes de tercera generación, pero pueden implementarse en la cuarta generación de tecnologías celulares para focalizar los recursos de la red sin hacer inversiones muy significativas mientras se espera que la tecnología 5G este suficientemente madura y el mercado permita una recuperación rápida de las inversiones asociadas a una migración de 3G y 4G hacia 5G.

La asignación de espectro a los diferentes mercados se ve afectada por la situación macroeconómica, por lo tanto en sectores como Latinoamérica, los operadores pronostican una migración lenta hacia las nuevas generaciones tecnológicas, retrasando la implementación de 4G y 5G, esto no impide que el mercado tenga una creciente demanda de



mayores recursos de conexión inalámbrica, lo que genera un escenario de oportunidad para la implementación de soluciones femtocelda, para focalizar los recursos de la red de forma económicamente prudente en las zonas con mayor demanda, optimizando el servicio y mejorando la experiencia de los clientes.

Existe las herramientas para el diseño de redes de dos niveles macro y femto, así como las recomendaciones para el correcto aprovechamiento de todo su potencial, desde modelos matemáticos que permiten simular la propagación de las ondas en interiores y exteriores, hasta recomendaciones de la ITU que permiten una predicción adecuada de los escenarios que representan un mayor riesgo a la hora de prestar los servicios con dos niveles de red que compartan el espectro.

Uno de los temas asociados a la implementación de femtoceldas que afecta de forma significativa su aceptación en el mercado es el que requieran una conexión de internet de banda ancha para el Bachaul de la red, ya que esta conexión en principio se pretendía que fuese pagada por las personas propietarias del inmueble donde se ofrecía el servicio, esto género que los usuarios prefirieran que el acceso a su red inalámbrica fuese cerrado, impidiendo que personas no autorizadas tuvieran acceso a su femtocelda, lo que obligaba al usuario no autorizado a conectarse a la red macro aún cuando la potencia de la señal de esta no fuese la más adecuada. Para lograr aprovechar al máximo las ventajas asociadas al uso de femtoceldas en las redes celulares es preferible que se ofrezcan planes promocionales al usuario propietario del inmueble para que permita que su femtocelda sea de acceso cerrado, dejando de esta forma a disposición de la red la asignación de canales en base a los requerimientos mínimos de calidad de conexión que se espera brindar al usuario.

## ***Agradecimientos***

Este producto forma parte de la investigación realizada para el trabajo de grado de la maestría en telecomunicaciones móviles de la Universidad Distrital Francisco De Paula Santander.

## ***Referencias***

- 5G Américas. (Agosto de 2019). 5GAmericas. Obtenido de 5GAmericas: <https://brechacero.com/wp-content/uploads/2019/08/ES-Analisis-de-las-Recomendaciones-de-Espectro-de-la-UIT-en-America-Latina-2019-vf.pdf>
- Aguero, R., & Muñoz, L. (s.f.). UNICAN. Obtenido de UNICAN: [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/301/course/section/239/tema\\_04.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/301/course/section/239/tema_04.pdf)

- Akhter, J., Islam, M. I., & Amin, M. R. (2016). *Traffic modelling of low dense femtocellular network*. 2016 9th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE) (págs. 74-77). Dhaka, Bangladesh: IEEE Xplore.
- Banco mundial. (2018). *Suscripciones a banda ancha fija (por cada 100 personas)*. Banco mundial. Obtenido de bancomundial.
- Bao, N. K., Joung, S., & Park, M. (2015). *A New Access Mode for Femtocells in 5G Networks*. 2015 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC) (págs. 1-3). Jeju, South Korea: IEEE Xplore.
- Borrill, J. (2004). *Applications testing for third generation handsets, methods to ensure fast and reliable introduction of new 3G services to the consumer*. Fifth IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies (pág. 17). London, UK, UK: IEEE Xplore.
- Cadavid, A. N., Ibarra, D. G., & Rojas, J. G. (2014). *Modelado de canal inalámbrico empleando técnicas de trazado de rayos: Una revisión sistemática*. Revista S&T, 87-101.
- Chae, D. H., Kim, N. H., Alem, Y. F., Durrani, S., & Kennedy, R. A. (2014). *Dynamic Fractional Frequency Reuse Method for Self-Organizing Smallcell Network*. 2014 IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). Seoul, South Korea: IEEE.
- Chandrasekhar, V., Andrews, J. G., & Gatherer, A. (2008). *Femtocell networks: a survey*. IEEE Communications Magazine ( Volume: 46 , Issue: 9 , September 2008 ), 59-67.
- Chen, X., Makki, K., Yen, K., & Pissinou, N. (2007). *A New Network Topology Evolution Generator Based on Traffic Increase and Distribution Model*. Sixth International Conference on Networking (ICN'07). Martinique, France: IEEE Xplore.
- Chowdhury, M. Z., Trung, B. M., & Jang, Y. M. (2011). *Neighbor Cell List Optimization for Femtocell-to-Femtocell Handover in Dense Femtocellular Networks*. 2011 Tercera Conferencia Internacional sobre Redes Ubicuas y Futuras (ICUFN) (págs. 1-5). Dalian, China: IEEE Xplore.
- CISCO. (18 de Febrero de 2019). CISCO. Obtenido de CISCO: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.html>
- Cisco Visual Networking. (Febrero de 2019). Cisco. Obtenido de Cisco: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.html>
- Germano, A., & Chairman, V. (2009). *The Impact of Femtocells on Next Generation Mobile Networks*. 4ª Conferencia IET sobre Redes de Próxima Generación 2009 (págs. 5-7). Londres, Reino Unido: IEEE Xplore.

