

Sentidos y perspectivas de la investigación formativa en tiempos de pandemia: caso ingeniería

Editoras académicas

Luz Mery Guevara Chacón
Siby Inés Garcés Polo

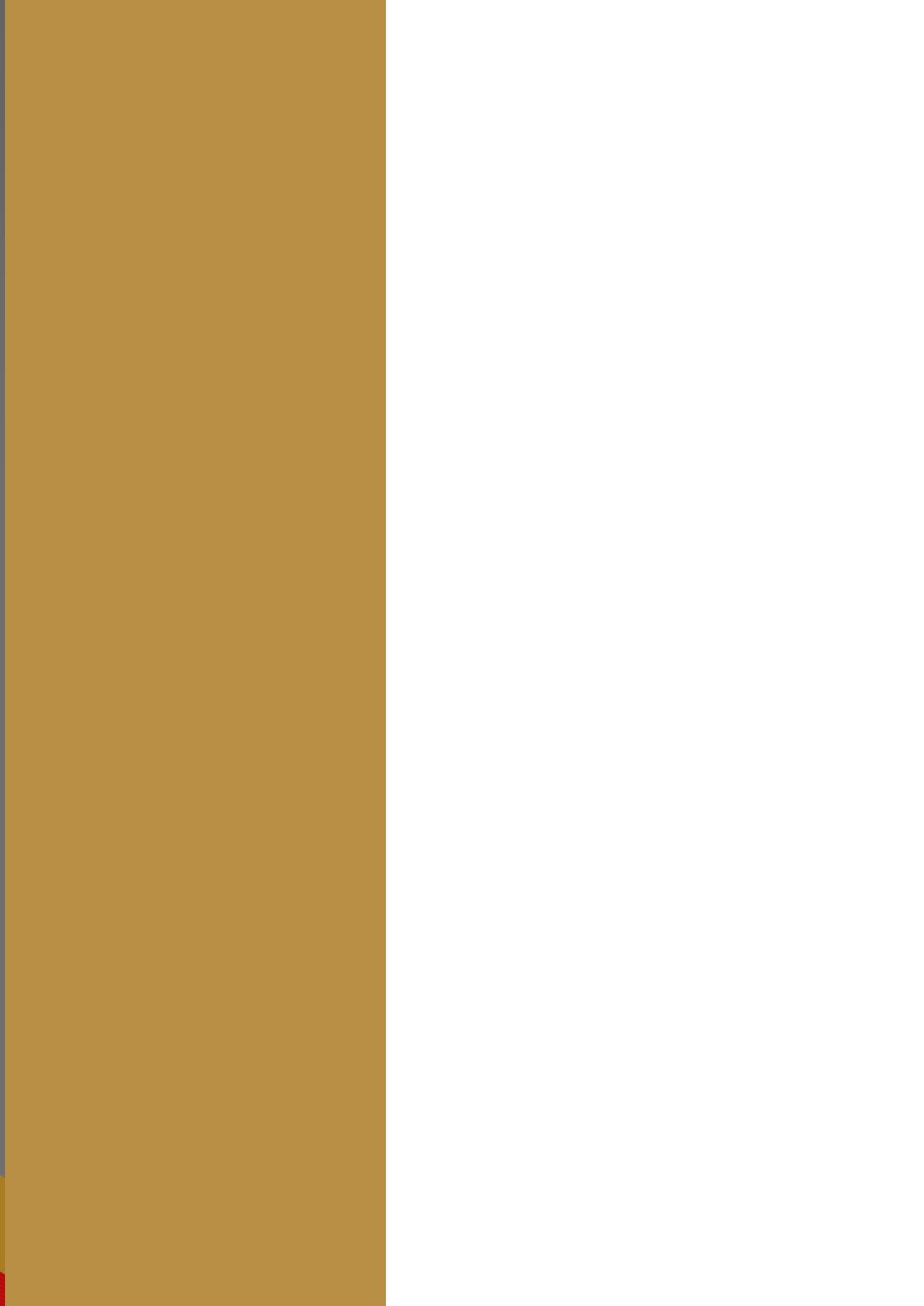


2

COLECCIÓN
Investigación formativa



**UNIVERSIDAD
LIBRE®**
Vigilada Mineducación





UNIVERSIDAD LIBRE®
Vigilada Mineducación

DIRECTIVAS

Jorge Alarcón Niño	Presidente
Jorge Gaviria Liévano	Vicepresidente
Édgar Sandoval Romero	Rector Nacional
Floro Hermes Gómez Pineda	Secretario General
Ricardo Zopó Méndez	Censor Nacional
María Elizabeth García González	Presidente Seccional Bogotá
Fernando Arturo Salinas Suárez	Rector Seccional Bogotá
Beatriz Tovar Carrasquilla	Presidente-Rectora (e) Seccional Barranquilla
Norhy Esther Torregrosa Jiménez	Directora de Investigaciones Seccional Bogotá
Wendy Rosales Prada	Directora de Investigaciones Seccional Barranquilla
John Albeyro Peña Carreño	Decano Facultad de Ingeniería Seccional Bogotá
Diego Fernando Suero	Decano Facultad de Ingeniería Seccional Barranquilla
Héctor Fernando Rojas Molano	Director Centro de Investigación Facultad de Ingeniería (CIFI) Seccional Bogotá
Siby I. Garcés Polo	Directora Área de Investigaciones Facultad de Ingeniería Seccional Barranquilla



Sentidos y perspectivas de la investigación formativa en tiempos de pandemia :
caso ingeniería / Luz Mery Guevara Chacón, Siby Inés Garcés Polo, editoras académicas. -- Bogotá : Universidad Libre,
2022.

229 p. : il. ; 22 cm. -- (Colección Investigación Formativa ; 2)

Incluye referencias bibliográficas.

ISBN digital: 978-628-7580-21-3

1. Investigación formativa 2. Ingeniería -- Investigaciones 3. Proyectos de investigación -- Educación superior
I. Guevara Chacón, Luz Mery, ed. II. Garcés Polo, Siby Inés, ed.

001.42 SCDD 21

Catalogación en la Fuente – Universidad Libre. Biblioteca

ISBN digital: 978-628-7580-21-3

Sentidos y perspectivas de la investigación formativa en tiempos de pandemia: caso ingeniería

© Autores: Luz Mery Guevara Chacón, Siby Inés Garcés Polo, Luz Marina Martínez, Richard Ducón Salas, Gabriel de Jesús Camargo Vargas, Stefanny Katherine Frasser, Jenny Tatiana Oróstegui Banderas, William Peña, Juan David Ojeda Alayón, Daniel Alberto Bojacá Vargas, Sonia Lucila Meneses Velosa, Bryan Andrés Lindo Del Castillo, David Javier Atencia Domingo, Gianluigi García Herrera, Diana Milena Suárez López, Adriana Valentina Pérez Cardenas, Daniel Alejandro Pérez Baquero, Patricia Joyce Pamela Zorro Mateus, Alexander Parody Muñoz, Anacelly Álvarez Pineda, Lina Virginia Amaya Navarro, Jimmy Alejandro López Piza, Fredy Alexander Aguirre Gómez, Alejandro Ospino Pérez, Katherine Saltarín Ávila, Laura Camila Calderón Soler, Jorge Luis Ramírez Marín, Ever Ángel Fuentes Rojas, Dayron Augusto Dueñas Flórez, Martín Esteban Alfonso Arenas, Inglemar Leonardo Aguilar Jaramillo.

© Universidad Libre

Bogotá D.C. Colombia

Primera edición: noviembre de 2022

Queda hecho el depósito que ordena la ley

Editorial: Universidad Libre

Coordinación de edición: Centro de Investigaciones Facultad de Ingeniería, sede Bogotá - hector.rojas@unilibre.edu.co

Editoras académicas: Luz Mery Guevara Chacón - luzm.guevarac@unilibre.edu.co / Siby Inés Garcés Polo - siby.garces@unilibre.edu.co

Correo-e: comunicaciones@unilibre.edu.co

Calle 8 n.º 5-80, Tel: 3821000, Bogotá D.C.

Diseño y diagramación: Diana Guayara V. - eykon.graffein@gmail.com

Imágenes de portada: Charlotte May: <https://www.pexels.com/photo/multiethnic-students-with-folders-walking-in-park-5965733/> - Prostock-Studio: <https://tinyurl.com/2kxh4f8u> - Christina Morillo: <https://www.pexels.com/photo/person-s-hands-on-top-of-macbook-air-1181307/>

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



«Atribución-No comercial-Sin derivar»



BY – Otros pueden copiar, distribuir y mostrar la obra, pero deben otorgar crédito al autor.



NC – Otros pueden copiar, distribuir y mostrar la obra, pero solo con propósitos no comerciales.



ND – Otros pueden copiar, distribuir y mostrar la obra, pero no modificarla.

creative commons

Contenido

1	Formación para la investigación, escritura y pandemia	7
	Luz Mery Guevara Chacón Siby Garcés Polo	
2	Algunas reflexiones en torno a la formación del estudiante universitario en y para la investigación, en tiempo de pandemia	17
	Luz Mery Guevara Chacón Luz Marina Martínez Richard Ducón Salas	
3	Co-pirólisis de llantas usadas como alternativas de minimización y valorización de residuos	35
	Gabriel de Jesús Camargo Vargas Siby Inés Garcés Polo Stefanny Katherine Frasser Jenny Tatiana Oróstegui Banderas William Peña	
4	Aporte a las políticas de movilidad sostenible de Bogotá a través del análisis de accidentalidad de bici usuarios en Kennedy	55
	Juan David Ojeda Alayón Daniel Alberto Bojacá Vargas Sonia Lucila Meneses Velosa	
5	Sistema inteligente para determinar el estado de madurez del mango ..	79
	Bryan Andrés Lindo Del Castillo David Javier Atencia Domingo Gianluigi García Herrera Diana Milena Suarez López	
6	Biodegradación de petróleo crudo a partir de bacterias aisladas de un suelo contaminado con crudo	95
	Adriana Valentina Pérez Cárdenas Daniel Alejandro Pérez Baquero Patricia Joyce Pamela Zorro Mateus	



- 7** **Diseño de estrategias para el incremento de la productividad de la línea de empaque en una planta procesadora de café en la Región Caribe colombiana** 115
Alexander Parody Muñoz
Anacelly Álvarez Pineda
Lina Virginia Amaya Navarro
- 8** **Diseño de la estructura de un vehículo de bajo consumo para la competencia Shell Eco-Marathon América implementando materiales compuestos** 131
Jimmy Alejandro López Piza
Fredy Alexander Aguirre Gómez
- 9** **Política de inventario para los productos más demandados en la empresa Distribuciones Solio** 155
Alexander Parody Muñoz
Alejandro Ospino Pérez
Katherine Saltaín Ávila
-  **10** **Estrategias para el impulso y crecimiento sostenible del turismo de naturaleza en el municipio de Ramiriquí** 171
Laura Camila Calderón Soler
Jorge Luis Ramírez Marín
Ever Ángel Fuentes Rojas
- 11** **Evaluación de las condiciones mecánicas para el diseño del tren motriz para un vehículo de la categoría prototipo en la competencia Shell Eco-marathon** 193
Dayron Augusto Dueñas Flórez
Martín Esteban Alfonso Arenas
Fredy Alexander Aguirre Gómez
- 12** **Las cartas interactivas para restaurantes como alternativa innovadora en época de pandemia** 215
Inglemar Leonardo Aguilar Jaramillo
David Javier Atencia Domingo
Bryan Andrés Lindo Del Castillo
Gianluigi García Herrera
Diana Milena Suarez López

1

Formación para la investigación, escritura y pandemia



Luz Mery Guevara Chacón

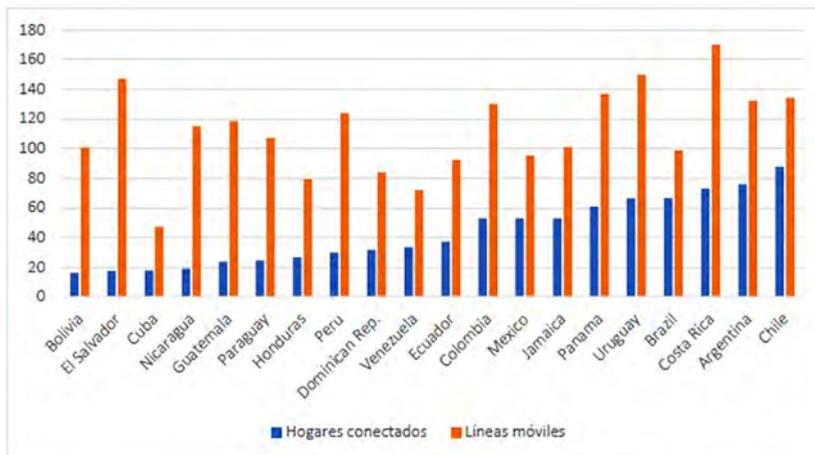
Licenciada con estudios principales en Psicología y Pedagogía. Magister en Desarrollo Educativo y Social. Candidata a doctora en Pensamiento Complejo y Filosofía. Docente de la Universidad Libre. Facultad de Ingeniería, área de humanidades. Grupo de Investigación IDEPI. Semilleros Ingeniería y Sustentabilidad y Markay

Siby Inés Garcés Polo

Ing. Química, MsC, PhD., Docente Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Industrial, grupo de investigación GIDE de la Universidad Libre. Barranquilla-Colombia, email: siby.garces@unilibre.edu.co

En los años 2020 y 2021 el mundo enfrentó una situación inesperada; una pandemia que azotó a la población mundial y aún permanece, obligó a asumir nuevas formas de educación, de vida social y económica. La educación se vivió en confinamientos totales o parciales durante este largo período. Se afirma que hubo una gran recesión en lo educacional (Miguel, 2020), según cifras de la UNESCO (2020), citada por este mismo autor, el 70% de la población escolarizada privada o pública, se ha visto afectada por la desigualdad evidenciada por la brecha digital. El bajo acceso a la conectividad, a la cultura de uso de apoyos digitales y tecnológicos en las instituciones; los hogares con recursos limitados para la compra de dispositivos, entre otras situaciones, surgieron en este contexto. En la figura 1 se puede apreciar el porcentaje de conectividad por hogares y líneas para teléfonos celulares, en América Latina y el Caribe, para el año 2018.

Figura 1. Porcentaje de hogares con conectividad a Internet y líneas móviles por cada 100 habitantes en una muestra de países de América Latina y el Caribe (2018).



Fuente: IESALC, 2020

Para la educación superior los confinamientos totales, las cuarentenas, la alternancia y otras estrategias derivadas del cuidado de la salud, interrumpieron en lo cotidiano y la incertidumbre se apoderó de las actividades escolares, convirtiendo las otrora clases presenciales en clases *on line*. Esto generó nuevas dinámicas de socialización y de enseñanza aprendizaje que sin duda tienen costos y retos, hoy y a futuro. Los intercambios presenciales, el trabajo colaborativo, la investigación, los procesos de evaluación son actividades que de una u otra manera se han desarrollado en escenarios diferentes, con mediaciones y herramientas variadas y diversas. Principalmente, el uso de la modalidad virtual ha hecho que las instituciones de educación superior enfrenten la disrupción, atendiendo a su capacidad para mantener activas sus actividades académicas y a su sostenibilidad financiera (IESALC, 2020).

Concretamente en el campo de la formación y de la investigación, la exigencia del uso de la modalidad virtual también debió responder a una necesidad inmediata; en aras de cumplir con metas y objetivos trazados con antelación, por lo que fue necesario recurrir al uso de esta mediación virtual para establecer comunicación y continuar con los procesos de cierre de proyectos y escritura de informes; algunos investigadores en formación enfrentaron obstáculos y retos y otros lograron aprendizajes y mejoras en sus actividades.