- GSMA. (4 de Diciembre de 2018). GSMA. Obtenido de GSMA: <https://www.gsma.com/latinamerica/resources/the-mobile-economy-latin-america-and-the-caribbean-2018/>
- GSMA Association. (2019). GSMA. Obtenido de GSMA: <https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=b9a6e6202ee1d5f787cfebb95d3639c5&download>
- Hidayat, H., Permana, A. K., Ridwany, I., & Iskandar. (2018). *Cell capacity prediction with traffic load effect for soft frequency reuse (SFR) technique in LTE — A network*. 2017 11th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA). Lombok, Indonesia: IEEE.
- Huawei. (2009). *Compact, versatile, converged: here is femtocell*". España: Huawei.
- IEEE org. (11 de 9 de 2019). IEEE802. Obtenido de IEEE802.11: <http://www.ieee802.org/11/>
- International Telecommunication Union. (7 de 2015). itu. Obtenido de itu: [www.itu.int/rec/R-R](http://www.itu.int/rec/R-R)
- International Telecommunication Union. (2017). ITU. Obtenido de ITU: [www.itu.int](http://www.itu.int)
- International Telecommunication Union. (6 de 2017). ITU. Obtenido de ITU: [www.itu.int](http://www.itu.int)
- Kamal, A., & Mathai, V. (2014). *A novel cell selection method for LTE HetNet*. 2014 International Conference on Communication and Signal Processing (págs. 738-742). Melmaruvathur, India: IEEE Xplore.
- Kang, S. B., Seo, Y. M., Lee, Y. K., Chowdhury, M. Z., Ko, W. S., Irlam, M. N., . . . Jang, a. Y. (2008). *Soft QoS-based GAG Scheme for WCDMA Femtocell Networks*. 2008 10th International Conference on Advanced Communication Technology (págs. 409-412). Gangwon-Do, South Korea: IEEE Xplore.
- L, M. S., R, D. d., A, G. E., L, C. A., & R, H. A. (2012). *Universidad del rosario*. Bogotá: Universidad del Rosario. Obtenido de urosario.
- Lotfollahzadeh, T., Kabiri, S., Kalbkhani, H., & Shayesteh, M. G. (2016). *Femtocell base station clustering and logistic smooth transition autoregressive-based predicted signal-to-interference-plus-noise ratio for performance improvement of two-tier macro/femtocell networks*. *The Institution of Engineering and Technology*, 1-11.
- Luis, C. O. (2009). *MODELO DE COBERTURA PARA REDES INALAMBRICAS EN INTERIORES*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. Obtenido de e-reding trabajos y proyectos fin de estudio de la E.T.S.I.
- M, V. R., Jayarekha, D. P., Masali, S., & K, B. D. (2015). *Effective Algorithm to Minimize Target FAPs during Hand-in and Hand-off for 3GPP-LTE Femtocell Network*. 2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC) (págs. 1-6). Bangalore, India: IEEE Xplore.

- M.Tech (student), D. o. (2016). *FEMTO CELL: HISTORY, TECHNICAL ISSUES AND CHALLENGES*. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* , 2710-2717.
- N. Khac Bao, S. J. (2015). *A New Access Mode for Femtocells in 5G Networks*. 2015 *Conferencia Internacional sobre Convergencia de Tecnologías de Información y Comunicación (ICTC)*. Jeju, Corea del Sur: IEEE .
- n. Yusuf, e. a. (2015). *Distributed FFR as the Novelty Solution Integration Femtocell and Macrocell Network*. *Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile* (págs. 218-222). IEEE.
- Ortiz, S. (2008). *The Wireless Industry Begins to Embrace Femtocells*. *Computer* ( Volume: 41 , Issue: 7 , July 2008 ), 14-17.
- Peng, C., Li, Y., Li, Z., Zhao, J., & Xu, J. (2016). *Understanding and diagnosing real-world Femtocell performance problems*. *IEEE INFOCOM 2016 - The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications* (pág. 9). San Francisco, CA, USA: IEEE.
- Peng, C., Li, Y., Li, Z., Zhao, J., & Xu, J. (2016). *Understanding and diagnosing real-world Femtocell performance problems*. *IEEE INFOCOM 2016 - The 35th Annual IEEE International Conference on Computer Communications* (págs. 1-3). San Francisco, CA, USA: IEEE Xplore.
- Politis, C. (2015). *5G - on the count of three ... .. paradigm shifts*. *5G Radio Technology Seminar. Exploring Technical Challenges in the Emerging 5G Ecosystem*. London, UK: IEEE Xplore.
- Quintana, F. Z. (2016). *Redes heterogéneas y virtualización para incrementar la capacidad de las redes móviles*. *Telemática*, 47-61.
- R. Hernández Sampieri, C. F. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mac Graw Hill.
- Ramírez, A. (2013). *Espectro Ensanchado por Saltos de Frecuencia para la Transmisión de Información por Líneas de Potencia*. *UTP*, 225-232.
- Sadiki, T., & Paimblanc, P. (2009). *Modelling new indoor propagation models for WLAN based on empirical result*. *11th International Conference on Computer Modelling and Simulation*.
- SmallCell Forum. (1 de 12 de 2013). *Smallcellforum*. Obtenido de Smallcellforum: [http://scf.io/en/documents/002\\_Regulatory\\_aspects\\_of\\_femtocells.php](http://scf.io/en/documents/002_Regulatory_aspects_of_femtocells.php)
- Shafi, M., Milner, M., Barry, P., & Gardener, P. (2002). *Experience with spectrum tendering in New Zealand*. [1991 Proceedings] *41st IEEE Vehicular Technology Conference* (págs. 725-729). St. Louis, MO, USA, USA: IEEE.

- Sharma, S., & Singh, B. (2017). *5G networks: The next gen evolution*. 2016 International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC) (págs. 55-60). Noida, India: IEEE Xplore.
- Small Cell Forum. (25 de Febrero de 2014). *Smallcellforum*. Obtenido de *Smallcellforum*: [http://scf.io/en/documents/003\\_Interference\\_management\\_in\\_UMTS\\_femtocells\\_high-band.php](http://scf.io/en/documents/003_Interference_management_in_UMTS_femtocells_high-band.php)
- Small cell forum. (13 de 2 de 2015). *Smallcellforum*. Obtenido de *Smallcellforum*: [http://scf.io/en/documents/007\\_Wireless\\_in\\_the\\_home\\_office\\_the\\_need\\_for\\_both\\_3\\_G\\_femtocells\\_and\\_Wi-Fi\\_access\\_points.php](http://scf.io/en/documents/007_Wireless_in_the_home_office_the_need_for_both_3_G_femtocells_and_Wi-Fi_access_points.php)
- Small Cell Forum. (13 de 2 de 2015). *Smallcellforum*. Obtenido de *Smallcellforum*: [http://scf.io/en/documents/005\\_Femtocell\\_business\\_case\\_-\\_Signals\\_Research.php](http://scf.io/en/documents/005_Femtocell_business_case_-_Signals_Research.php)
- Small Cell Forum. (3 de 12 de 2018). *Smallcellforum*. Obtenido de *Smallcellforum*: [http://scf.io/en/documents/050\\_-\\_Small\\_cells\\_market\\_status\\_report\\_December\\_2018.php](http://scf.io/en/documents/050_-_Small_cells_market_status_report_December_2018.php)
- SmallCell Forum. (1 de 12 de 2013). *Smallcellforum*. Obtenido de *Smallcellforum*: [http://scf.io/en/documents/007\\_Wireless\\_in\\_the\\_home\\_office\\_the\\_need\\_for\\_both\\_3\\_G\\_femtocells\\_and\\_Wi-Fi\\_access\\_points.php](http://scf.io/en/documents/007_Wireless_in_the_home_office_the_need_for_both_3_G_femtocells_and_Wi-Fi_access_points.php)
- SmallCell Forum. (13 de 2 de 2015). *smalcellforum*. Obtenido de *smalcellforum*: [http://scf.io/en/documents/002\\_Regulatory\\_aspects\\_of\\_femtocells.php](http://scf.io/en/documents/002_Regulatory_aspects_of_femtocells.php)
- Stanley, R., & Resheff, S. (1998). *An analysis of fixed wireless network interconnect costs*. Ninth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (Cat. No.98TH8361) (págs. 1521-1524). Boston, MA, USA, USA: IEEE Xplore.
- Starhub. (27 de Noviembre de 2008). *starhub*. Obtenido de *starhub*: [https://www.starhub.com/about-us/newsroom/2008/november/27112008\\_starhublauncheshomezonetheworldsfirstcommercial3gfemtocellservice.html](https://www.starhub.com/about-us/newsroom/2008/november/27112008_starhublauncheshomezonetheworldsfirstcommercial3gfemtocellservice.html)
- T. Lotfollahzadeh, S. K. (2016). *Femtocell base station clustering and logistic smooth transition autoregressive-based predicted signal-to-interference-plus-noise ratio for performance improvement of two-tier macro/femtocell networks*. *IET signal processing journal*, 1-11.
- t.sadiki, & Paimblanc, P. (2009). *Modelling new indoor propagation models for WLAN based on empirical results*. 11th International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE.
- unefacursodecomunicaciones. (s.f.). Obtenido de *unefacursodecomunicaciones*: <https://sites.google.com/site/unefacursodecomunicaciones/sistemas--de-espectro-expandido>

- V. Rajesh M, D. P. (2015). *Effective Algorithm to Minimize Target FAPs during Hand-in and Hand-off for 3GPP-LTE Femtocell Network*. *IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*. Bangalore, India: IEEE Xplore.
- Vodafone. (12 de 12 de 2008). Vodafone. Obtenido de Vodafone: <http://www.vodafone.es/conocenos/es/vodafone-espana/sala-de-prensa/notas-de-prensa/vodafone-espana-y-huawei-anuncian-un-piloto-con/>
- Welotec. (s.f.). Welotec. Obtenido de Welotec: <https://www.welotec.com/de/wlan-standards-vergleich>
- Xirio online. (s.f.). Xirioonline. Obtenido de xirioonline: <http://www.xirioonline.com/help/es/index.htm>
- Yang, S.-Z. (2011). *The marketing chain in the mobile Internet era*. *2011 International Conference on Machine Learning and Cybernetics* (págs. 1058-1061). Guilin, China: IEEE.

# 23

## ***Análisis comparativo entre plataformas multipaíses y plataformas nacionales de crowdfunding***

### ***Comparative analysis between multi-country platforms and national crowdfunding platforms***

Sebastián De Jesús Camargo Jesurum<sup>1</sup>, María Fernanda Gravier Caez<sup>2</sup>, Enrique Carlos Ordoñez Villarreal<sup>3</sup>, Daniel Guillermo Parra Barreto<sup>4</sup>, Vera Judith Santiago Martínez<sup>5</sup>

#### ***Resumen***

Las nuevas tecnologías financieras están impulsando de forma acelerada la interacción entre bancos, consumidores y negocios al ofrecer alternativas a los servicios financieros tradicionales (BID, 2017). Una de ellas es el crowdfunding, donde un gran número de personas conocido como el crowd, realiza pequeñas aportaciones económicas para financiar un proyecto, típicamente a través de plataformas virtuales y en ausencia de bancos

---

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial, VI Semestre, Miembro Semillero IDEA Facultad de Ingeniería Universidad Libre Seccional Barranquilla, [sebastiand-camargoj@estunilibrebaq.edu.co](mailto:sebastiand-camargoj@estunilibrebaq.edu.co)

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial, VI Semestre, Miembro Semillero IDEA Facultad de Ingeniería Universidad Libre Seccional Barranquilla, [mariaf-gravierc@estunilibrebaq.edu.co](mailto:mariaf-gravierc@estunilibrebaq.edu.co)

<sup>3</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial, V Semestre, Miembro Semillero IDEA Facultad de Ingeniería Universidad Libre Seccional Barranquilla, [enriquec-ordonezv@unilibre.edu.co](mailto:enriquec-ordonezv@unilibre.edu.co)

<sup>4</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial, VI Semestre, Miembro Semillero IDEA Facultad de Ingeniería Universidad Libre Seccional Barranquilla, [danielg-parrab@estunilibrebaq.edu.co](mailto:danielg-parrab@estunilibrebaq.edu.co)

<sup>5</sup> Doctor en Desarrollo Empresarial y Gerencial, Facultad de Ingeniería – Programa de Ingeniería Industrial Universidad Libre Seccional Barranquilla, [veraj.santiagom@unilibre.edu.co](mailto:veraj.santiagom@unilibre.edu.co)

u otro tipo de intermediarios financieros tradicionales (Olarte-Pascual, Sierra Murillo y Ortega, 2016).

Las plataformas son, junto a los proponentes y al crowd, protagonistas de esta nueva modalidad financiera teniendo éstas una función de enlace bajo un modelo de ingresos basado en una tarifa o porcentaje sobre el capital recaudado (Agrawal, Catalini, & Goldfarb, 2014). A 2015, en Estados Unidos, Europa y Asia se concentraba el 91.3% de las plataformas existentes en el mundo.

Actualmente, las plataformas norteamericanas de gran reconocimiento mundial como Kickstarter e Indiegogo han expandido sus operaciones abarcando otros países e incursionando en Latinoamérica. En esta región también han surgido plataformas multipaíses además de las plataformas nativas o nacionales que son originarias de un país donde operan exclusivamente (Rentería, 2016).

Tomando en cuenta lo anterior, se desarrolló esta investigación cuyo objetivo fue comparar y evaluar plataformas de crowdfunding existentes y en operación clasificándolas en dos grupos: las multipaíses y las nacionales. La muestra incluyó plataformas nativas de Colombia, Chile y México de las cuales se registró información como el año de creación, categorías de proyectos, tipo y sistema de crowdfunding, comisión, número de proyectos activos, número de proyectos finalizados, número de proyectos exitosos, cantidad total de proyectos, dinero total recaudado, número total de donantes, número de donantes promedio, y donación promedio. La información de la mayor parte de las variables fue recolectada directamente en cada una de las plataformas.

Otras variables fueron calculadas a partir de las primeras como lo fue la variable número de donantes promedio la cual se halló al dividir el número total de donantes entre la cantidad total de proyectos y la variable donación promedio que se estableció dividiendo el dinero total recaudado entre el número de donantes promedio.