Es importante resaltar que este libro fue el resultado del encuentro de semilleros, realizado en noviembre del 2020, por la Facultad de Ingeniería sede Bosque Popular en la seccional de Bogotá. La invitación fue acogida por estudiantes de todas las seccionales. Los mejores trabajos de proyectos en curso y terminados, se premiaron con esta publicación. Con la preocupación de indagar acerca de la forma en que los semilleros realizaron este ejercicio, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre, planteó las preguntas: ¿Cómo lograron la escritura de los capítulos para este libro?, ¿qué dificultades tuvieron y cuáles fueron sus aprendizajes? A continuación, se presentan las apreciaciones de los estudiantes en relación con las preguntas planteadas. Participaron todos los grupos autores de dichos capítulos y la reflexión se hizo en reuniones que sostuvieron de manera virtual.

La pandemia de covid19 ha cambiado la manera habitual en la que muchos investigadores desarrollan sus actividades, dado que ha primado la consecución de información de interés de manera remota, donde la presencialidad se ha tratado de manejar en su mínima expresión para

disminuir el ritmo de propagación de la enfermedad, esto ha motivado el trabajo entre redes de investigación para maximizar resultados convirtiéndose así en una oportunidad a explotar con mayor determinación en el tiempo post-pandemia (Parody, et.al., 2021).

Este testimonio muestra que la toma de datos de aquellos estudios en proceso de cierre terminó de realizarse acudiendo a datos no presenciales, simulaciones y estimaciones. Seguramente ofreció nuevas formas de búsqueda y de realizar la pesquisa. Reiteran entonces que:

Aunque sin duda alguna la pandemia ha dificultado la generación de nuevo conocimiento que implique toma de datos presenciales, esto ha dejado de aprendizaje que el uso de tecnologías de la información para realizar encuestas, automatizar la toma de datos de procesos y digitalización de documentos de interés; podrían hacer que el proceso de toma de información sea más eficiente en comparación en los tiempos antes de la pandemia. (Parody, et.al. 2021).

De otro lado, es innegable que esta actividad investigativa se vio afectada por esta pandemia, y obligó a redefinir y redimensionar alcances de los estudios Ramírez et.al., (2021) sostienen que:

Inicialmente en la investigación nos encontramos con un escenario que, con el desarrollo del proyecto generó grandes expectativas por parte de los interesados allegados al sector del turismo del Municipio de Ramiriquí. Esto, nos permitió involucrarnos con una comunidad activa y expectante que buscaba generar un desarrollo económico sostenible que pudiera mantener un equilibrio con el ambiente; y a su vez, querían aprovechar los bellos paisajes, los recursos naturales, las condiciones geográficas; así como, las costumbres culturales y eventos sociales con los que contaban. Sin embargo, en ese momento no se tenía el material o la información suficiente para poder generar estrategias que les permitieran avanzar en ese desarrollo deseado.

Y cierran diciendo que:

Pese a que no fue posible la cercanía directa, “Debemos destacar que uno de los logros como grupo de investigación que superó la distancia física presentada entre el área de estudio y nosotros, fue poder compartir nuestros conocimientos, avances, información y material mediante el uso de aplicaciones tecnológicas, facilitando los procesos de comunicación y transferencia de la información con las partes interesadas del proyecto. Se obtuvieron resultados que permitieron generalizar la experiencia que se obtuvo de los recorridos por el territorio, a través de capacitaciones y de socializaciones con la comunidad. (Ramírez et. al. 2021)

Es claro que el ejercicio de la investigación supone diálogo, conversaciones e intercambio para la construcción de conocimiento y apropiación de saberes; el trabajo en equipo es un elemento fundamental en el desarrollo y el funcionamiento en casi cualquier actividad en la que se encuentran y participan distintas personas; por esto para los semilleristas en formación, para la investigación, y sin duda por la contingencia por COVID-19:

La forma de trabajar en equipo los llevó a enfrentar otras formas de relación y comunicación; estar en casa adoptando la nueva cultura del teletrabajo a solo una llamada de distancia para conversar o solucionar algún problema, se daba al mismo tiempo que estar a muchos metros de distancia uno del otro; esto limitaba ciertas actividades que requerían de la cercanía uno del otro, como la experimentación. Algunas veces, se realizaron reuniones para definir los requerimientos del proyecto, ya que al estar conectados en una llamada no todo quedaba claro y algunos puntos se pasaban por alto; luego tocaba reestructurar algunas partes, aunque mínimas, pero que de una u otra forma demandaron tiempo.

Pese a las limitaciones se encontraron nuevas rutas para el intercambio de saberes y la discusión y construcción colectiva de conocimiento.

En este orden de ideas, algunas veces la distancia limitaba en ciertas actividades, que tal vez requerían el punto de vista de todos los integrantes, como para solucionar un problema o dar el siguiente paso en la investigación, ahora las formas de comunicación por redes y plataformas diversas aumentaron la eficiencia en los procesos. Sin embargo, todo es

cuestión de adaptarse a los cambios y en poco tiempo, la organización a través de reuniones programadas con fecha y hora, en la que todos debíamos estar para expresar nuestras inquietudes y dar solución a cada una de ellas, se hizo vital. Se puede decir, que fue difícil al principio, pero de manera progresiva se fueron adquiriendo o madurando habilidades y posibilidades, como el auto aprendizaje, la organización y la productividad. Se fortaleció el uso de dispositivos y herramientas digitales y ofreció nuevas maneras de recoger y procesar información, para los investigadores. (Aguilar, et. al. 2021).

Los testimonios de los estudiantes destacan que, las exigencias de esta nueva situación demandaron el uso de la creatividad y de formas diversas de hacer la actividad científica, con el apoyo de la tecnología y las comunicaciones. Dicen Aguilar, *et.al.* (2021) que “por la contingencia, se hizo visible una nueva forma de aprendizaje, puesto que antes de la pandemia, aunque se realizaban llamadas y reuniones de forma online, no eran tan frecuentes como lo fue durante estos últimos meses”. Este aprendizaje, “Prácticamente, se volvió una rutina y una parte más de la vida cotidiana. Se puede decir que al principio fue un reto, sin embargo, poco a poco se fueron acoplando a esta nueva metodología” (Aguilar, *et.al.*, 2021)

Parody, *et. al* (2021) argumentan que: “el reto en estos momentos es aprovechar el aprendizaje logrado con las herramientas de toma, procesamiento y análisis de información, y convertirlos en herramientas de uso frecuentes en toda actividad investigativa, ya que detrás de cada problema hay una oportunidad de mejora”.

Lo que en principio pudo ser un obstáculo, terminó siendo una oportunidad para aprender y mejorar las actividades de escritura y registro de datos en procesos de formación en investigación, proporcionando “una nueva cultura del teletrabajo, a solo una llamada de distancia para conversar o solucionar algún problema. Al mismo tiempo estar a muchos metros de distancia uno del otro limitó el ejercicio de la experimentación, vital en la formación investigativa de los y las ingenieros (as)” (Aguilar, *et.al.*, (2021).

Finalmente, los estudiantes manifiestan que “[r]ealizar este trabajo de investigación fue un gran reto y una gran responsabilidad en la cual obtuvimos resultados muy satisfactorios y gratificantes. Se dieron diversos

obstáculos tanto personales como profesionales los cuales asumimos y se aprendieron a superar” (Ramírez, et. al, 2021).

A raíz de estar en esta situación de confinamiento y aunque en principio fue difícil, se adquirieron y fortalecieron habilidades y cualidades, como el auto aprendizaje, la organización, la productividad, etc. Cualidades que sin vivir esta situación provocada por el COVID-19 no se hubiesen desarrollado de manera tan rápida como se hizo y que sin duda, son de gran importancia para los estudiantes; además, suma mucho valor como profesionales; pues se ha vivido en un mundo en donde las relaciones se basaban mucho en el contacto físico entre personas, cambiando a en un mundo en que la realidad de encuentros a través de una cámara o solo escuchar la voz de la otra persona, definitivamente ha brindado enseñanzas que han provocado madurar en todos los aspectos de las vidas de muchos jóvenes. (Aguilar, et. al. 2021).

Dueñas, et. al (2021) afirman:

La experiencia que se tuvo en la escritura de este capítulo fue muy grata, comenzó como una oportunidad dada en el mejor momento, ya que como grupo de investigación se llevaba un tiempo trabajando en la búsqueda de información que estaba lista para ser expuesta; la publicación del capítulo permitió dividir el proyecto en dos partes: por un lado, el desarrollo y selección del eje principal de la problemática por medio de antecedentes que justifican el proyecto y por otro, dio la posibilidad de presentar el desarrollo de resultados en otro documento.

Complementan diciendo que: “por temas de contingencia fue necesario trabajar a distancia, por lo que la comunicación y la confianza fueron de suma importancia para presentar todas las ideas planteadas”.

Referencias

Aguilar, I., Atencia D, Lindo, B., García, G. y Suarez, D. (2021). *Las Cartas interactivas para restaurantes como alternativa innovadora en época de pandemia.*

- Dueñas, D, Alfonso, M. y Aguirre, F. (2021). Evaluación de las condiciones mecánicas para el diseño del tren motriz para un vehículo de la categoría prototipo en la competencia Shell Eco-marathon.
- IESALC (2020). Covid -19 y educación superior: de los efectos inmediatos al día después. <https://www.iesalc.unesco.org/wp-content/uploads/2020/05/COVID-19-ES-130520.pdf>
- Miguel, J. (2020). Investigación en tiempos de contingencia. Rlee Nueva Época (México). Volumen I número especial. Pág 13–40. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552020000100005
- Parody, A., Álvarez, A. y Amaya, L. (2021). Diseño de estrategias para el incremento de la productividad de la línea de empaque en una planta procesadora de café en la región caribe colombiana.
- Ramírez, J., Calderón, L. y Fuentes, E. (2021). Estrategias para el impulso y crecimiento sostenible del turismo de naturaleza en el municipio de Ramiriquí.

2

Algunas reflexiones en torno a la formación del estudiante universitario en y para la investigación, en tiempo de pandemia



Luz Mery Guevara Chacón

Licenciada con estudios principales en Psicología y Pedagogía. Magister en Desarrollo Educativo y Social. Candidata a doctora en Pensamiento Complejo y Filosofía. Docente de la Universidad Libre. Facultad de Ingeniería, área de humanidades. Grupo de Investigación IDEPI. Semilleros Ingeniería y Sustentabilidad y Markay

Luz Marina Martínez

Fonouadióloga. Especialista en Salud Ocupacional. Magíster en Desarrollo Educativo y Social. Docente asistente de carrera de la Escuela de Ciencias de la Salud - ECISA de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Richard Ducón Salas

Licenciado en Ciencias Sociales. Magister en Historia. PhD en Historia. Docente de la Universidad de Cundinamarca, Facultad de Educación, programa de Ciencias Sociales. Grupo de estudios sobre identidades y representaciones contemporáneas. Semillero Historia de Cundinamarca

El origen de la reflexión

En el marco de las políticas que promueven la formación para la investigación en Colombia y desde la visión y la misión de las Universidades: Universidad Libre, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Universidad de Cundinamarca, y Universidad de la Salle, se suscita una reflexión que origina un proyecto de investigación titulado “Prácticas Pedagógicas que sustentan la Formación en y para la Investigación, en universidades colombianas en tiempo de pandemia”; su propósito es caracterizar las prácticas pedagógicas a través de las cuales, se forma a los estudiantes en y para la investigación, antes y durante la pandemia causada por el COVID-19, con el propósito de recuperar estos saberes y experiencias formativas tanto al interior de los currículos, como de los Semilleros de Investigación, en donde se resignifican dichas prácticas, que evidencian concepciones, valores y sentidos, construidos en los encuentros y desencuentros interdisciplinarios de estudiantes y profesores, que convergen en la pluralidad de lo educativo, en el desarrollo ontológico y óntico del sujeto social; además en lo axiológico y lo praxeológico en la atención y formación de quienes serán los futuros investigadores.

Dado el carácter social de estas prácticas, se intenta una aproximación global de éstas, para explorarlas, describirlas y comprenderlas de manera inductiva a través de una investigación cualitativa de tipo descriptivo, que se desarrollará en un proceso flexible de cuatro fases: exploratoria, de indagación, de contraste y de interpretación. De conformidad con lo expuesto, este proyecto interinstitucional espera contribuir, tanto a la formación integral del investigador y del maestro, a través de procesos para el mejoramiento de las prácticas pedagógicas y de cualificación del quehacer docente, como al fortalecimiento del desarrollo del pensamiento lógico, reflexivo y crítico de los estudiantes de pregrado en las cuatro universidades participantes.

Este capítulo es una primera aproximación a las categorías fundantes, que soportan conceptualmente la investigación y el contexto de pandemia, como preámbulo a la presentación de resultados de investigación de semilleros que pertenecen a la Universidad Libre: sedes Bogotá y Barranquilla que tuvieron que entregar sus trabajos en dicha emergencia y apelaron a estrategias impensadas e innovadoras para lograrlo.

La emergencia sanitaria y las prácticas pedagógicas

Se considera que la emergencia sanitaria causada por la enfermedad Covid-19, trajo consigo el cierre temporal de las instituciones de educación superior (IES) durante varios meses del año 2020, afectando según la UNESCO-IESALC (2020), aproximadamente a unos 23,4 millones de estudiantes y a 1,4 millones de docentes en América Latina y el Caribe.

Todas las instituciones educativas, se vieron abocadas a la búsqueda de soluciones que permitieran la continuidad de los procesos académicos, lo cual se logró gracias a la inclusión de herramientas digitales y ecosistemas institucionales que las soportan, inicialmente sin la debida planificación de la docencia, ni de ajustes metodológicos y de evaluación requeridos, condiciones que evidenciaron “carencias y desigualdades tanto en la disponibilidad de dichos recursos como en la preparación de profesores y alumnos para transitar hacia las modalidades de educación a distancia” (Alcántara, p.76), así como el peligro de un incremento en la deserción, además de nuevos elementos a considerar en la carga financiera para los estudiantes, los padres de familia y las mismas instituciones educativas.

Aunque se ha respondido a esta urgencia de manera un tanto digna y se ha logrado mantener la actividad de los profesores y de los estudiantes, en muchas IES se comparte la sensación de haber logrado superar esta prueba, tal como lo afirman Hodges, Moore, Lockee, Trust y Bond, como se cita en García-Peñalvo y Corell (2020): “...aun siendo conscientes de que se ha llevado a cabo de una forma urgente y sobrevenida, por tanto, lejos de poder compararse con iniciativas específicamente diseñadas desde su concepción para impartirse online, subyace una cierta percepción optimista de un gran avance en la adopción y aceptación de las tecnologías para el aprendizaje” (p.84).

Un año después, aun cuando las IES han madurado de manera progresiva, la consolidación de soluciones tecnológicas y adaptación de sus estrategias pedagógicas y didácticas, parecen estar lejos de transformar la educación, en particular la superior, sin embargo, ha problematizado asuntos relacionados.

La investigación formativa: en y para la investigación

En Colombia, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación promueve y fomenta políticas para la formación en la investigación, que en las instituciones de

educación superior son agenciadas por docentes, investigadores y estudiantes, quienes organizados en grupos desarrollan actividades de investigación que contribuyen a la consolidación de la ciencia, actividad en esencia colectiva, posible gracias a la suma de las capacidades individuales que permiten la construcción de nuevos conocimientos que generan cultura y, a su vez, buscan la transformación de la sociedad (Universidad de Antioquia, 2019).

De lo anterior, se desprende la necesidad de analizar los conceptos de investigación y de investigación formativa, que según Hernández (2003), la investigación propiamente dicha, “alude de modo preciso a la creación de conocimientos que desplazan las fronteras de una disciplina” y la investigación formativa refiere a “los procesos de construcción de conocimientos en el trabajo o en el aula que guardan analogías procedimentales con la investigación en sentido estricto” p.184, es decir, formación en investigación.