Como resultado de la comparación entre las plataformas se obtuvieron conclusiones como: Que las plataformas nacionales son de reciente creación en comparación con las multipaíses. La mayoría de plataformas multipaíses ofrecen una gran variedad de categorías, en el caso de las plataformas nacionales dominan las que están dedicadas a un área específica tales como música, cine, educación, eventos y obras sociales. Ambos grupos de plataformas operan los diferentes tipos de crowdfunding: recompensa, inversión, social, financiero e inmobiliario. Las plataformas multipaíses tienen mayor actividad, mayor número de proyectos publicados y finalizados, así como de proyectos exitosos. De igual manera la cantidad de dinero recaudado y el número de donantes, total o en promedio, es mayor en las plataformas multipaíses.



Los hallazgos ratifican lo que algunos estudios e investigaciones han señalado previamente, que la plataforma utilizada es un factor relacionado al éxito obtenido en los proyectos que buscaron financiamiento mediante crowdfunding.

**Palabras clave:** Plataformas de crowdfunding, nacional, internacional, crowdfunding financiero, crowdfunding no financiero.

## ***Abstract***

*New Financial Technologies –Fintech- are launched accelerating the interaction between banks, consumers and businesses by offering alternatives to traditional financial services (BID, 2017). One of them is Crowdfunding, where a large number of people known as the crowd, typically through virtual platforms, make small financial contributions to finance a project, and in the absence of banks or other traditional financial intermediaries (Olarte-Pascual, Sierra Murillo & Ortega, 2016). The platforms are, together with the proponents and the crowd, protagonist of this new financial modality having a liaison function under an income model based on a rate or percentage on the capital raised (Agrawal, Catalini, & Goldfarb, 2014).*

*In 2015, 91.3% of the existing platforms in the world were concentrated in the United States, Europe and Asia. Actually, North American Platforms of great worldwide recognition such as Kickstarter and Indiegogo have already expanded their operations covering other countries and venturing into Latin America. In this region, multi-country platforms have also emerged in addition to the native or national platforms that are originally from a country where they operate exclusively (Rentería, 2016).*

*This research had the objective to compare and evaluate existing crowdfunding platforms in operation by classifying them into two groups: multi-country and national. The sample included native platforms in Colombia, Chile and Mexico. The registered information for the study was: year of creation of the platform, project categories, type and crowdfunding system, commission, number of active projects, number of completed projects, number of successful projects, total number of projects, total money raised, total number of donors, average number of donors, and average donation.*

*The information of most of the variables was collected directly on each of the platforms. Other variables were calculated from the first, such as the variable number of average donors which was found by dividing the total number of donors by the total number of projects and the average donation variable that was established by dividing the total money raised by the average number of donors.*

*As a result of the comparison between the platforms conclusions were obtained such as: the national platforms are of recent creation in comparison with the multi-country platforms. Most multi-country platforms offer a wide variety of categories, in the case of national platforms dominate those that are dedicated to a specific area such as music, cinema, education, events and social works. Both groups of platforms operate the different types of crowdfunding: reward, investment, social, financial and real estate. Multi-country platforms have more activity, more published and completed projects, as well as successful projects. Similarly, the amount of money raised and the number of donors, total or average, is greater in multi-country platforms. The findings confirm what some studies and research have previously pointed out, that the platform used is a factor related to the success of projects that sought funding through crowdfunding.*

**Keywords:** *Crowdfunding platforms, national platforms, multi-county platforms, financial crowdfunding, non-financial crowdfunding.*

## ***Introducción***

En el crowdfunding existen tres protagonistas básicos: 1) Los proponentes de los proyectos; 2) Los donantes y 3) La plataforma . Siendo ésta última una característica clave de dicho fenómeno por ser la interface donde convergen los dos primeros y que favorece la capitalización financiera que este mecanismo ofrece (Beaulieu, Sarker, & Sarker, 2015). Teniendo en cuenta que al año 2015 se concentraba el 91.3% de las plataformas en el mundo en el continente europeo, asiático y en el país de Estados Unidos; y que las plataformas principales en dar el auge en este tipo de financiamiento fueron Indiegogo y KickStarter, resulta interesante dentro este campo de investigación explorar características y diferencias de las plataformas de crowdfunding.

Según el informa del Banco Mundial a 2014 los principales beneficiarios del financiamiento colectivo eran de clase media. Los servicios financieros están fuera del alcance de muchas personas porque las fallas del mercado y del Estado han elevado los costos a niveles prohibitivamente altos. El crowdfunding ha hecho viable recursos para ideas y proyectos de personas que no tenían acceso a tales servicios financieros (Demirguc-Kunt, 2014). El crowdfunding financiero puede desempeñar un papel fundamental como complemento a las fuentes tradicionales de financiación, dirigiéndose a aquellos segmentos de negocio no cubiertos por las modalidades convencionales. (BBVA, 2014)

Actualmente se poseen plataformas alrededor de todo el mundo y diversidad de las mismas encontrándose plataformas de origen nativo, multipaíses y plataformas internacionales. Las primera se definen para efectos de esta investigación como aquellas que son originarias de un país y cuya actividad de proyectos y fondeo proviene de ese mismo país de forma exclusiva. Como plataformas multipaíses se consideran plataformas que evolucionaron luego de ser nativas y ampliaron su operación a otros países, generalmente cercanos geográficamente. Las plataformas internacionales son las grandes y reconocidas a nivel mundial como Kickstarter y otras.

En la literatura se ha estudiado de forma amplia y reiterada el éxito de las campañas de crowdfunding destacando elementos asociados al mismo (Moritz y Block, 2016). Algunos de los hallazgos señalan que ciertos aspectos propios de los proyectos están asociados a la consecución del éxito en el financiamiento (Short y otros, 2017). La tabla 1 presenta una relación de un grupo de 11 estudios que se enfocaron en el estudio de plataformas para determinar elementos de éxito de los proyectos (Kuppuswamy y. Bayus, 2013; Mollick, 2014; Rao y otros, 2014; Frydrych y otros, 2014; Joenssen y otros, 2014; Koch y Siering, 2015; Buttice y otros, 2015; Cordova y otros, 2015; Agrawal Catalini, y Goldfarb, 2011; Giudici y otros, 2013; Saxton, y Wang, 2014). Ocho de éstas investigaciones analizaron Kickstarter, una de ellas en combinación con otras plataformas (Kuppuswamy y. Bayus, 2013; Mollick, 2014; Rao y otros, 2014; Frydrych y otros, 2014; Joenssen y otros, 2014; Koch y Siering, 2015; Buttice y otros, 2015; Cordova y otros, 2015). Las investigaciones coinciden en que existen diferencias cuando se trata de plataformas internacionales, nacionales y multipaíses.