La formación en investigación y para la investigación se realiza en el contexto universitario, de manera transversal, a través de los diferentes cursos o asignaturas, por lo general, de carácter interdisciplinario, en los que se refuerzan habilidades de pensamiento crítico-científico y, de manera situada en cursos metodológicos que se imparten por lo general, finalizando el plan de estudios, en cursos o asignaturas denominados seminarios de investigación o propiamente, cursos de metodología de la investigación, en los cuales se proveen contenidos metodológicos, para ser transferidos a la formulación de anteproyectos centrados en problemáticas del contexto disciplinar o interdisciplinar como sucede en programas de especialización y de maestrías de profundización. De igual forma existen espacios que se reconocen como oferentes de formación y transversalización del currículo entre los que se cuentan los semilleros.

En la relación docencia e investigación, la investigación formativa se constituye en apoyo del proceso enseñanza-aprendizaje, como enseñanza a través de la investigación o enseñanza usando los métodos de investigación. La investigación formativa tiene dos características adicionales fundamentales: “es una investigación dirigida y orientada por un profesor, como parte de su función docente y los agentes investigadores no son profesionales de la investigación, sino sujetos en formación” (Miyahira, 2009, p 119). Debe servir para que el estudiante potencie sus aptitudes, desarrolle habilidades y competencias y se apropie de conocimientos teóricos y prácticos necesarios para el ejercicio de la actividad investigativa; el profesor funge como estrategia pedagógico para que el trabajo científico de los estudiantes opere (Parra, 2004). En este

sentido, propende por la reelaboración educativa y pedagógica a partir de los mecanismos de acción y práctica, en la medida que se apropia de los elementos necesarios para el desarrollo del pensamiento pedagógico en torno a la investigación, de esta manera se concibe como un generador de metodologías y de nuevos contenidos (Mejía, 2011). Dice Restrepo (2004) que, esta es una formación en investigación y para la investigación, a través del desarrollo de actividades investigativas que articulan la lógica de la investigación y aplican métodos propios de ella.

De acuerdo a lo arriba planteado, el profesor hoy se configura como un agente del reencuentro del conocimiento práctico pedagógico y la elaboración teórica, potenciado por la necesidad de identificar las tendencias en la investigación y reflexionar sobre la interacción entre estas, es un sujeto que en su observación histórica de las tradiciones evidencia cómo se van correspondiendo las políticas de la ciencia, la educación y el desarrollo. En la investigación formativa es posible identificar lo que ha surgido y está surgiendo en términos cognitivos, incluso lo que se comparte de la evolución investigativa y pedagógica en contextos disciplinares y transdisciplinares en un mismo momento histórico (Gibbons, 1997).

No obstante, el maestro en su sensibilidad tendrá que estar atento a lo que implica el reconocimiento y la institucionalización de los saberes, muchas veces instituidos en conocimiento mediante “tribunales de la razón” para definir lo que es ciencia y lo que no lo es, exponiendo a la sociedad las formas en que se excluyen o aíslan saberes y conocimientos. En el horizonte de estas dinámicas el profesor vive la experiencia de la investigación en contexto, y por tanto promueve un cambio ontológico y cognitivo al poner la relación de los sujetos implicados en la investigación en una relación simétrica, presionando en algunos casos los cambios en las instituciones, las disciplinas y las prácticas.

En los procesos de investigación formativa se incide en el análisis y la sistematización, se encuentra incluso, el énfasis en la categoría de praxis en cuanto que la reflexión y la crítica es permanente y otorga un valor a la acción. Este tipo de investigación que realiza el profesor en contexto va más allá de los procesos colaborativos pues tiene que imaginarse la integración de los sujetos partícipes, así como la construcción de los consensos sobre los que se inicia, los presupuestos conceptuales, las prácticas metodológicas, e incluso las implicaciones extra cognitivas que tienen que ver con la relación y distancia entre un maestro formador y uno en formación (Ávila, 2004).

En esta dirección, el profesor que lidera estos procesos es un potenciador de las capacidades y talentos, señala las bifurcaciones posibles en los diseños y ejecuciones, es consciente de los procesos cognitivos comprometidos en el análisis de la investigación (Morse, 2003). Así mismo, está atento a la importancia de que se compartan los códigos temporales y espaciales con los estudiantes – facilitando que operen como se mencionó arriba– pues es la base para las prácticas de enseñanza en contexto, y de la creación de los significados y sentidos de los proyectos, los diseños, los métodos y las técnicas sobre los cuales estos pueden orientar sus indagaciones teóricas y empíricas, igual que la discusión crítica de las diferentes opciones teóricas y metodológicas de la investigación. De esta manera su reflexión sobre la naturaleza de la investigación y la educación se asume como mediación cultural en distintos modelos de organización (Ávila, 2004).

La Investigación formativa como estrategia pedagógica para el desarrollo curricular hace parte de la investigación didáctica que, a su vez, es connatural a la función docente universitaria (Parra, 2004), que entronca con la investigación formativa porque:

- a) su intención curricular sigue el camino para el desarrollo de procesos de enseñanza aprendizaje vinculados a objetos de estudio disciplinares o multidisciplinares.
- b) es pertinente en cuanto está orientada por los objetivos curriculares y los propósitos de formación del programa.
- c) está orientada por profesores y los estudiantes son sujetos en formación
- d) la función metodológica se subordina al interés pedagógico.

El docente investigador desarrolla un estilo que fomenta el aprendizaje autónomo, la curiosidad y el rigor intelectual, por lo que las estrategias, asignaturas y espacios de formación investigativa se convierten en contextos propicios para el abordaje de problemas y fenómenos de realidad que suponen una mirada desde la complejidad: profesor y estudiante, con la posibilidad de construcción y reconstrucción del conocimiento, haciendo uso de herramientas de la investigación. El aprendizaje basado en problemas y en proyectos seguramente ofrece en esos espacios curriculares oportunidades para el desarrollo y fomento del pensamiento crítico y la actitud indagadora, propios de la investigación.

El fortalecimiento curricular, como se ha expresado desde Mineducación (Guía, 2017), se ha querido entender como una serie de acciones de reflexión pedagógica para incidir en mejores aprendizajes para lo cual se pone en el centro

el “desarrollo integral de los estudiantes en el marco de las competencias” con autonomía escolar. En la medida en que el currículo ofrezca experiencias de aprendizaje y oportunidades de proyectos a los profesores, potencia lo antes señalado sobre los contextos para el abordaje en la solución de problemas o atención a las necesidades desde la integración curricular, que incluye la investigación formativa.

La práctica pedagógica y la formación en y para la investigación

En este quehacer se llevan a cabo acciones y prácticas que vale la pena indagar y analizar de manera constante, aprender de ellas y rescatar sus bondades y dificultades, mejorarlas y fortalecerlas, en aras de develar si a través de ellas es posible desarrollar potencialidades para la indagación y pregunta permanentes, y condiciones para la construcción del pensamiento crítico, determinar si realmente existe la división entre la investigación formativa y la investigación propiamente dicha señalada por Hernández (2003), determinar el logro del tan anhelado pensamiento crítico, así como el de las posibilidades reales de la producción de conocimiento interdisciplinar y multidisciplinar.

La práctica pedagógica como resultado de esa relación entre teoría y acción, es el escenario de interacción entre diferentes actores con el propósito de desarrollar acciones, poner en contexto estrategias, posibilitar aprendizajes, suscitar diálogos, reflexiones y confrontar la teoría con la práctica. Pero, no solamente se preocupa por los aspectos mencionados, sino que, además, se preocupa por convertirse en un espacio de construcción de discurso alrededor del conocimiento. La práctica pedagógica abre la puerta a la investigación, apropiación de la didáctica desde el ámbito disciplinar, político y ético, no como un espacio desprovisto de interés, pues es intencionada. Si bien es cierto que la práctica pedagógica casi siempre se entronca al quehacer en las aulas, está presente en todos los ámbitos de formación que se construyen en los espacios educativos, en donde estudiantes y maestros comparten, un espacio transformador, un lugar de investigación, producción, creación y donde el compartir significativo de conocimientos, emociones, sensaciones e imaginarios convergen, en este caso en la universidad (Figuroa y Páez, 2008). Sin duda, se reconoce además que en ella se pone en juego el pensamiento, emoción y comprensión del mundo que el educador o formador asume de la vida, de lo cotidiano, de las múltiples realidades, en todo caso, un sujeto que se convierta en un agente transformador y reflexivo y que ayude a sus formados a enfrentar los retos de los diversos entornos que les rodean.

Podemos ver que esta práctica está regulada por el deber ser del maestro y su trabajo, que no se limita a su actividad de enseñanza, pues está regulado jurídica y administrativamente por unas funciones, pero que para este proyecto supera esta dimensión y abarca todas las áreas relacionadas con los procesos de formación que se realizan dentro del espacio y tiempo escolar. Analizar las prácticas pedagógicas desde lo meramente organizativo y legal, no corresponde a estas miradas como lo muestran Rockwell y Mercado (1988); la complejidad de esta práctica en la institución educativa, como categoría de análisis, permite comprender diversas realidades del docente de múltiples formas y desde diferentes aproximaciones (Tamayo, 2017) y que, en este caso, se centrarán en la formación en y para la investigación que se denomina investigación formativa. Esto implica un actor investigador más real que sistematice las experiencias para comprender y pensar de manera reflexiva las realidades y desafíos que nos plantea en perspectiva la investigación educativa y la formación para la investigación (Rojas y Castillo, 2016).

Es indudable la relación entre práctica pedagógica y didáctica; esta última, está formada por todas aquellas acciones que emplea el docente para formar y enseñar y que, también, está permeada por el conjunto de opiniones, ideas, ideologías, que habitan el pensamiento del profesor (Figuerola y Páez, 2008). Esas didácticas que en su mayoría usan mediciones de diferentes formas, proveen maneras de aprender y apropiarse el conocimiento en la relación pedagógica y posibilitan o dificultan ese aprendizaje. En este sentido, como referencia, en este proyecto es necesario pensar en las didácticas de las que disponen los profesores, que forman a sus estudiantes en la investigación, especialmente en el pregrado y a través de la figura de semillero.

En esta dirección, transitar por el aprendizaje teniendo presente la propensión a aprender y enseñar –otra forma de decir la propensión al otro y al propio ser-, aún en marcos institucionalizados, expresa una afectación mutua en donde el profesor como “mediador” orienta o guía los discursos generados en sus prácticas, así como provoca la generación de los “conflictos cognitivos” reconociendo en esta condición, una larga historia natural y cultural que tiene analogía en los procesos ontogenéticos y sociogenéticos.

Desde las primeras acciones en nuestro impulso por construir lo real, y desde las primeras interpretaciones sobre el mundo se reconoce la necesidad de la “provocación”, para la generación de los procesos cognitivos y afectivos vinculados a nuestra visión de mundo construida socioculturalmente; Rojas

y Castillo (2017 pp. 61-72), advierte que esta práctica está inmersa en los modelos pedagógicos, tanto teóricos como prácticos utilizados en los diferentes niveles de enseñanza: una pluralidad de conceptos pertenecientes a campos heterogéneos de conocimiento, retomados y aplicados por la pedagogía, están presentes en las formas de funcionamiento de los discursos en las instituciones educativas donde se realizan prácticas pedagógicas. En las características sociales adquiridas por la práctica pedagógica en las instituciones educativas de una sociedad dada que asigna unas funciones a los sujetos (maestro-estudiante) de esa práctica, en últimas, en las prácticas de enseñanza en los diferentes espacios sociales mediante elementos del saber pedagógico.

Tamayo (2017), reconoce la complejidad de la práctica pedagógica en el ámbito de la educación como una categoría de análisis desde la que se comprenden las múltiples realidades del profesor, la diversidad de sus acciones y las aproximaciones que convergen y operan de manera dialéctica en su quehacer. Hablar de esta categoría se refiere no solo al trabajo docente apoyado en estrategias, acciones, herramientas, metodologías, sino también a condiciones, derechos y responsabilidades; es histórica, política, ética y contextual. Es una práctica social y como tal, devela un agente socializado que ha internalizado prácticas condicionadas e incorporadas desde estructuras sociales externas; pero que también incorpora desde una construcción interna que Gutiérrez (2005) denomina *habitus*, que hace vida en interacción con lo externo, las cuales, según Zabala (citado por Rojas y Castillo, 2016), “contribuyen al desarrollo de las competencias cognitivas, las que posibilitan a los educandos una significación y comprensión de los conocimientos, interacciones” (pp. 61-72).

En este sentido cabe resaltar que esa práctica, en tanto social es subjetiva, recorre aspectos y dimensiones que son atravesadas por las concepciones, posturas y lugar que ocupa el maestro en el mundo y su reflexión es una acción social también: el profesor es “actor de la práctica” (Tamayo, 2017,p.7); es un sujeto histórico-psico-social que se construye a partir de su historia, de la interacción e interpretación de su mundo; su historia se teje en relación con la historicidad de la escuela y el contexto socio-cultural específico, lo que le permite reconfigurar su visión del mundo. Los procesos complejos de apropiación y construcción entre la biografía individual del maestro/a y la historia de las prácticas sociales y educativas de la escuela son un continuo en permanente intercambio, que a juicio del mismo Tamayo; implica no sólo al profesor sino a quienes comparten los escenarios del acto educativo.

Comprender la práctica pedagógica entonces como resultado de relaciones sociales implica a todos aquellos a quienes afecta. Además, reconocer la lógica desde la que actúan los agentes educativos en contexto, ofrece lecturas de las maneras en que las estructuras sociales, independientemente de la voluntad del profesor, influyen en sus prácticas en este caso pedagógicas, para la formación en investigación. Hacer conciencia y reflexionar sobre ello, además de evidenciarlo ofrece posibilidades para interpretar y entender estas acciones.

El interés por analizar las prácticas pedagógicas a través de las cuales se forman los estudiantes en y para la investigación, requiere de una concepción que posibilite su caracterización; para tal efecto se retoma la noción de Práctica pedagógica de Echeverry (citado por Rojas y Castillo, 2016), quien asume que en ella se deben considerar:

- a) Los modelos pedagógicos, tanto teóricos como prácticos utilizados en los diferentes niveles de enseñanza.
- b) La pluralidad de conceptos pertenecientes a campos heterogéneos de conocimiento, retomados y aplicados por la Pedagogía.
- c) Las formas de funcionamiento de los discursos en las instituciones donde se realizan prácticas pedagógicas.
- d) Las características sociales adquiridas por la práctica pedagógica, en las instituciones educativas de una sociedad dada, que asigna unas funciones a los sujetos de esa práctica.

Estos elementos sin duda, guiarán en la presente investigación, la exploración de las prácticas pedagógicas de los docentes encargados de la formación en y para la investigación, que también se interesa en recoger la experiencia de estos docentes en la creación de semilleros y la formación de semilleristas de investigación en las universidades, como otro espacio para dicha formación, por ello, algunos interrogantes que surgen en esta acción pueden resignificar el objetivo de esta dinámica universitaria, que implica afianzamiento de procesos de identidad y el desarrollo de conocimientos como base para la comprensión de las nuevas realidades del contexto planetario y universitario concretamente: ¿Qué innovaron a partir de esta formación en sus espacios universitarios?, ¿Cuáles son los principales rasgos que caracterizan la relación pedagógica de manera que provea oportunidades para desarrollar competencias para la investigación?, entre otras que puedan surgir al entrar en contacto con los relatos de los profesores, porque a partir de la nueva realidad

académica se podrán hacer estas lecturas propuestas, como otras que, hoy por hoy, no se dilucidan de manera contundente. Desde otro lado, la investigación en la universidad como institución educativa debe trascender la actividad práctica y aplicada, para convertirse en un estudio sistemático del hecho educativo como investigación pedagógica, para este caso la investigación formativa la cumplen los semilleros de investigación. Pero, además, surge la inquietud por contrastar la necesidad de esta formación en tiempo anteriores a la pandemia con las que se llevan a cabo en ella.