Tabla 16. Investigaciones desarrolladas en plataformas y las variables para caracterizarlas

Plataforma Analizada	Descripción del Estudio	Autores
Kickstarter	Se estudió la relación entre el financiamiento alcanzado en función de elementos como la meta en dinero del proyecto, número de financiadores, duración de la campaña, monto promedio por financiador entre otros.	Kuppuswamy y Bayus (2013)
	Se estudió la relación entre el porcentaje obtenido sobre la meta a partir de la meta en dinero, número de financiadores, aporte promedio por colaborador, entre otros.	Mollick (2014)
	Se estudió la relación entre el monto total recaudado por la campaña y el monto solicitado, categoría proyecto, duración del proyecto, número de comentarios, video de la campaña, entre otros.	Rao y otros, (2014)
	Se estudió la relación entre el monto total recaudado por la campaña y porcentaje obtenido sobre la meta respecto a la duración de la campaña, número de financiadores, tipo de proyecto y meta de financiación.	Frydrych y otros, (2014)
	Se estudió la relación entre el monto total recaudado y el tiempo estimado de entrega del proyecto, número de actualizaciones, sitio web y número de imágenes.	Joenssen y otros, (2014)
	Se estudió la relación entre el éxito del proyecto si alcanzó la meta o no y la duración de la campaña, número de contactos de Facebook, Tipo de proyecto (sector), experiencia en previa en crowdfunding, disponibilidad de video, entre otros.	Koch y Siering (2015)
	Se estudió la relación entre si el proyecto alcanzó la meta o no y la duración de la campaña, meta de la campaña, tipo de creador de la campaña y género.	Buttice y otros, (2015)
Kickstarter, Ulule, Eppela, Indiegogo	Se estudió la relación entre si alcanzó la meta o no frente a la meta de financiación, número de financiadores, promedio de aportes por financiador, duración del proyecto, sistema de la plataforma, etc.	Cordova y otros, (2015)
Sellaband	Se estudió la relación entre monto total recaudado y la región de origen, distancia geográfica entre creadores y financiadores, monto de donaciones de amigos y familiares.	Agrawal Catalini, y Goldfarb (2011)
11 plataformas italianas	Se estudió la relación entre si alcanzó la meta o no Número de contactos en Facebook, Monto solicitado, sitio de residencia del creador entre otros aspectos.	Giudici y otros, (2013)
Facebook Causes	Se estudió la relación entre monto total recaudado por la campaña y el número de financiadores, promedio de aportes por financiador, entre otros aspectos del creador y del proyecto.	Saxton, y Wang, (2014)

## ***Metodología***

La presente investigación tuvo como objetivos:

- Realizar un inventario de las plataformas de crowdfunding en cada país recopilando la información específica de su modelo de operación y otros aspectos generales que permitan su estudio.
- Analizar por grupos las plataformas identificadas para desarrollar un análisis comparativo entre las plataformas nativas y las multipaíses.
- Evaluar diferencias y similitudes entre los proyectos que se anuncian en cada tipo de plataforma a partir del estudio de un caso de cada tipo

La metodología de esta investigación inició con un inventario de las plataformas de Colombia, Chile y México. Tomando de base las investigaciones de Jiménez y Valeta (2016), Montalvo y Arrieta (2017) y Oviedo Zabala (2019) se realizó este inventario y posteriormente un análisis de los datos de cada plataforma para así poder realizar un estudio comparativo donde se tuvo en cuenta año de creación, categorías de proyectos, tipo y sistema de crowdfunding, comisión, número de proyectos activos, número de proyectos finalizados, número de proyectos exitosos, cantidad total de proyectos, dinero total recaudado, número total de donantes, número de donantes promedio, y donación promedio.

Se tomaron dos muestras de plataformas nativas de Colombia, Chile y México y las multipaíses más representativas. La primera de ellas de 57 plataformas que se analizó de forma conjunta. Posteriormente se seleccionaron las plataformas nativas Little Big Money de Colombia, Mi Cochinito de México y Catapultame de Chile para comparar con la plataforma multipaís Idea.me.

## ***Resultados***

Como primer resultado de la investigación se obtuvo un grupo de 30 plataformas en México, 17 plataformas en Colombia, y 10 plataformas en Chile. Estos números incluyen para cada país plataformas internacionales como Kickstarter e Indiegogo. Para cada grupo de plataformas se registró información de caracterización y posteriormente se escogieron 10 plataformas de cada país las cual se presenta en las tablas 2, 3 y 4. Con estas plataformas se desarrolló el estudio comparativo..

Tabla 17. Listado de Plataformas de Chile

#	PLATAFORMA	AÑO CREACIÓN	TIPO CF	SISTEMA	COMISION
1	<i>Idea.me</i>	2011	Recompensa	"Todo o Nada" y "Todo Suma"	USD \$25 + 11,9% (IVA incluido) sobre el total recaudado.
2	<i>Broota.com</i>	2013	Inversión	Todo o nada	5% Startup - 5% Inversionista
3	<i>Kickstarter</i>	2009	Recompensa	Todo o nada	5%
4	<i>Donadora</i>	2012	Social	Todo suma	6.5% + IVA
5	<i>Cumplo.cl</i>	2011	Inversión	Todo suma	No se identifica
6	<i>Lares</i>	2018	Inmobiliario	Todo o nada	USD \$ 250.000
7	<i>Catapulta.me</i>	2015	Social	Todo suma	No capta comisión
8	<i>Doble impacto</i>	2019	Inversión	Todo o nada	7,5% + IVA
9	<i>Crowdfunding.cl</i>	2012	Recompensa, donaciones e inversiones inmobiliarias.	Todo o Nada" y "Todo Suma"	No se identifica la comisión
10	<i>Becual</i>	2014	Inversión	Todo o nada	No se identifica la comisión

Tabla 18. Listado de Plataformas de México

#	PLATAFORMA	AÑO CREACIÓN	TIPO CF	SISTEMA	COMISION
1	<b>Social Crowd MX</b>	NO INDICA	NO INDICA	"Todo o Nada" y "Todo Suma"	;%\$ + TRANS
2	<b>DONADORA</b>	2016	RECOMPENSA	Todo SUMA	0%
3	<b>HIPEGIVE</b>	2014	DONACION	Todo SUMA	6%
4	<b>KICKSTARTER</b>	2009	RECOMPENSA	Todo o nada	5%
5	<b>IDEA.ME</b>	2012	recompensa	"Todo o Nada" y "Todo Suma"	10%
6	<b>Micochinito.com</b>	2011	recompensa	Todo suma	No indica
7	<b>Briq.mx</b>	No indica	inversión	No indica	10%
8	<b>KUBO</b>	2012	Inversión	Todo o nada	15% + IVA
9	<b>PRESTADERO</b>	2012	inversión	Todo o Nada	3% al 5%
10	<b>FONDIFY</b>	2012	donación	Todo suma	No se identifica la comisión