Los semilleros y la investigación formativa

Los semilleros de investigación se conciben como la herramienta que permite proyectar a los futuros investigadores, quienes, desde su formación de grado, *“tendrán la responsabilidad de generar ciencia e innovación para el país, entre otros conceptos que se desarrollarán más adelante”*. De acuerdo con ello, se reafirma el semillero como un espacio intergeneracional y transdisciplinar en el que se trasciende el currículo formal, y se abre el diálogo en una profunda relación diádica. Este aspecto extracurricular viabiliza en los estudiantes sus encuentros con las líneas, los proyectos y los grupos de investigación, con la oportunidad de romper y trascender los mapas que da la universidad para ir a los territorios y “perdersé”, formular hipótesis y reevaluar lenguajes de una manera más libre, transitando por el aprendizaje desde su propio interés.

Quintero, et.al (2008) y Saavedra, et.al. (2015) coinciden en el valor de los semilleros, como espacios semilla, para impulsar la formación investigativa de los estudiantes, como una actividad extracurricular, lo que representa ventajas, tales como no restringir la participación de los estudiantes, al liberarse de la rigidez curricular, que imponen los prerrequisitos o correquisitos de actividades investigativas propias de la investigación como opción de grado. Pero también, pueden sufrir limitaciones en su crecimiento al verse afectados por limitaciones de orden presupuestal, sistema de contratación docente, dada la práctica extensiva de contratar docentes ocasionales en mayor número que los docentes de carrera, en vías de extinción en muchas universidades, por cuenta de los graves problemas de financiación que atraviesan las instituciones de educación superior públicas y privadas, en tiempos de pandemia, como lo vívido en el país desde el año inmediatamente anterior y el año en curso, amén de vacíos y contradicciones de orden legal, tal como la que se presenta en los recientes criterios de medición de grupos de investigación del Ministerio de Ciencias, frente al papel de los semilleros en dichos criterios.

Por su parte, Trujillo (2007), considera que la iniciativa de formación en semilleros de investigación, permite: “proveer a los jóvenes estudiantes de imaginarios de futuro, que faciliten la construcción de visiones articuladas posteriormente en proyectos...” p.26; a través de los cuales, puedan desarrollar su potencial y lograr ser más competentes, en contraste con las cátedras, en las cuales, se evidencia el divorcio entre la cotidianidad y la práctica, dada por la diversidad de contenidos fundamentados en concepciones o cosmovisiones producidas en otros entornos culturales, por ende, en realidades ajenas a las de los estudiantes, condición que puede influir en su comprensión y asimilación.

De ahí, que los semilleros de investigación, como grupos autogestionados y autónomos (Hernández, 2005), integrados por estudiantes que de manera libre y voluntaria, tienen la intención de complementar su formación en investigación, en un espacio más integral y, por lo general, que trasciende la formación disciplinar, con una dinámica más flexible que la de las cátedras o cursos, en la que vale reflexión sobre los problemas de la sociedad, sin la presión de la evaluación y bajo la tutela de un docente o un grupo de docentes, que comparten un propósito en común. Por ello, vale la pena su exploración para determinar sus interacciones y mecanismos a través de los cuales, se logra su coherencia y permanencia.

Investigación formativa y docencia

De conformidad con todo lo anterior, es indudable el papel de la investigación científica en la formación integral del estudiante universitario, representado por la investigación formativa, eje central en el proceso de adquisición de conocimientos y de desarrollo de habilidades, actitudes, aptitudes y valores, en los futuros egresados de los diferentes programas de grado. También es indudable la necesidad de indagar sobre la propia práctica del docente como formador de futuros investigadores, reflexionar sobre lo que hace y la manera cómo lo hace, busca explicaciones sobre su actividad, contribuye para que la pedagogía se constituya en un concepto de conocimiento propio de su quehacer, que no está relacionado con la transmisión de información, sino con la relación pedagógica que establece para formar su estudiante. El saber pedagógico, por tanto, no se refiere únicamente al hecho de enseñar, lo trasciende, para explicar lo educativo de una manera diferente. Se constituye en una construcción, un conocimiento frente a lo educativo que no solo tiene en cuenta el aspecto práctico, sino también, su fundamentación teórica. Este saber orienta una forma

de ser del docente al interior de la sociedad y genera una impronta específica, en cuanto a la configuración de libertad del pensamiento de los sujetos y sus relaciones con lo social. Zambrano (2006).

Sin duda, en estas condiciones aparece la relación estrecha entre investigación y docencia, relación connatural, toda vez que su objetivo son los procesos de formación curriculares, de aprendizaje y del hecho educativo mismo; dice Parra (2004), que implica coincidencia entre el sentido de la investigación y la enseñanza, en donde la formación de los estudiantes tenga sentido investigativo y la estructura curricular flexibilidad, en los contenidos, tiempos, estrategias didácticas y pedagógicas, y en los procesos administrativos que la respaldan. Así que, desarrollar acciones que favorezcan la formación investigativa de los estudiantes parte de fortalecer las mallas curriculares, de modo que el área de investigación y el campo de conocimiento esté involucrada en todas las etapas del proceso de enseñanza aprendizaje y no solo responda a asignaturas, o cursos, o espacios definidos para ello (Vallejo, 2020).

En esta dirección la materialización de los fundamentos normativos que las instituciones universitarias promueven de sus prácticas pedagógicas e investigativas, nos indican su incidencia en la transformación de los contextos donde docentes y estudiantes, ponen en juego y fortalecen sus capacidades y competencias en la identificación de los problemas y necesidades de los lugares de conocimiento.

Este territorio está representado a través de prácticas entendidas como el pensamiento y la acción de maestros y estudiantes en formación para la investigación: cómo se piensa el espacio y qué se hace en él, cómo se prepara y se comparten las experiencias, cuáles son las mediaciones y didácticas que se usan, qué referentes de evaluación se apropian y se aplican y finalmente, cómo se reconoce el profesor, el otro estudiante y la otredad en ese universo y territorio (Duque, Rodríguez y Vallejo, 2013). Entendiéndose también como práctica pedagógica la acción, que reconoce las relaciones de formación interpersonal y el ejercicio docente de compartir sus saberes a la luz de los conocimientos de los estudiantes, en diferentes momentos del llamado, juego de miradas: *mi mirada con la mirada con el otro; mi propia mirada y la mirada de los otros*; que se evidencian en el aula. Esta práctica se verá expresada en los resultados de ejercicios de investigación formativa como los que encontramos a continuación.

Referencias

- Duque, P., Rodríguez, J. y Vallejo, S. (2013). *Prácticas pedagógicas y su relación con el desempeño académico*. Colombia. Manizales. CLACSO. Tesis Maestría en Educación y Desarrollo Humano. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/alianza-cinde-umz/20140805022434/paulaandreaduque.pdf>
- Figuroa, N. y Páez, H. (2008). Pensamiento didáctico del docente universitario. Una perspectiva desde la reflexión sobre su práctica pedagógica. San Luis. Argentina. *Fundamentos en Humanidades*. Vol. IX. Núm. 18.
- García-Peñalvo, F. y Corell, A. (2020). La evaluación online en la educación superior en tiempos de la Covid-19. *Eusal revistas*. <https://revistas.usal.es/index.php/eks/article/view/eks20202112>
- Gibons, M. (1997). La nueva producción del conocimiento. Pomares. <https://www.dcc.uchile.cl/~cgutierrez/cursos/cts/articulos/gibbons.pdf>
- Hernández, C- (2003). Investigación e investigación formativa. *Nómadas*, (18),183-193. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105117890018>
- Hernández, U. (2005). Propuesta curricular para la Consolidación de los Semilleros de Investigación como espacios de Formación Temprana en Investigación. *Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa*, 11(2). <http://revista.iered.org>
- Lazo, G. (2019). La innovación educativa y su relación con las competencias investigativas en los estudiantes de la Universidad San Martín de Porra. *Alternativa Financiera*, 10, (1), 1-22. <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/AF/issue/view/266>
- Miyahira, J. (2009). La investigación formativa y la formación para la investigación en el pregrado. *Editorial Revista Med Hered*, 20 (3), 119-122. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rmh/v20n3/v20n3e1.pdf>
- Parra, C. (2004). Apuntes sobre la investigación formativa. Bogotá. Universidad de la Sabana. Facultad de Educación. *Educación y Educadores*. Vol 7, p. 57-77. <https://educacionyeducadores.unisabana.edu.co/index.php/eye/article/view/549>

- Quintero-Corzo, J., Munévar-Molina, RA. Y Munévar-Quintero, FI. (2008). Semilleros de investigación: una estrategia para la formación de investigadores. *Educación y Educadores*, 11(1), 31–42. <https://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=https://search-ebshost-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=35859298&lang=es&site=ehost-live>
- Rojas, L. y Castillo, M. (2016). La práctica pedagógica y su incidencia en el contexto educativo. *Rastros y rostros del saber*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 1(1), 60–72. <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/rastrosyrostros/article/view/9361>
- Rockwell, E. y Mercado, R. (1988). La práctica docente y la formación de maestros. *Investigación en la escuela*, (4), 65-78. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59114/La%20practica%20docente%20y%20la%20formaci%C3%B3n%20de%20maestros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Restrepo, B. (2004). La investigación-acción educativa y la construcción de saber pedagógico. *Educación y Educadores*. Num.7, 2004. Pp45-55. <https://www.redalyc.org/pdf/834/83400706.pdf>
- Saavedra-Cantor, C. J., Muñoz-Sánchez, A. I., Antolínez-Figueroa, C., Rubiano-Mesa, Y. L., & Puerto-Guerrero, A. H. (2015). Semilleros de investigación: desarrollos y desafíos para la formación en pregrado. *Educación y Educadores*, 18(3), 391–407. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.5294/edu.2015.18.3.2>
- Tamayo, J. (2017). La práctica pedagógica como categoría de análisis; acercamiento desde su construcción como objeto de investigación. San Luis Potosí. XIV Congreso de investigación educativa. <http://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v14/doc/1515.pdf>
- Trujillo, R. (2007). Los semilleros de investigación, una experiencia de formación en investigación para la inclusión social. *Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería*, (3), 22-34. https://www.acofi.edu.co/revista/Revista3/archivpdf/2007_1_7.pdf
- UNESCO-IESALC (2021). *¿Closing now to reopen better tomorrow? Pedagogical continuity in Latin American Universities during the pandemic* (13 de julio

de 2021). https://www.iesalc.unesco.org/wp-content/uploads/2021/07/Closing-now-to-reopen-better-tomorrow-FINAL_EN.pdf

Zambrano, A. (2006). *Contributions to the comprehension of the science of education in france concepts, discourse and subjects*. Atlantic International University. Tesis doctoral. doctor en Educación. <https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/Tesis%20Final%20Armando%20Zambrano.pdf>

Vallejo López, A. B. (2020). El papel del docente universitario en la formación de estudiantes investigadores desde la etapa inicial. *Educación Médica Superior*, 34(2). <http://www.ems.sld.cu/index.php/ems/article/view/1579>

3

Co-pirólisis de llantas usadas como alternativas de minimización y valorización de residuos¹

Gabriel de Jesús Camargo Vargas

Ing. Químico, Magíster en Ing. Química, Docente Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Mecánica, grupo de Investigación DETECAL de la Universidad Libre. Bogotá-Colombia, email: gabriel.camargov@unilibre.edu.co

Siby Inés Garcés Polo

Ing. Química, MsC, PhD., Docente Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Industrial, grupo de investigación GIDE de la Universidad Libre. Barranquilla-Colombia, email: siby.garces@unilibre.edu.co

Stefanny Katherine Frasser

Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre. Bogotá-Colombia, email: Jennyt-orosteguib@unilibre.edu.co

Jenny Tatiana Oróstegui Banderas

Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre. Bogotá-Colombia, email: estefannyk-frasserc@unilibre.edu.co

William Peña

Ingeniero Ambiental, Especialista en Gerencia Ambiental, Instituto de Posgrados, Universidad Libre. Bogotá-Colombia, email: Will_iam343@hotmail.com

1 Proyecto de Investigación Co-pirólisis de Biomásas y Neumáticos para la Obtención de Combustibles Limpios y Carbones Activos vigencia 2018 – 2021 financiado por el Centro de Investigación de la Universidad Libre, Bogotá- Colombia. Grupos de Investigación Detecal, Tecnoambiental. Investigador Líder: Gabriel Camargo



Introducción

El proceso de pirólisis consiste en la degradación térmica en ausencia de oxígeno de diferentes materiales, generalmente de desecho para la obtención de biocombustibles. Durante este proceso, se obtienen tres productos en fases diferentes: gas, líquido y un sólido (Carbón), con potenciales aplicaciones en el ámbito energético y medioambiental. La pirólisis de biomasas es una de las formas más eficientes utilizadas para la producción de los bio-carburantes y bio-aceites, estos últimos utilizados como combustibles para vehículos (Koray, Kubilay, & Karagöz, 2015); en relación con los bio-carburantes, sus aplicaciones van desde el uso en el tratamiento de suelos y la retención de carbono en el mismo (Marousek, 2013).

Muchos de los productos usados en la pirólisis, son materiales considerados desechos o residuos; en Colombia son producidos alrededor de 450 kilogramos al año de residuos sólidos per cápita, de estos solo el 35% son aprovechados en la producción de energía, reciclados o reutilizados (DANE, 2016).

De acuerdo con la Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios de Colombia, se estima que un 40% de la basura generada diariamente es materia orgánica, de esta un 60% y/o 70% puede ser aprovechada en forma de compostaje (Soto, 2020) o de forma energética. Muchos de los residuos de tipo orgánico, son enviados al basurero, dispuestos a cielo abierto, o en rellenos sanitarios cerca de 10.853.833 toneladas (Grupo Sectorial de Gestión de Aseo, 2018). Otros residuos, que son dispuestos en su mayoría a cielo abierto y con poco control en su disposición, son materiales como cauchos, llantas, neumáticos; algunos de estos son aprovechados de forma artesanal (6,2%), energética (71,9%) o son reencauchados a su proceso (17,2%). La mayoría de los neumáticos aprovechados de forma energética, son utilizados como combustibles en hornos de producción panelera, este tipo de actividad genera emisiones de gases contaminantes, carcinógenos y mutagénicos como los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y los Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (HAP). En la resolución 1326 de 2017, establece un sistema de recolección, selección y gestión de llantas Usadas y dista otras disposiciones para este tipo de residuos (Resolución 1326, 2017).

La llanta utilizada en la investigación es un material residual compuesto de caucho y plástico que contiene alta concentración energética y que genera

diferentes impactos ambientales negativos, debido que al ser un polímero artificial no es biodegradable, por otra parte, al momento de ser recolectada y por su gran tamaño representa un alto índice de contaminación visual y se convierte en nido de diferentes roedores que representan un peligro biológico a las comunidades aledañas, por ser vectores y transmisores de enfermedades.

En los últimos años se han llevado a cabo proyectos de investigación centrados en la descomposición térmica de residuos de llantas, con el fin de obtener combustibles que ayuden a la mitigación de los impactos ambientales generados por los combustibles fósiles, por tanto, es necesario avanzar en el desarrollo de sistemas experimentales y protocolos que permitan llevar a cabo procesos de pirólisis que contemplen, desde la preparación óptima de materia prima, su mezclado uniforme, el control de variables de proceso que proporcionen los mayores rendimientos y la obtención de productos, cuyo análisis y posterior tratamiento puedan ser aplicados a soluciones ambientales; los líquidos y gases para la producción de combustibles alternativos y los sólidos que, tras posterior activación (carbón activado) puedan ser aplicados en captura de CO₂, almacenamientos energético de metano o depuración de aguas y gases contaminadas.