Tabla 19. Listado de Plataformas de Colombia

	PLATAFORMA	AÑO CREACIÓN	TIPO CF	SISTEMA	COMISION
1	La vaquinha	2015	Recompensa	"Todo o Nada" y "Todo Suma"	10% al 14%.
2	Uonset	2015	Recompensa	Todo o nada	15%
3	Kickstarter	2009	Recompensa	Todo o nada	8% a 10%
4	Ideame	2016	Recompensa	"Todo o Nada" y "Todo Suma"	10%
5	Fondeadora	2009	Recompensa	Todo o nada	6.5%
6	Sumame	2013	Recompensa	Todo suma	15%)
7	Filmantropo	2014	Recompensa	Todo suma	5%
8	Help	2015	Recompensa	Todo suma	25%
9	Little big money	2013	Recompensa	Todo o Nada" y "Todo Suma"	13%
10	La chèvre	2013	Recompensa	Todo o nada	15%

A partir del estudio comparativo del grupo de 10 plataformas por país, se obtuvo que la cantidad de donantes promedios obtenida luego de sumar los donantes de cada proyecto, en el total de proyectos finalizados encontrados en cada plataforma dio como resultado que Chile duplica al número de personas que donan en Colombia. La figura 1 muestra de forma gráfica el número de donantes promedio estimado por país.

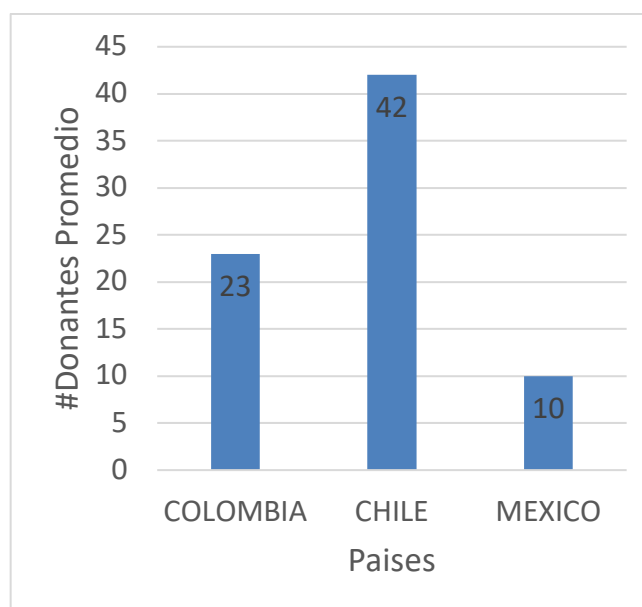


Figura 1. Número de donantes promedio

Como se puede ver en la figura 2, a pesar de que el número que donan en Chile es mayor, el pequeño grupo de personas donantes en México hacen la diferencia en cuando al dinero recaudado en las plataformas, sigue Colombia y por ultimo queda Chile.

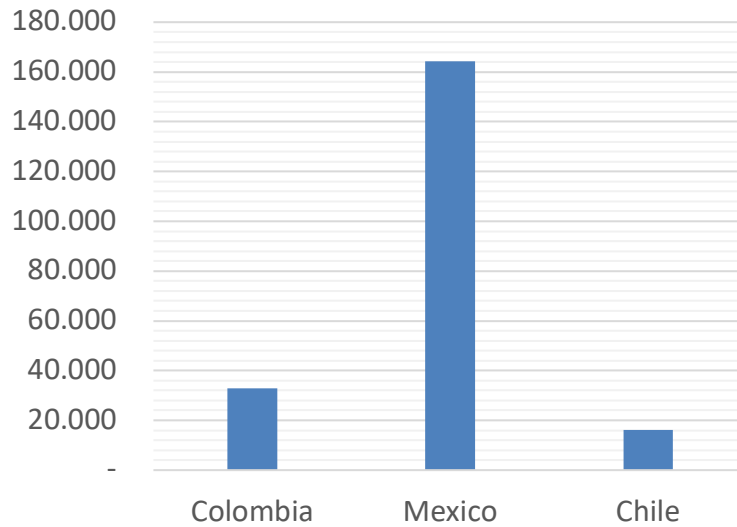


Figura 2. Dinero Recaudado

De las plataformas estudiadas la de Colombia es la única que actualmente no tiene proyectos activos, y México y Chile comparten la misma cantidad de proyectos activos. México y Colombia tienen mayor número de proyectos finalizados que Chile (Figura 3).

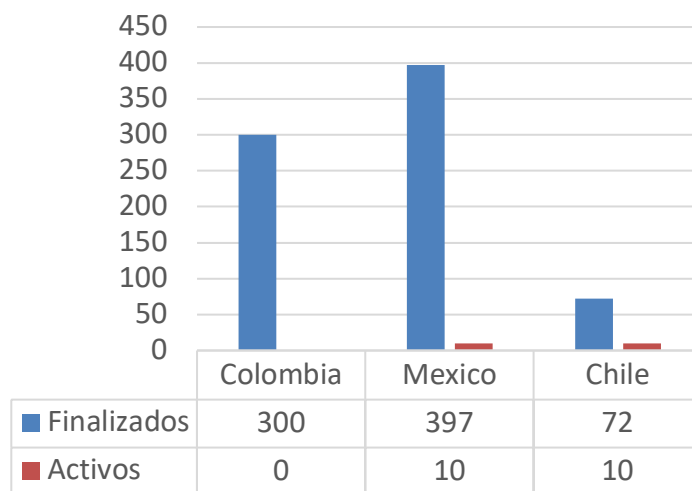


Figura 3. Proyectos Activos Vs. Proyectos Finalizados



Por otra parte, Colombia y México tienen mayor cantidad de proyectos finalizados exitosos. Pero haciendo una comparativa relativa Colombia tiene mayor cantidad de proyectos finalizados no exitosos ante México y Chile (Figura 4).

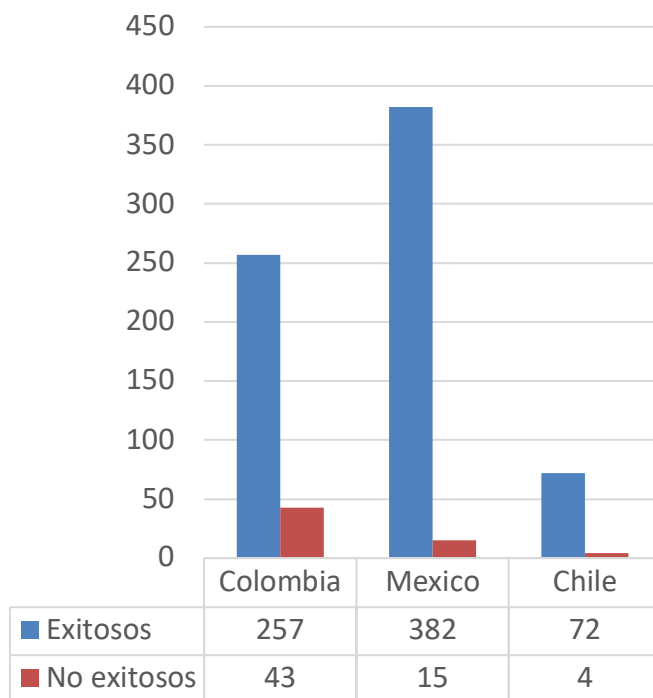


Figura 4. Tipo de proyecto

Luego de realizar el estudio comparativo con plataformas nativas de cada país las cuales fueron por Colombia: Little Big Money, por México: Mi cochinito.com y por Chile: Catapultame se tomó la plataforma Ideame (<https://www.idea.me/>) para realizar el mismo estudio comparativo solo que en una plataforma que tuviese proyectos de los tres países estudiados.