El objetivo de esta investigación es implementar el proceso de pirólisis como alternativa de minimización y valorización de residuos altamente contaminantes y realizar una aproximación al análisis del ciclo de vida del proceso, para identificar los impactos ambientales generados y su relación con la gestión de residuos en el proceso; para ello, en este artículo se presenta inicialmente una descripción de las llantas residuales como materia prima y su caracterización físico-química, posteriormente se detalla el proceso experimental de la pirólisis como alternativa de minimización y valorización de residuos, la activación del residuo sólido para obtener carbón activado y finalmente se expone una aproximación metodológica para el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que permitirá identificar los impactos ambientales generados en el proceso de pirólisis y la gestión de sus residuos.

Revisión de la literatura

Colombia es un país de vocación agrícola, los residuos agroindustriales generados en estas actividades representan una oportunidad para la transformación termoquímica de los diferentes residuos de esta actividad en combustibles líquidos, gaseosos y subproductos sólidos con un valor técnico o económico (Brown, 2010). Con áreas de plantación tan extensas y

sin interconexión con la red eléctrica nacional los residuos generados por la agroindustria se pueden usar para transformaciones termoquímicas tales como: gasificación, pirólisis, licuefacción, combustión, torrefacción e hidrotratamiento entre otros. Una de las principales ventajas de usar los residuos lignocelulósicos es que no compiten por el recurso con el sector de alimentos, garantizando de esta manera un uso alternativo a los residuos. cuya disposición final es un problema ambiental por ser generador de vectores para insectos y roedores (Ministerio de Minas y Energía, 2017).

En Colombia se ha investigado sobre las transformaciones termoquímicas de los residuos lignocelulósicos empleando diferentes biomásas, por ejemplo: café, coco, pino, palma africana, cacao (Ramírez Rubio, Sierra, & Guerrero, 2011). Se ha evaluado el proceso de densificación de cuesco de palma, coco, cacao (Forero, 2014), para generar pellets o briquetas. En el caso de la gasificación se han investigado residuos de la caña de azúcar, del cacao, del arroz empleando como agentes gasificantes el aire, mezclas aire vapor de agua y dióxido de carbono. En cuanto a la pirólisis, los trabajos relacionados incluyen biomásas como residuos del cacao, pino, eucalipto entre otros residuos agroindustriales.

El proceso de pirólisis genera compuestos líquidos, gaseosos y un residuo carbonoso que se puede emplear como carbón activado o combustible (Dinesh, Pittman, & Steele, 2006). Una ventaja adicional la representa el hecho de que mediante la pirólisis es posible obtener compuestos combustibles líquidos que se pueden almacenar y transportar fácilmente, razón por la cual, encontrar condiciones favorables para la pirólisis de las biomásas constituye un campo de gran interés.

Algunas investigaciones han demostrado que la característica de la fracción líquida generada en la pirólisis depende de la materia prima empleada y de la forma de operación del sistema de transferencia de calor empleados en la condensación (Q, L, & W, 2009). Estos combustibles líquidos además de ser renovables pueden producirse cerca de las plantaciones y presentan ventajas ambientales tales como bajas emisiones de SO_x, y NO_x (A & S, 1999). Estos hechos positivos se ven disminuidos por la inestabilidad de las fracciones líquidas debido a la presencia de compuestos oxigenados que tienden a reaccionar fácilmente (A, E, J.F., S, & Y, 2004). Otros trabajos han demostrado que la co-pirólisis de biomasa con residuos de neumáticos mejora la calidad de las fracciones líquidas provenientes de la pirólisis en cuanto a densidad, viscosidad y composición elemental (Piotr, R. 2009).

Materiales y métodos

Llantas residuales como materia prima

La materia prima para esta investigación está constituida por caucho proveniente de neumáticos usados, fue adquirida de la empresa Biollantas S.A, empresa que se encarga de la recolección, adecuación y procesamiento de estos materiales y quien la proporcionó molida después de haber retirado de ellas el material metálico y otros componentes presentes en las llantas. Este material fue posteriormente molido por 15 minutos en un molino de cuchillas y tamizado en mallas de 40 a 100 mm hasta recolectar el tamaño de partícula de interés (1mm) un total de muestra de 200gr. En las Figura 1 se muestra el proceso de tamizado de la llanta residual.

Figura 1. Llanta Usada Tamizada.



Fuente: Autores (2020).

Caracterización de la materia prima

El proceso de caracterización de materias primas para la pirólisis, en este caso, de las llantas o neumáticos usados, se llevó a cabo por las técnicas experimentales de: FTIR, TGA y Análisis Elemental, para esto se utilizó Nitrógeno (N_2) como agente para el proceso y se sometió la llanta a una temperatura de $500^{\circ}C$ por un período de dos horas para lograr el proceso de carbonización.

El proceso de caracterización de la materia prima consistió en determinar propiedades tales como tamaño de partícula a emplear en la pirólisis, composición química de las llantas a través de análisis próximo y elemental, grupos funcionales presentes en las llantas mediante un espectro infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR). El comportamiento térmico de las muestras se estableció mediante análisis termogravimétrico (TGA).

Para obtener la composición química de la materia prima, las muestras de neumático molido se sometieron a los procedimientos normalizados (ASTM-D 3173, 3174, 3175 y 3172) (Barrera Rodriguez, 2017) para establecer los porcentajes de humedad, material volátil cenizas y carbono fijo.

Por otro lado, el análisis elemental de las muestras se efectuó en un Elementary microanalyzer Thermo Finnigan Flash (1112 Series), para establecer las cantidades de los elementos de carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y azufre presentes.

La determinación del espectro de infrarrojo se llevó a cabo con la transformada de Fourier (FTIR), realizada en un Espectrofotómetro Shimadzu IR Prestige 21 FTIR y el poder calorífico de la materia prima se determinó de acuerdo con el procedimiento señalado en la norma DIN 51900 (DIN, 2000) en un calorímetro Parr 1341 Oxigen Bomb Calorimeter pump (Soto & Nuñez, 2008).

La caracterización final de la materia prima consistió en un análisis termogravimétrico (TGA), que se realizó en un equipo Thermal Analysis System – HITACHI STA 7200, de acuerdo con el procedimiento normalizado en ASTM D 7582 (ASTM International, 2015), empleando una atmosfera de nitrógeno y una velocidad de calentamiento de 10°C/ min hasta alcanzar una temperatura de 1.000°C.

Sistema experimental de la pirólisis de llantas

Las pruebas de pirólisis se realizaron en un reactor de lecho fijo empleando una cantidad de 200 g de neumáticos y un tiempo de pirólisis de 2 horas, después de haber alcanzado la temperatura de 500°C con una velocidad de calentamiento de 10°C/min y un flujo de gas inerte (N₂) de 2 L/min. En las Figura 2 se muestra el sistema de pirólisis en el que se realizó.

Figura 2. Reactor Piroлизador.

Fuente: Autores (2020)

Para llevar a cabo las pruebas experimentales se siguió el siguiente protocolo:

- a. *Limpieza del reactor:* Se realiza con el fin de retirar residuos pasados de experimentos anteriores que pueden contaminar la muestra a estudiar y cambiar la calidad del resultado de esta.
- b. *Ingreso de la muestra a la celda:* Se tomó una muestra de llanta residual con un tamaño de partícula previamente seleccionado la cual se introdujo en el reactor.
- c. *Medición de flujo:* Con el rotámetro se realizó la medición de flujo de 2L/min, utilizando nitrógeno (N_2)
- d. *Establecimiento de condiciones:* Tasa de calentamiento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ y un tiempo de residencia de 2 horas. Estas, junto al flujo indicado anteriormente se mantuvieron constantes durante el proceso con el fin de obtener los 3 productos (Líquido, sólido y gas) para una pirólisis convencional.
- e. *Conexión a las trampas frías:* Se realizó la conexión de dos trampas frías, la primera consta de un envase con hielo que alcanza temperaturas alrededor de -10 ± 5 ($^\circ\text{C}$), con el fin de lograr la condensación de los gases y así recolectar el líquido condensado.
- f. *Conexión de trampa con hidróxido de sodio (NaOH):* En esta conexión se utiliza NaOH para lograr neutralizar los gases que no son condensables.

El proceso de pirólisis inicia a una temperatura de 17°C alcanzando niveles de $500 \pm 5^\circ\text{C}$, una vez alcancen la rampa de temperatura necesaria y termine la pirólisis, los productos obtenidos son recolectados, especialmente el sólido (carbón) y el líquido, se almacenaron en recipientes de plástico de cierre hermético.

Elaboración de carbón activado

Uno de los productos de pirólisis es el sólido carbonizado que posteriormente es activado químicamente utilizando el KOH como agente activante. La relación másica de agente activado a carbonizado fue de 3, seguido de un proceso de calcinación a 700°C por dos horas y de un proceso de lavado hasta que el agua usada tuviera un pH de 7, posteriormente el carbón se secó en una estufa a 60°C por un período de 12 h, después de lo cual se realizaron TGA del carbón no activado y del carbón activado sometido.

Aproximación de ACV del proceso de pirólisis de llantas

Un valor añadido de este trabajo es el de realizar una revisión detallada de la implementación de ACV, y otras herramientas de gestión ambiental como es el Análisis de Hotspots, en procesos termoquímicos como la pirólisis, usada como alternativa de gestión de la disposición final de llantas usadas.

Resultados y discusión

Caracterización del material

En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados de análisis próximo y análisis elemental de las llantas residuales.

Tabla 1. Análisis Próximo.

Componente	Porcentaje (%)
Humedad	0,905
Material Volátil	70,698
Cenizas	10,955
Carbono Fijo	17,443

Fuente: Autores (2020)

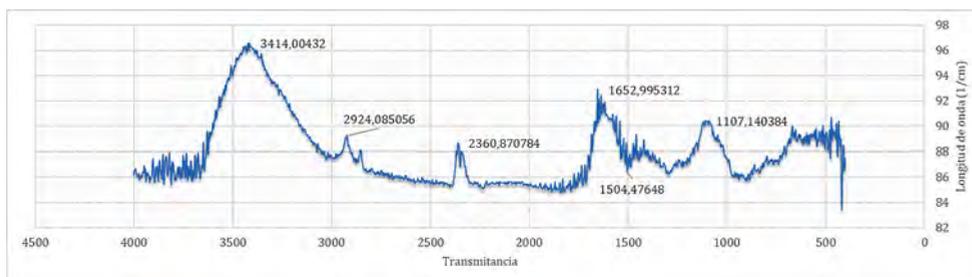
Tabla 2. Análisis Elemental de los Neumáticos.

Elemento	Porcentaje	Norma ASTM
Carbono	74,24	D - 4239-08
Hidrógeno	6,46	D - 5865- 04
Oxígeno	3,92	D - 5865- 04
Nitrógeno	2,62	D - 5865- 04
Azufre	1,49	D - 5373 - 08

Fuente: Autores (2020)

Como se muestra en la Tabla 1, el material de llantas residuales tiene un bajo componente de humedad. En cuanto al porcentaje de materia volátil se reporta la composición más alta de 70,698% y un porcentaje de carbono fijo de 17,443. Como se observa en la Tabla 2, es de esperarse que la mayor composición del material sea carbono. Las llantas son un desecho constituido por una mezcla de elastómeros como el caucho natural, butadieno y cauchos de estireno-butadieno, adicionalmente contiene negro de humo, refuerzos metálicos, zinc, azufre y otros aditivos, la llanta es un sólido que puede contener cerca de 74,24% de carbono. Las normas estándar para el análisis elemental fueron D - 4239-08 (ASTM International, 2008), D - 5865- 04 (ASTM International, 2008) y D - 5373 - 08 (ASTM International, 2016).

La caracterización del material se complementó con espectro fotogramas obtenidos del análisis FTIR. En la Figura 3 se muestran estos resultados.

Figura 3. Espectro Fotograma de las Llantas Residuales.

Fuente: Autores (2020).

En la Figura 3 se presentan los principales picos que corresponden a las interacciones entre los grupos funcionales que se detallan en la Tabla 3.

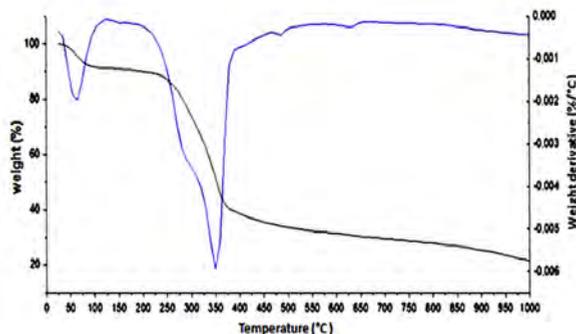
Tabla 3. Análisis de FT-IR de las llantas.

Rango de frecuencia (cm-1)	Frecuencia detectada (cm-1)	Grupo funcional
3600-2500	3414,00	Estiramiento O-H, N-H y C-H (intensas) o sobre tono estiramiento C=O
	2924,08	
	2850,46	
2400-2100	2360,87	Estiramiento de triples enlaces C=C
1700-1500	1712,78	Estiramiento del doble enlace: C=C en olefinas y aromáticos, C=N, N=O, NO ₂
	1652,99	
	1575,84	
	1541,12	
	1506,40	
1780-1600	1712,78	Estiramiento C=O en cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos, ésteres y amidas.
	1652,99	
1450-1300	1458,18	Flexión H-C-H en carbonos sp ³
	1419,60	
1300-1000	1107,14	Flexión R-C-O o estiramiento C-O en alcoholes, éteres cetales, acetales, ésteres, ácidos carboxílicos, estiramiento C-N en aminas, estiramiento C=S
	1047,39	
1000-800	937,40	Flexiones C=C-H en alquenos
	862,18	
	858,32	
900-690	862,18	Flexiones C=C-H en aromáticos
	858,32	
	794,67	
600-500	694,37	Estiramiento C-Br

Fuente: Autores (2020)

Los grupos que se asocian con las diferentes estructuras aromáticas y alifáticas existen en los materiales poliméricos constituyentes de las llantas residuales.

Por otro lado, en relación con los resultados termogravimétricos, en la Figura 4 se muestra el termograma (línea negra) y la primera derivada (línea azul) de la pérdida de masa del material en función de la temperatura, simulando las condiciones de carbonización dentro del pirolizador.

Figura 4. Termograma de las Llantas Residuales.

Fuente: Autores (2020).

Para el material de llantas se puede observar en la Figura 3 que la descomposición del material exhibe tres etapas, la primera a los 100°C correspondiente a la pérdida de masa de aproximadamente un 10%, relacionada con una eliminación de humedad; la segunda etapa ocurre entre los 250°C y 350°C que se asocia principalmente con la evolución de materiales volátiles e hidrocarburos de bajo peso molecular que refleja el inicio del proceso de decarbonatación y la tercera etapa se lleva a cabo en el intervalo de temperatura comprendido entre 350°C y 500°C, con la descomposición de las fracciones más pesadas de los polímeros constituyentes de los neumáticos. Con esta información se procedió a establecer las condiciones de los experimentos de pirólisis de las llantas, a una temperatura en la cual se garantiza la mayor evolución de productos de pirólisis que de acuerdo con el termograma se determinó en 500°C.

Productos de pirólisis y activación del sólido (carbón activado)

Del proceso de pirólisis se obtuvieron los tres productos típicos de la pirólisis: sólido, líquido y gas con las siguientes distribuciones porcentuales en peso: líquido 15,58%, sólido 40,75% y gas 40,48%. Como parte de otros proyectos de investigación en desarrollo, el producto de interés es el sólido dado que se tiene proyectado llevar a cabo estudios de captura de CO₂ y almacenamiento energético de CH₄ en el material activado (carbón activado). En este sentido, el producto sólido obtenido se caracterizó mediante análisis elemental y poder calorífico. La pirólisis es uno de los métodos más empleados para la obtención de sólidos porosos debido al proceso de degradación térmica, que promueve la obtención de estructuras carbonosas desorganizadas por la descomposición de unidades químicas lábiles a distinta temperatura.