Los primeros resultados obtenidos muestran que México en esta plataforma duplica a Colombia y Chile. Se encuentra un número de donantes promedio según se muestra en la Figura 5.

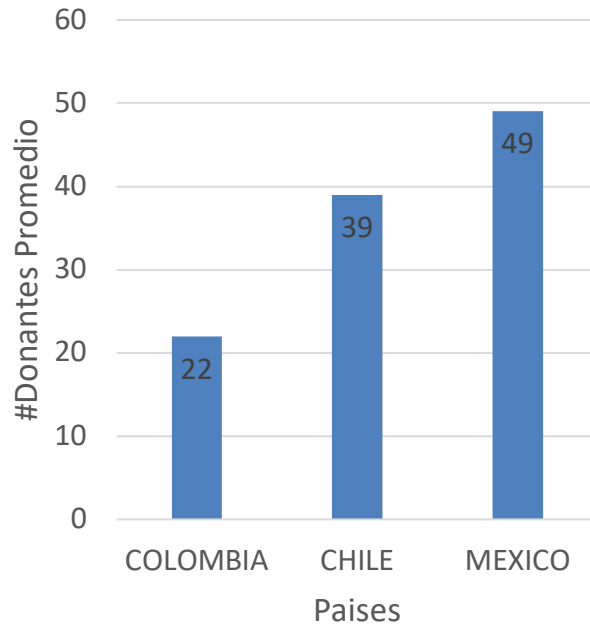


Figura 5. Donantes Promedio

Se presenta el mismo comportamiento (ilustración 6) cuando se analiza el dinero recaudado siendo México el país que supera a Colombia y a Chile significativamente.

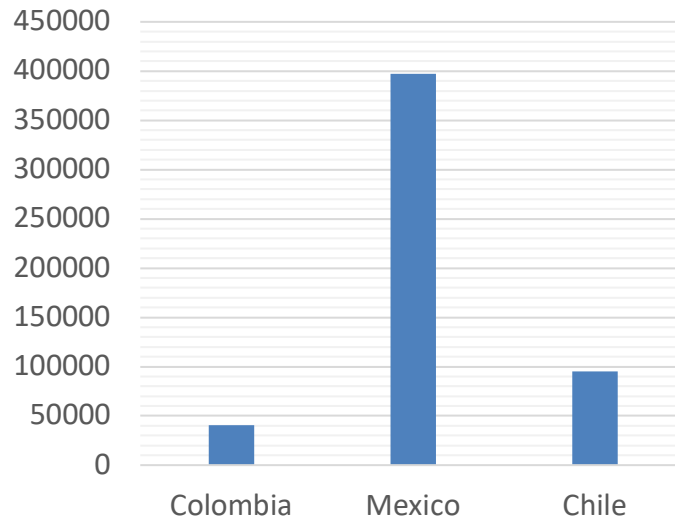


Figura 6: Dinero Recaudado

Al compararse el número de proyectos activos versus el de proyectos finalizados Chile lidera el grupo duplicando el número de proyectos colombianos el cual a su vez era e doble del de México. Los valores obtenidos pueden observarse en la Figura 7.

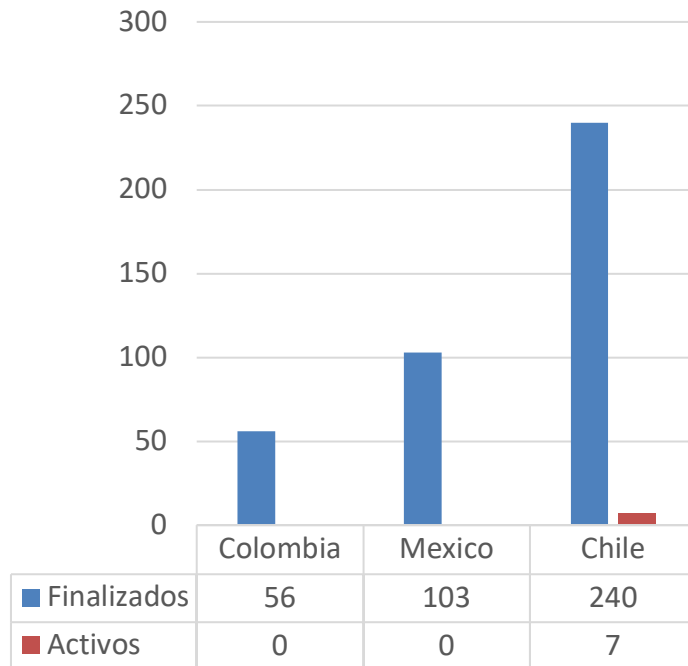


Figura 7: Proyectos Activos Vs. Proyectos Finalizados

Chile tiene el 77% de proyectos finalizados que han sido, solo el 23% no lograron la meta esperada. Colombia el 89% de sus proyectos fueron exitosos y el 11% no lo fueron. Y en Mexico el 58% no fueron exitosos y el 42% fueron exitosos.

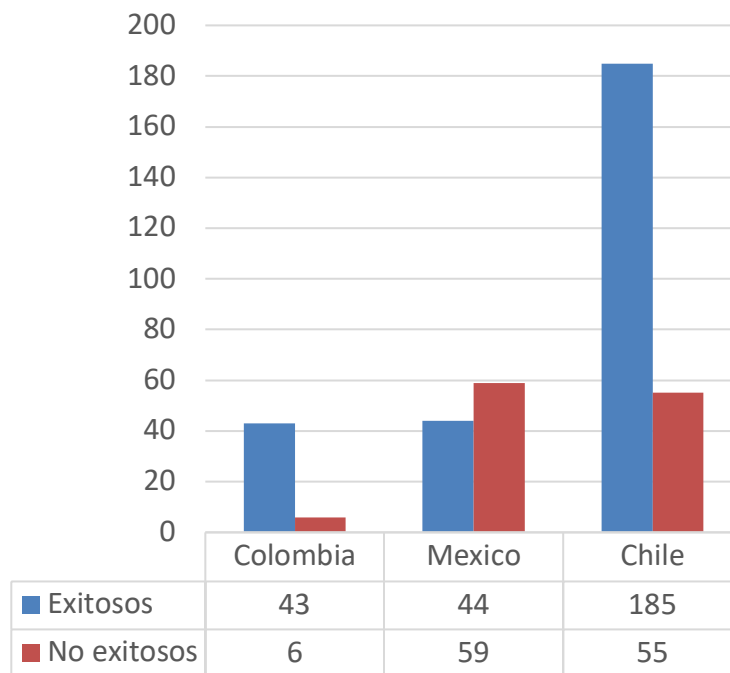


Figura 8: Tipo De Proyecto.

## ***Conclusiones***

Las plataformas nacionales son de reciente creación en comparación con las multipaíses.

La mayoría de plataformas multipaíses ofrecen una gran variedad de categorías. En las plataformas nacionales dominan las que están dedicadas a un área específica: tales como música, cine, educación, eventos y obras sociales.

Ambos grupos de plataformas operan los diferentes tipos de crowdfunding: recompensa, inversión, social, financiero e inmobiliario.

Las plataformas multipaíses tienen mayor actividad, mayor número de proyectos publicados y finalizados, así como de proyectos exitosos.

La cantidad de dinero recaudado y el número de donantes, total o en promedio, es mayor en las plataformas multipaíses.

Los hallazgos ratifican lo que algunos estudios e investigaciones han señalado previamente, que la plataforma utilizada es un factor relacionado al éxito obtenido en los proyectos que buscaron financiamiento mediante crowdfunding.

Los hallazgos obtenidos en la investigación se traducen en la práctica en significativas contribuciones para el proponente que busca financiación mediante crowdfunding. La primera de ellas respecto a la importancia de la plataforma que selecciona para la publicación de su proyecto. Este hallazgo es novedoso y puede afirmarse que es relevante no solo en los tres casos estudiados sino además a otros países latinoamericanos. En estas economías las grandes plataformas de crowdfunding tienen presencia pero limitada actividad debido a su carácter internacional. Por lo cual las plataformas nacionales son mejores alternativas y más funcionales para los proponentes.

La investigación sugiere que en contextos con poco desarrollo de nuevas tecnologías de financiamiento, es muy importante el papel de la plataforma como intermediaria. La gestión de las plataformas en estos contextos abarca apoyar y/o facilitar el proceso exitoso de consecución de recursos al generar relaciones de confianza en el ecosistema de crowdfunding.

## Referencias

- Agrawal, A. K., Catalini, C., & Goldfarb, A. (2011). *The geography of crowdfunding*. National Bureau of Economic Research No. w16820.
- Agrawal, A. K., Catalini, C., & Goldfarb, A. (2014). *Some simple economics of crowdfunding*. *Innovation Policy and the Economy*, 14(1), 63-97.
- Banco Interamericano de Desarrollo (2017). *Fintech: Innovaciones que no sabías que eran de América Latina y Caribe*. BID y Finnovista.
- BBVA (2014). *Crowdfunding en 360°: Alternativa de financiación en la era digital*. Observatorio de Economía Digital. BBVA Research.
- Beaulieu, T., Sarker, S., & Sarker, S. (2015). *A Conceptual Framework for Understanding Crowdfunding*. *Communications of the Association for Information Systems*, 37(1), 1–31.
- Butticè, Vincenzo & Colombo, Massimo & Wright, Mike. (2017). *Serial Crowdfunding, Social Capital, and Project Success*. *Entrepreneurship Theory and Practice*. 10.1111/etap.12271.
- Cordova, A., Dolci, J., & Gianfrate, G. (2015). *The determinants of crowdfunding success: evidence from technology projects*. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 181, 115-124.
- Demirguc-Kunt, A. (2014). *Global Financial Development Report 2014: Financial Inclusion*. Banco Mundial.
- Frydrych, D., Bock, A., Kinder, T. & Koeck, B. (2014) *Exploring entrepreneurial legitimacy in reward-based crowdfunding*. *Venture Capital*, 16:3, 247-269.
- Giudici, G., Guerini, M., & Rossi-Lamastra, C. (2013). *Why crowdfunding projects can succeed: The role of proponents' individual and territorial social capital*. SSRN Working Paper No. 2255944.
- Jiménez, C.; y Valeta, K. (2016). *El fenómeno del Crowdfunding en Colombia*. Tesis de Pregado, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla – Colombia.
- Joenssen, D. W., Michaelis, A., & Müllerleile, T. (2014). *A link to new product preannouncement: Success factors in crowdfunding*. Disponible en <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2476841>
- Koch, J. A. y Siering, M. (2015). *Crowdfunding Success Factors: The Characteristics of Successfully Funded Projects on Crowdfunding Platforms*. Conference: European Conference on Information Systems (ECIS 2015), Münster, Germany.
- Kuppuswamy, V. and Bayus, B.L. (2013) *Crowdfunding Creative Ideas: The Dynamics of Project Backers in Kickstarter*. *SSRN Electronic Journal*, 5, 1-37.
- Mollick, E. (2014). *The dynamics of crowdfunding: An exploratory study*. *Journal of Business Venturing*, 16.

- Montalvo, L.; y Arrieta, L. (2017). *Factores determinantes del éxito en el financiamiento mediante crowdfunding en México. Tesis de Pregado, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla – Colombia.*
- Moritz, A., y Block, J. (2014). *Crowdfunding: A Literature Review and Research Directions. SSRN Electronic Journal. 10.2139/ssrn.2554444.*
- Olarte-Pascual, C.; Sierra Murillo, Y. y Ortega, C. (2016) *El papel de la comunicación en el crowdfunding: un caso de éxito cool. Icono Volumen 14 (2) Páginas 280-303.*
- Oviedo Zabala, J. A. (2019). *Factores determinantes del éxito en el financiamiento de proyectos empresariales mediante crowdfunding en Chile. Tesis de Pregado, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla – Colombia.*
- Rao H., Xu A., Yang X., Fu WT. (2014) *Emerging Dynamics in Crowdfunding Campaigns. Social Computing, Behavioral-Cultural Modeling and Prediction. SBP 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8393. Springer.*
- Rentería, C. (2016). *Las plataformas de crowdfunding en América Latina. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. IDRC Canadá.*
- Saxton, G. D., & Wang, L. (2014). *The social network effect: The determinants of giving through social media. Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly, 43(5), 850-868.*
- Short, J.C.; Ketchen, D.J.; McKennt, A.F. (2017). *Research of crowdfunding: reviewing the past and celebrate the present. Entrepreneurship Theory and Practice March páginas 149-160.*