En la Tabla 4 se exponen los resultados del análisis elemental del producto sólido dónde se puede evidenciar composiciones menores al del material de partida (llantas residuales) en la fracción de carbono y los porcentajes de hidrógeno y oxígeno, dado la formación de los compuestos líquidos y gaseosos.

Tabla 4. Análisis Elemental del producto sólido.

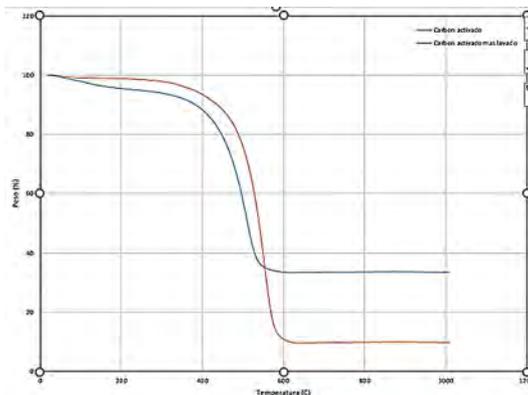
Elemento	Porcentaje	Norma ASTM
Carbono	58,95	D - 4239-08
Hidrógeno	1,05	D - 5865- 04
Oxígeno	2,12	D - 5865- 04
Nitrógeno	0,64	D - 5865- 04
Azufre	1,24	D - 5373 - 08

Fuente: Autores (2020)

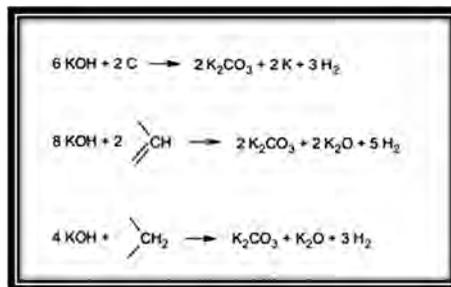
En el caso del poder calorífico, el valor obtenido para el producto sólido fue de 19.14 MJ/kg, el cual es superior comparado con otras biomásas como el cuesco de palma (18.4 MJ/kg) y en el orden de otros materiales de llantas residuales mezcladas con biomásas (Rodríguez, Trejos, & Vargas , 2019), lo que indica el gran potencial que tienen los residuos de llantas para ser usados como combustible especialmente en áreas rurales o aisladas donde el acceso a fuentes energéticas es limitado.

Finalmente, tras el proceso de activación del producto sólido con KOH se obtuvo un Carbón Activado que se caracterizó por análisis termogravimétrico. En la Figura 5 se exponen los termogramas para el carbón activado obtenido y el resultante tras un proceso de lavado.

Al comparar los termogramas para los residuos crudos y después del proceso de impregnación, se observan cambios en la tendencia, debido al efecto de agente activante KOH. La activación consiste en eliminar los átomos de carbono formando una estructura porosa del carbón obtenido en la pirólisis. A continuación, en la Figura 6 se muestran algunas de las reacciones químicas que pueden hacer posible la explicación de la activación (Castro, 2013).

Figura 5. Termograma del Carbón Activado.

Fuente: Autores (2020).

Figura 6. Reacciones químicas relacionadas con el proceso de activación con KOH.

Fuente: Castro (2013).

En las anteriores reacciones se puede observar que el KOH reacciona con el precursor carbonoso formando carbonato potásico, óxido potásico y potasio metálico, que luego son eliminados en la etapa del lavado exponiendo finalmente la estructura porosa del carbón ya activado.

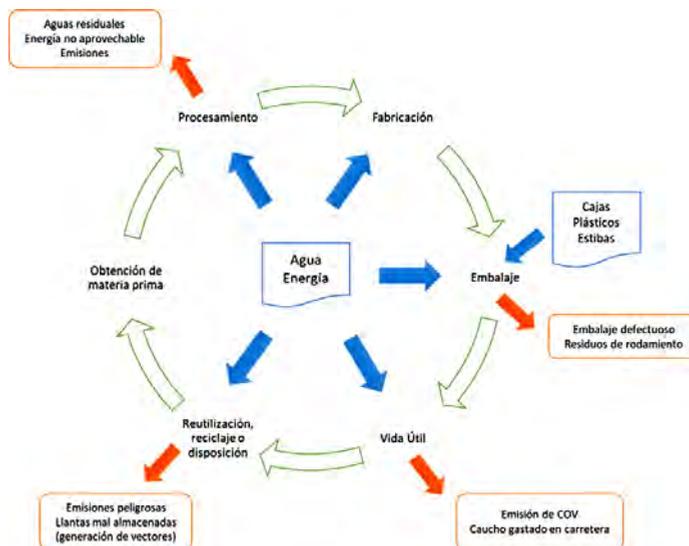
Aproximación al análisis de ciclo vida

El ciclo de vida de las llantas usadas empieza en su proceso de fabricación, una vez se tiene el producto listo pasa a la etapa de embalaje, allí es puesta en cajas, plásticos o estivos para su posterior distribución. En tanto empieza su vida útil, es capaz de generar emisiones de COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) y caucho gastado que queda en carreteras, siguiente a su vida útil, son dispuestas de varias formas, las más características son la reutilización, el reciclaje y la disposición en basureros o rellenos sanitarios. En estos últimos casos llegan a

generar emisiones peligrosas por el mal estado de almacenamiento y pueden generar vectores como roedores que afectan la salud y salubridad de las comunidades cercanas.

Algunos residuos de llantas posconsumo, son reutilizados y se convierten de nuevo en materia prima para ser procesadas y devueltas. El ciclo de fabricación inicial de las llantas, en su etapa de procesamiento libera aguas residuales, algunas energías no aprovechadas y emisiones contaminantes. En todo el ciclo de producción, consumo, disposición y reintegración, se genera un gasto de energía y agua. En la Figura 7 se presenta el ciclo de vida de la llanta, con sus aspectos e impactos, así como su principal consumo y materias necesarias para su producción.

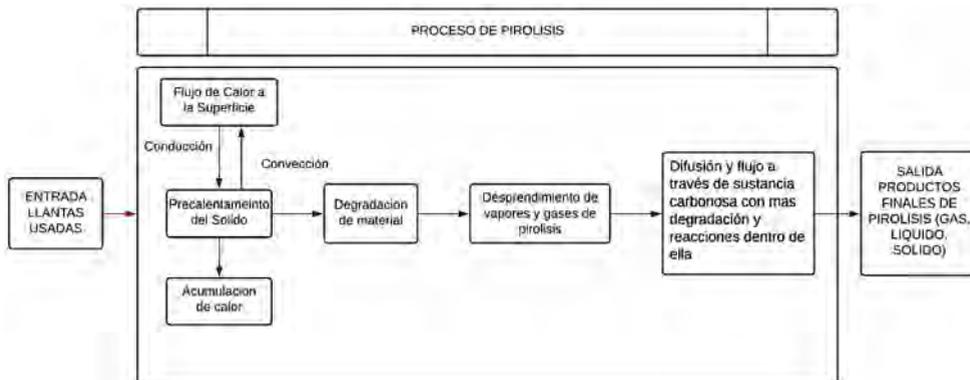
Figura 7. Etapas del ciclo de vida de la llanta.



Fuente: Adaptado de Guía para el manejo de llantas usadas, primera edición, Cámara de Comercio de Bogotá. Bogotá D.C, Colombia, 2006.

En el caso del proceso de pirólisis. En la Figura 8 se explican con detalle las entradas y salidas del proceso.

Figura 8. Etapas del Proceso de Pirólisis.



Fuente: Adaptado de Niessen (1978).

Dentro de esta investigación, surge la importancia de realizar un análisis de los aspectos e impactos generados en el proceso de pirólisis de este material, tomando en cuenta, el ciclo inicial de producción de la materia prima (llanta), y los diferentes productos esperados de una pirólisis de este material. En este sentido, en la Tabla 5 se muestra la matriz de aspectos e impactos ambientales de acuerdo a la metodología de Hotspots.

Tabla 5. Matriz de Impactos Ambientales Siguiendo Metodología Hotspots.

	ENTRADAS			SALIDAS		
	Energía	Materia Prima	Agua	Emisiones Atmosféricas	Residuos sólidos	Vertimientos
Llantas usadas	Alto Impacto	Medio Impacto	Bajo Impacto	Alto Impacto	Medio Impacto	Medio Impacto
Proceso pirólisis	Alto Impacto	Bajo Impacto	Bajo Impacto	Alto Impacto	Medio Impacto	Medio Impacto
Gas	Alto Impacto	Medio Impacto	Bajo Impacto	Alto Impacto	Bajo Impacto	Bajo Impacto
Líquido Pirólitico	Alto Impacto	Medio Impacto	Bajo Impacto	Medio Impacto	Medio Impacto	Alto Impacto
Carbón (negro de humo)	Medio Impacto	Bajo Impacto	Medio Impacto	Medio Impacto	Alto Impacto	Medio Impacto
Crítico	Alto Impacto					
Significativo	Medio Impacto					
Moderado	Medio Impacto					
Menor	Bajo Impacto					

Fuente: Autores (2020)

Como se puede observar en la matriz, se determina que, en la entrada, la energía es el recurso más demandado debido al funcionamiento de las maquinas tanto para la fabricación de la llanta como dentro del proceso de pirólisis, al ser de altas temperaturas, mientras, en las salidas se determina que las emisiones atmosféricas son impactos ambientales críticos, por la conversión del carbón pirolítico en gas, que, de no ser capturado o valorizado, puede ser muy contaminante. Sin embargo, es de recalcar que, de las tecnologías para el tratamiento del caucho de las llantas, la pirólisis es considerada como un tratamiento atractivo y de mínimos impactos ambientales frente a otros tratamientos termoquímicos (Martinez et al, 2013) debido a que todos los productos tienen una alta aplicación industrial que evidencia la valorización de las llantas como residuos contaminantes.

Conclusiones

En este trabajo se encontró que el proceso de pirólisis de llantas usadas es una alternativa interesante y sustentable no solo para la generación de productos con potencial para las aplicaciones ambientales o energéticas sino también, para la valorización de residuos, como los son las llantas usadas que actualmente aportan problemáticas ambientales y que representan un alto índice de desecho. Tras el proceso de pirólisis se obtuvo un material sólido, que posterior a su activación química mostro un valor de poder calorífico superior al valor registrado por materiales lignocelulósicos, como el cuesco de palma y se encuentra dentro del mismo orden de magnitud de los reportados en investigaciones con materias similares provenientes de residuos de llantas. El producto sólido de partida fue caracterizado por análisis termogravimétrico, FTIR y análisis elemental y próximo evidenciando un comportamiento relacionado con su composición y modificación química en la etapa de impregnación con el activante (KOH). Finalmente, se presentó una aproximación del análisis de ciclo de vida mediante la metodología Hostpots, que permitió tener un análisis de los aspectos e impactos ambientales de este proceso y la identificación de puntos críticos que al ser abordados en términos de valorización de los residuos indican que el proceso de pirólisis es una tecnología para considerar ya que proporciona un valor agregado a los residuos, no sólo de llantas residuales, sino también de los residuos recolectados en diferentes procesos industriales, además que resulta ser una técnica rentable y sostenible.

Los análisis y resultados de la pirólisis de estos materiales, se llevaron a cabo con la caracterización inicial de la mismas; sabiendo las propiedades de la

materia prima pueden estimarse los límites o rampas necesarias para el proceso, adicionalmente fue necesario un proceso de identificación del producto, en este caso de interés para la pirólisis fue su sólido, el carbón de la pirólisis se toma para una posterior activación con KOH y análisis de porosidad del mismo, para evaluar su posible uso a nivel industrial y ambiental.

La pirólisis, es uno de los métodos de aprovechamiento energético de residuos con un valor industrial alto, pues no sólo permite el aprovechamientos de residuos como biomásas, sino otros como las llantas, utilizadas en esta investigación; además, es una apuesta al sector energético e industrial, una técnica que puede aplicarse en varios sectores de la industria para una disposición final de residuos de producción, esta técnica también se puede hacer en combinación de materiales orgánicos e inorgánicos.

Referencias

- A, O., & S, C. (1999). Fuel oil quality of biomass pyrolysis oils - state of the art for the end users. *Energy and Fuels*, 13, 914-921.
- A, O., E, H., J.F., S., S, G., & Y, S. (2004). Fast pyrolysis of forestry residue and pine. 4. Improvement of product quality by solvent addition, *Energy amp. Fuels*, 1578-1583.
- ASTM International. (2008). ASTM D4239-08. Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods. West Conshohocken. doi:10.1520/D4239-08
- ASTM International. (2008). ASTM D5865-04. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. doi:10.1520/D5865-04
- ASTM International. (2015). Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis. ASTM D7582 -15. doi: <https://doi.org/10.1520 / D7582-15>
- ASTM International. (2016). ASTM D5373-16. Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke. West Conshohocken. doi:10.1520/D5373-16

- Barrera Rodríguez, J. (2017). Determinación y análisis del efecto de los diferentes tipos de oxidación sobre las propiedades plásticas del carbono. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3042/1/TGT_1627.pdf
- Brown, R. (s.f.). *Thermochemical Processing of Biomass: Conversion into Fuels, Chemicals and Power* Editorial Wiley 2010.
- Castro, M. C. (febrero de 2013). *Preparación de Carbones Activados con KOH a partir de Residuo de Petróleo. Adsorción de Hidrógeno. Preparación de Carbones Activados con KOH a partir de Residuo de Petróleo. Adsorción de Hidrógeno. Alicante.*
- DANE. (2016). *Cuentas Ambientales y Económica de Flujo de Materiales - Cuenta de Residuos Sólidos, en Unidades Físicas*. Recuperado el 17 de agosto de 2020, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-ambiental-csa/cuenta-satelite-ambiental-csa-indicadores#indicadores-cuenta-ambiental-y-economica-de-flujo-de-materiales-cuenta-de-residuos-solidos>
- DIN. (2000). *DIN 51900-1. Determining the gross calorific value of solid and liquid fuels using the bomb calorimeter, and calculation of net calorific value - Part 1: General information.*
- Dinesh, M., Pittman, C., & Steele, P. (2006). *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*. *Energy Fuels*, 848-889.
- Forero, C. (2014). *A densification mechanisms during solid biofuel production made of sawdust, coal, and cocoa husks by pressing*. Tesis Doctoral Universidad Nacional.
- Grupo Sectorial de Gestión de Aseo (2018). *Disposición Final de Residuos Sólidos Nacional Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos - 2018 Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos - 2018 Elaborado 2019*. 97.
- Koray, A., Kubilay, T., & Karagöz, S. (2015). *Pyrolysis of agricultural residues for bio-oil production*. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 211-223. doi: <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0778-8>

- Marousek , J. (2013). Two-fraction anaerobic fermentation of grass waste. *Science of food and agricultura*. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6046>
- Martinez , J. D., Puy , N., Murillo , R., Garcia , T., Navarro, M. V., & Mastral, A. M. (2013). Waste tyre pyrolysis – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 179-213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.038>
- Ministerio de Minas y Energia. (4 de febrero de 2017). Unidad de Planeacion Minero Energetico UPME. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/>
- Piotr., Rutkowski. (2009). Influence of zinc chloride addition on the chemical structure of bio-oil obtained during co-pyrolysis of wood/synthetic polymer blends. *Waste Management*, 2983-2993.
- Q, C., L, J., & W, B. (2009). Investigations into the characteristics of oils produced from co-pyrolysis of biomass and tire. *Fuel Processing Technology* 90, 337-342.
- Ramirez Rubio, S., Sierra , F. E., & Guerrero, C. A. (2011). Gasification from waste organic materials. *Ingeniería e Investigación*, 17-25.
- Resolucion 1326. (2017).
- Rodriguez, D. R., Trejos, O., & Vargas . (2019). Evaluation of the pyrolysis and co-pyrolysis process of palm shell and waste tyres in a co2 atmosphere. *Avances: Investigación En Ingeniería*. doi: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.5501>
- Soto , A. (2020). Solo el 17% de los residuos solidos en Colombia son Reciclados, Advirtio el DNP. *Agronegocios*. <https://www.agronegocios.co/clima/solo-el-17-de-los-residuos-solidos-de-colombia-son-reciclados-advirtio-el-dnp-2970019>
- Soto, G., & Nuñez, M. (2008). Fabricacion de pellets de carbonilla, usando aserrin de *Pinus radiata* (D. Don), como material aglomerante. 129-137. *Ciencia y Tecnología*. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2008000200005>

4

Aporte a las políticas de movilidad sostenible de Bogotá a través del análisis de accidentalidad de bici usuarios en Kennedy



Juan David Ojeda Alayón

Estudiante de pregrado. Departamento de Ingeniería Industrial. Semillero G-RISK, grupo de Investigación CINDES. Universidad Libre, Seccional Bogotá. juand-ojedaa@unilibre.edu.co

Daniel Alberto Bojacá Vargas

Estudiante de pregrado. Departamento de Ingeniería Industrial. Semillero G-RISK, grupo de Investigación CINDES. Universidad Libre, Seccional Bogotá. daniela-bojacav@unilibre.edu.co

Sonia Lucila Meneses Velosa

Ingeniera Industrial. Magister en Protección y Prevención de Riesgos Laborales, directora del semillero G-RISK, grupo de Investigación CINDES, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Industrial. sonial.menesesv@unilibre.edu.co

Introducción

Diversos estudios se han llevado a cabo para lograr la implementación de estrategias limpias de movilidad en la ciudad, usando como principal medio de transporte la bicicleta, por su economía, accesibilidad y versatilidad a la hora de adaptarse a todos los ambientes posibles. La necesidad de implementar este recurso vial surge como respuesta a los problemas ambientales que se han presentado en la última década alrededor del mundo (García, 2008).

Para este caso de estudio fue necesario reconocer las prácticas que en otros países se implementaron en cuanto al estudio y el análisis de la bicicleta como medio de transporte eficaz. La percepción de los riesgos, y peligros a los que se enfrentan los usuarios diariamente, exige la identificación de variables que inciden en la accidentalidad. Condensar los datos obtenidos permitió analizar de manera más efectiva los factores y su influencia directa sobre los usuarios, tal como lo demostró un estudio en la ciudad de Malang, Indonesia, donde se diseñó un modelo de probabilidad de accidentalidad de usuarios de bicicleta (Bici usuarios) en la ciudad. Los factores de la carretera son influenciados por las condiciones de la infraestructura vial que apoyan la comodidad, la seguridad y la protección al conducir. De igual manera, los tiempos ambientales adversos como la lluvia o neblina incidieron en los factores ambientales presentes alrededor del sitio de choque al afectar la visibilidad del conductor y demás actores viales en la conducción (Widyawati & Zainul, 2018).

Así mismo lo evidenció el estudio sobre las características de las colisiones de vehículos individuales con e-bikes en Suiza, donde identificaron las características de los accidentes simples en bicicletas eléctricas entre septiembre y noviembre del 2016 mediante encuestas y cuestionarios realizados a unos 3658 Bici usuarios quienes identificaron factores relevantes en la accidentalidad tales como la edad, el género y el peso (Hertach, 2016).

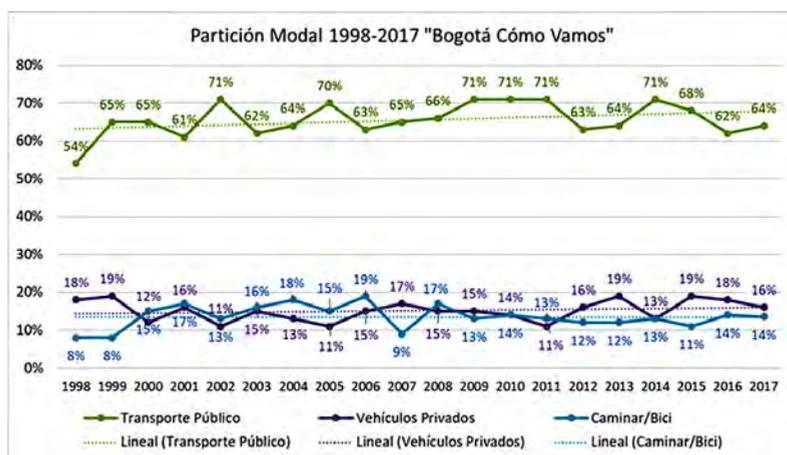
Concretamente en Latinoamérica pocos han sido los estudios en este campo, como el caso de la investigación sobre infraestructuras adecuadas para bicicletas, el cual abordó temas como seguridad, delincuencia y accidentalidad en la ciudad de Morelia, México, mediante la indagación en seis grupos focales se obtuvieron datos de percepción de los usuarios. Se concluyó que los residentes de la ciudad perciben las Ciclo vías como las más seguras, pero que los diseños deben ser diferentes a los de un país desarrollado, debido a que no se contemplaron

políticas específicas y evaluaciones contextuales (instalaciones para bicicletas que abordan la seguridad, la delincuencia y el desarrollo económico, 2018).

Otro ejemplo, fue la investigación en la provincia de Cienfuegos, Cuba, en el año 2009. Abordaron una caracterización de la mortalidad vial debido a accidentes de tránsito con participación de bicicletas mediante una investigación descriptiva de serie de casos en el Hospital General Universitario “Dr. Gustavo Aldereguía Lima”, analizaron los casos fatales junto con factores como edad, sexo, horario, región y grado de alcoholemia posible. La investigación concluyó que los accidentes de tránsito con bicicletas son más frecuentes en el sexo masculino en edades jóvenes y se relacionan con la ingestión de bebidas alcohólicas que generalmente afectan la región cefálica (Gómez, 2009).

Particularmente en Colombia, la bicicleta como medio de transporte económico, ambientalmente amigable y de fácil acceso es uno de los preferidos específicamente por los bogotanos para evitar el caos que trae el transporte público en la ciudad capital (Secretaría de Movilidad, 2017); esta tendencia se comprueba con los 880.367 viajes diarios en promedio que presenta la última Encuesta de Movilidad 2019, en donde se evidencia un aumento del 44% en el uso de la bicicleta en comparación con la cifra obtenida en la Encuesta de Movilidad 2015 (Secretaría Distrital de Movilidad, 2019). Bogotá posee el primer lugar en Sudamérica entre las mejores ciudades en temas de Ciclo vías, al contar con más de 530 km de ciclo rutas que son esenciales para los Bici usuarios, que proyectan una alternativa saludable de movilidad como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Uso de medios de transporte en la ciudad.



Fuente: Política Pública de Movilidad 2017-2019, Bogotá como vamos.

Adicional, la ciudad está entre las 4 primeras ciudades del mundo en hacer mejor uso de bicicleta en la pandemia, pero esto también representa un riesgo tanto para usuarios como para los demás intervinientes del espacio público, es decir, conductores y peatones (Secretaria Distrital de Ambiente, 2018).

No obstante, transportarse en este medio se ha convertido en un factor de riesgo para la integridad y la salud de los ciudadanos, pues según el Anuario de Siniestralidad de Bogotá del año 2019, solamente en Bogotá las víctimas fatales en bicicleta corresponden al 11% de las muertes ocurridas por accidentes de movilidad (Secretaria Distrital De Movilidad, 2019). De igual forma, presentan una alta exposición a material articulado y CO₂, y problemas de conectividad entre ejes viales principales lo que posiciona a Bogotá en el puesto 4 en accidentalidad mortal vial en Suramérica (Moya, 2020).

La movilidad se diversifica y se debe adaptar a los cambios en los desplazamientos y en los tiempos. En ese sentido, los horarios tradicionales de mayor congestión vial siempre presentan la mayor cantidad de accidentes, en contraste con los horarios de menor concurrencia (García, 2008). En la Figura 2 se muestra una imagen de una de las avenidas principales en la ciudad de Bogotá que presenta una alta congestión vehicular.

Figura 2. Avenida Boyacá a la altura de la calle octava en horario de mayor afluencia.



Fuente: Autores.

En relación con lo anterior, el proyecto optó por realizar métodos de análisis no convencionales o comunes, como la dinámica de sistemas, común en investigaciones similares (Díaz, 2019). En su lugar, se realizó un análisis descriptivo de probabilidades condicionales basadas en las frecuencias de los datos, análisis por método STEP y el uso de diversos modelos estadísticos con base en los estudios e informes de accidentalidad de Bici usuarios, para identificar los factores de alta incidencia en la ocurrencia de un accidente vial de un usuario de la bicicleta en la localidad de Kennedy; por lo tanto, hay que dar cuenta de los datos de identificación y análisis de causales del evento (Meneses, 2018).

Esto con el fin de aportar un contraste entre los resultados obtenidos y la política pública de Bogotá para que en un futuro se generen políticas específicas de movilidad ciudadana que sean de importancia y utilidad para el Ministerio de Transporte, la Secretaria de Movilidad y la alcaldía menor de Kennedy, al contribuir en la generación de estrategias de tratamiento de riesgos, métodos y medidas adecuadas en los corredores viales enfocados en la reducción, mitigación y prevención de accidentes y siniestros. Adicional, que tengan en cuenta las características particulares de esta localidad y de sus Bici usuarios en busca de una efectividad mayor, teniendo en cuenta que Kennedy es la localidad más grande de Bogotá y la que posee mayor número de usuarios de este medio de transporte, por ende, la que presenta mayores índices de accidentalidad.

Metodología de desarrollo

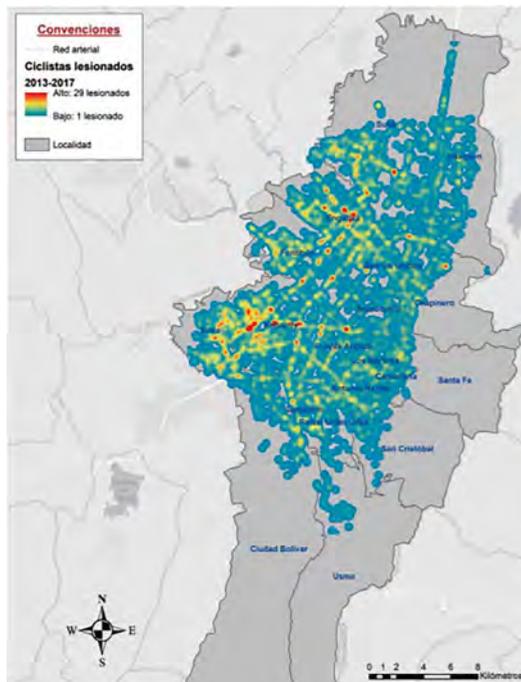
El tipo de investigación de este proyecto, según el nivel de profundización, es descriptiva y aplicada, pues se encarga de describir las características de la realidad de los accidentes viales de Bici usuarios con el fin de comprender los accidentes, de manera más exacta y generar estrategias que puedan ser empleadas en el abordaje de la problemática de movilidad. Por otro lado, es una investigación con un enfoque cuantitativo al recopilar datos numéricos para usar herramientas matemáticas e informáticas para medirlos.

La metodología empleada se presenta en etapas basadas en las fases del proceso investigativo, las cuales buscan identificar la información requerida para el estudio, determinar las fuentes de dicha información y establecer el método de análisis más adecuado y propender por la solución o mitigación de la problemática identificada (Significados, 2021).

a) Fase 1. Recolección de Información.

En esta fase se identificó el problema de estudio, es decir, los altos índices de accidentalidad vial para Bici usuarios en la localidad de Kennedy; se recolectaron datos de una fuente de información primaria mediante una encuesta virtual de 34 preguntas aplicada a toda la población de la Universidad Libre sede Bosque (Bogotá), que son usuarios de la bicicleta como medio de transporte frecuente (332 individuos); de información secundaria como estudios de localización, investigaciones previas y datos públicos y gratuitos de accidentalidad la cual fue suministrada por los organismos gubernamentales (Secretaría Distrital de Movilidad, Secretaría Distrital del Ambiente, 2018) (ver Figura 3).

Figura 3. Mapa de calor sobre accidentalidad de ciclistas en Bogotá por localidades.



Fuente: Anuario de Siniestralidad Vial, 2017.

Posteriormente, como se observa en la Tabla 1, se realizó la compilación de la totalidad de los datos los cuales cumplen con las características del enfoque de estudio, es decir, que sean habitantes de la localidad de Kennedy, que se movilicen en bicicleta y que hayan presentado un accidente vial.

Tabla 1. Tabla de recopilación de datos.

	Encuesta de percepción	Sistema de informes policiales de accidentes de tránsito (SIGAT)	Secretaría de Movilidad (SDM)
Número de datos	332	327	852
Año de información	2020	2019	2017-2018-2019

Fuente: Autores.

b) Fase 2. Tratamiento de datos.

Se procedió a analizar los datos compilados para interpretarlos de manera integrada y conjunta con el fin de definir qué variables son más relevantes, que otras variables, de manera técnica, se podían trabajar mediante la caracterización de los factores (ciclista o humano, el recorrido, el camino y accidentalidad ya ocurrida), pues se convierten en una herramienta indispensable para recopilar y analizar causas que permitan llegar a una posible solución de la problemática estudiada, ya que esta sigue un procedimiento de análisis para la seguridad vial que consta de los siguientes pasos: ramificación de la red de carreteras, período de análisis, recopilación de información primaria y procesamiento, caracterización a partir de índices de accidentalidad y jerarquización e interpretación de los resultados (García, Martínez & García, 2012).

Se realizó un análisis descriptivo por medio de probabilidades condicionales basadas en las frecuencias de ocurrencia de cada factor presente en el accidente, con base en el comportamiento del proceso de movilidad en bicicleta y las causales de accidentes reportados por los entes de movilidad y la encuesta a Bici usuarios de la Universidad Libre. Los datos son muy variables y aleatorios y este método permite incorporar cambios en el comportamiento de factores en conjunto y sucesos que desencadenan la ocurrencia de un accidente hacia un usuario. Es también un concepto básico requerido en la construcción del espacio muestral del producto; por ello, su correcta comprensión y el razonamiento sobre el mismo son requisito en el estudio de la asociación entre variables, la regresión y los modelos lineales (ver Figura 4).

Se utilizó de la información suministrada por la SDM aquella que proporcionaba mayor número de datos y características del suceso durante los años 2017 a 2019, a saber, género, día de la semana, hora del día, edad del individuo, vía por la cual transitaba (Ecuación 1) (Díaz, 2005).

Figura 4. Árbol de problemas para la caracterización de los individuos de estudio.



Fuente: Autores (2021).

Esta probabilidad se define como:

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$P(A/B)$: Probabilidad de que suceda el evento **A** dado que ya ha sucedido el evento **B**.

Eventos **A** y **B** con **$P(B) > 0$**

Dado que la totalidad de los datos son de accidentes ocurridos en la localidad (852) el evento A se reemplaza según si el accidente presentado fue leve “L” o fue de gravedad donde el Bici usuario implicado haya sido hospitalizado “H”, así como el evento B se reemplaza por los factores determinados como críticos dado su porcentaje de frecuencia, a saber:

- m = género (masculino)
- v = día del accidente (viernes)
- t = hora del suceso (7 - 8 am)
- e = edad del implicado (21 - 30 años)
- By = vía principal en donde se presentó el hecho (Avenida Boyacá)

c) Fase 3. Análisis.

Finalmente se elaboraron los modelos estadísticos de Chi Cuadrado, regresión lineal múltiple, regresión logística y regresión exponencial cuya

finalidad fue que, a partir de los resultados obtenidos se pueda evidenciar una relación entre los factores que influyen en el suceso de dichos accidentes junto a su probabilidad de ocurrencia.

Chi Cuadrado: Se optó por este método para determinar la correlación entre los factores que intervienen en el accidente debido a que puede utilizarse incluso con datos medibles en una escala nominal, en donde la hipótesis nula de la prueba postula una distribución de probabilidad totalmente especificada como el modelo matemático de la población que ha generado la muestra (Quevedo, 2011).

Para desarrollar las pruebas de dependencia se elaboraron tablas de frecuencias entre los factores, de tal modo que se correlacionó el género con el día de la semana, la hora del accidente con la edad del implicado, y la vía con el tiempo ambiental en donde se presentó el suceso, como se muestra en la Tabla 2 con los factores género y día.

Tabla 2. Tabla de frecuencias para los factores género y día.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total
Masculino	91	108	108	93	126	97	58	681
Femenino	24	34	37	26	27	16	7	171
Total	115	142	145	119	153	113	65	852

Fuente: Autores (2021).

Se tomó un margen de error del 0,05, dado esto se formulan las hipótesis nula y alternativa y se desarrolla la ecuación del Chi Cuadrado (Ecuación 2) de la siguiente manera:

Ho = El género no influye en el día de ocurrencia del accidente.

Hi = El género influye en el día de ocurrencia del accidente.

$$x^2 = \sum \frac{(f-ft)^2}{ft} \quad (\text{Ecuación 2})$$

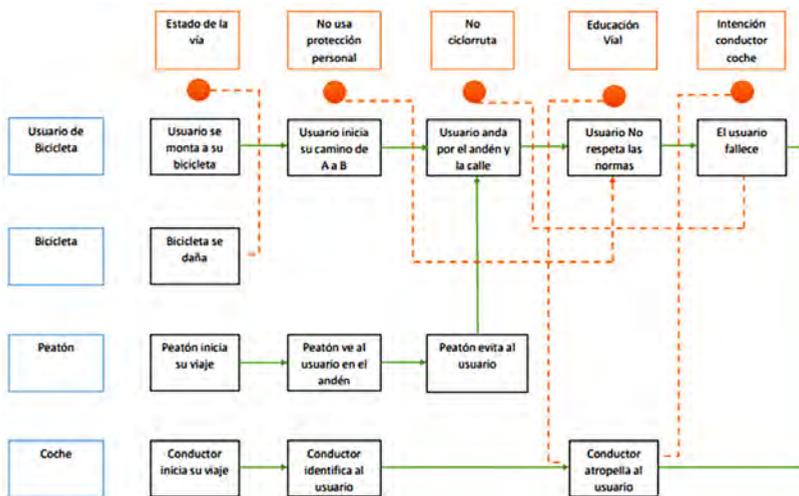
A partir de los datos de grados de libertad e independencia de los factores estudiados proporcionados por este método se prosiguió a desarrollar los métodos estadísticos de regresión mencionados.

Esta metodología parte de dos tipos, la parte de DATA cuantitativa a la cual se accede por medio de observaciones y mediciones y se analiza a través de

cálculos estadísticos, identificación de variables y patrones constantes, y la parte cualitativa en la cual los datos se obtienen a partir de la observación directa, a través de entrevistas, investigación y análisis, de allí se aplican procedimientos interpretativos y analíticos para el abordaje de nuestro objeto de estudio.

Para obtener una visión más global de la ocurrencia de un accidente identificando los factores intervinientes en el suceso se determinó la necesidad de elaborar el modelo STEP el cual es un proceso sistemático para la investigación de accidentes basado en secuencias de eventos multi-lineales ilustrando la cadena de sucesos y su relación causal (Arévalo, 2016). (Ver Figura 5)

Figura 5. Modelo STEP para la integración de factores intervinientes en un accidente.



Fuente: Autores (2021).

Presentación de resultados

a) Fase 1. Recolección de Información.

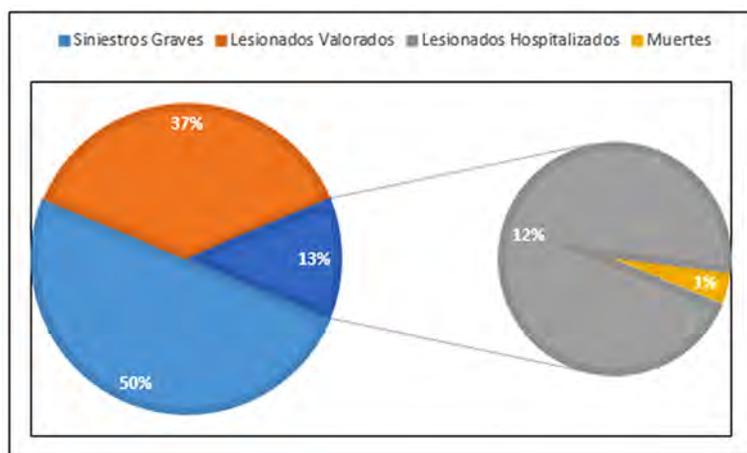
Por la naturaleza de los datos en función del análisis basado en las variables cualitativas, se opta por segmentar el análisis en dos partes: en la primera, se realiza el análisis descriptivo inicial basado en gráficos conjuntos aportados por la caracterización, sobre las cuales se destacan algunas relaciones entre variables a través de las pruebas de independencia Chi-Cuadrado; en la segunda, se elabora el planteamiento de varios modelos que permitan explicar el comportamiento de los datos y buscar la interpretación más cercana a la probabilidad de un accidente.

Para ello los datos fueron separados en función de cuatro (4) aspectos:

- Características particulares de cada encuestado, resaltando la localidad de procedencia y el motivo de uso de la bicicleta como medio de transporte.
- El conocimiento y aplicación de la normativa que regula el uso y tránsito en bicicleta dentro de ciudad (normas generales regulatorias para Bici usuarios).
- La opinión de los Bici usuarios sobre las condiciones generales de la ruta de tránsito de bicicletas.
- Los riesgos sociales, ambientales y tecnológicos a los que manifiestan estar en constante exposición.

De acuerdo con la distribución de los siniestros y accidentes que involucraron ciclistas en Bogotá, se observa que entre el periodo del 2017 al 2019, año de elaboración del Anuario anteriormente mencionado, el principal foco de riesgos: factores de accidentalidad y niveles altos de mortalidad para Bici usuarios se localiza precisamente en la zona de Kennedy, es decir, cada 5 horas ocurre un siniestro grave, 4 heridos al día por accidentes de tránsito y una muerte cada 6 días (ver Figura 6).

Figura 6. Ocurrencia de accidentes según su gravedad.

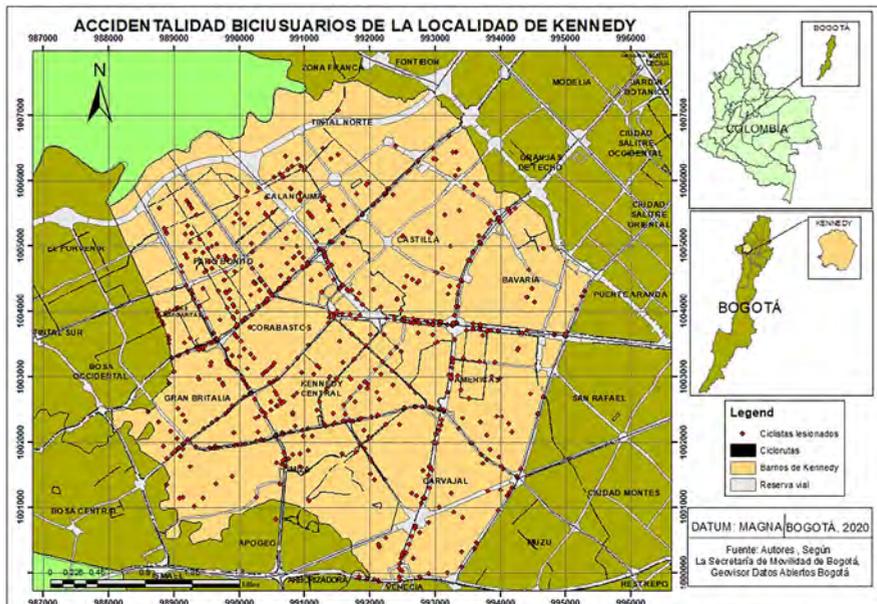


Fuente: Autores (2021).

Para el 2017, la Avenida Boyacá registró 7 ciclistas fallecidos (12% de los ciclistas muertos de la ciudad). Esta avenida también cuenta con el segundo mayor indicador de muertes por kilómetro con una tasa para 2017 de 3 ciclistas

muerdos por cada 10 kilómetros de vía (superado para este año por la Avenida Primero de Mayo con un indicador de 4 ciclistas muertos por cada 5 kilómetros), ambos son los principales corredores viales que pertenecen a la localidad de Kennedy, siendo este un indicador preciso y directo del aumento de accidentes de ciclistas en esta zona (Secretaría de Movilidad, 2017). En la Figura 7 se presenta el factor de accidentalidad por tramo vial en un periodo de 3 años.

Figura 7. Factor de accidentalidad tramo vial años 2017 a 2019.



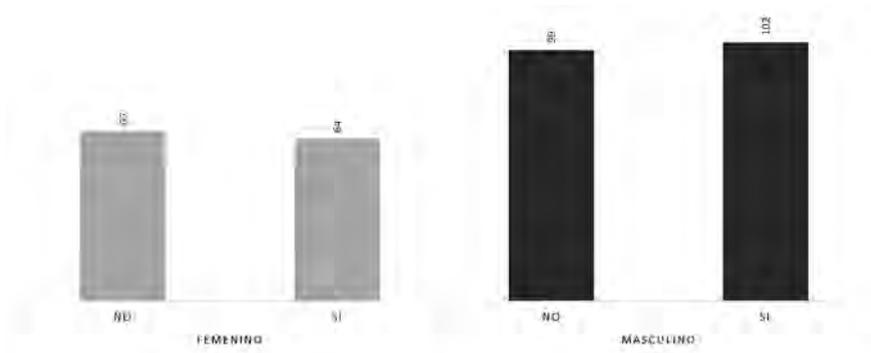
Fuente: Autores basados en ArcGIS, Datos Abiertos Bogotá, 2020.

b) Fase 2. Tratamiento de datos.

Luego de haber demostrado la importancia de realizar una caracterización específica para esta localidad a causa de sus índices elevados de riesgos, accidentalidad y siniestros se procedió a implementar la encuesta a el grupo focal de estudio, es decir, la población de la Universidad Libre bici usuaria, obteniendo de esta manera los siguientes resultados.

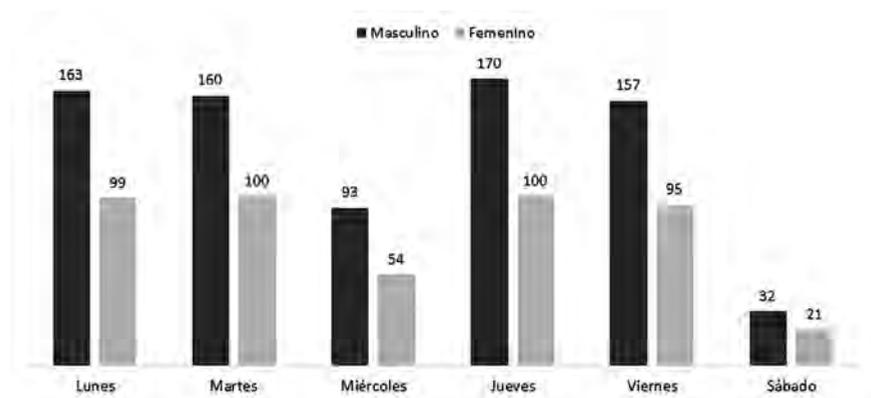
Caracterización

La Figura 8, muestra que en términos generales la mayoría de los encuestados son del sexo masculino, lo cual indica que este es el género de Bici usuario que prevalece.

Figura 8. Factor género comparado con la ocurrencia de accidentes de camino a la Universidad.

Fuente: Autores (2021).

Es importante resaltar que no existe una diferencia marcada entre los usuarios que afirman haber tenido o no algún accidente vial con ese medio de transporte. Por el contrario, con respecto a la opinión sobre una vía adecuada para las bicicletas, las mismas están divididas, con la mitad de los encuestados opinando de manera favorable y la otra mitad de forma desfavorable. Para aquellos que consideran que la vía para bicicletas es adecuada, se tiene que la gran mayoría de estos usuarios son hombres y sólo un 20% de las mujeres coinciden en esta opinión; sin embargo, en las respuestas desfavorables la brecha porcentual se hace más corta y la opinión de los hombres 19% apenas supera la de las mujeres 17%. Con relación a la independencia estadística de estas dos variables, la prueba Chi Cuadrado indica un 95% de confianza la opinión de los encuestados con respecto a las condiciones de la vía de bicicletas depende del género del bici-usuario (ver Figura 9).

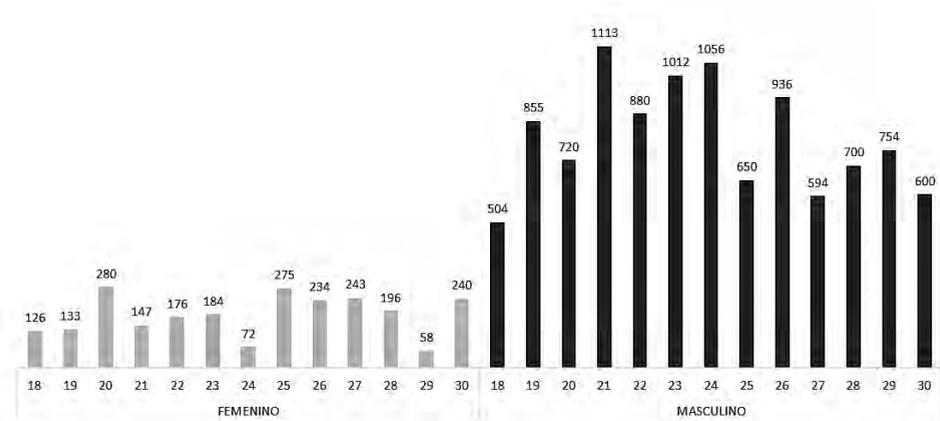
Figura 9. Distribución del factor género comparado con el factor día de la semana.

Fuente: Autores (2021).

Con respecto a la opinión de los encuestados sobre el estado de la malla vial (ciclo-rutas) en la ciudad de Bogotá, se encontró que el 18,9% indican que esta malla vial está en una mala condición, el 46,6% de la población indicó la opción regular y el 34,6% dan su opinión hacia buena.

Como se muestra en la Figura 10, se evidenció que la población considerada como adultos jóvenes (entre 18 y 30 años) son quienes más se accidentan en los recorridos por la localidad, marcando nuevamente la tendencia de que los hombres son la población más afectada triplicando en cantidad a los registros de mujeres accidentadas.

Figura 10. Distribución de factor género por factor edad entre 18 y 30 años.



Fuente: Autores (2021).

Como se puede inferir, los individuos de entre 20-24 años representan el factor más elevado de ocurrencia de accidentes (ver Figuras 9 y 10).

De acuerdo con los datos de la Secretaria de Movilidad, se tomó únicamente en cuenta los 5 principales factores que inciden en la accidentalidad en bicicleta para aplicar los modelos de regresión y hallar el más ajustado: edad, género, día de la semana, hora del día y tramo vial, debido a que la Secretaria de Movilidad no presentaba información en su base de datos sobre los factores relacionados con las vías, los cuales fueron evidenciados solamente en la encuesta; estos no se analizan porque no representan datos suficientes para el estudio (ver Figura 11).

Figura 11. Caracterización final factores de accidentalidad a causa del Bici usuario.

Fuente: Autores (2021).

Probabilidades condicionales. Según si el accidente presentado fue leve o de gravedad causando la hospitalización del individuo.

Factor género:

$$P(m) = \frac{664}{852} = 0.7793 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$P(h \cap m) = \frac{156}{852} = 0.1830 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$P(h | m) = \frac{P(h \cap m)}{P(m)} = \frac{0.1830}{0.7793} = 0.2348 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Esto demuestra que un 23% de los accidentes que le ocurrieron al género masculino en el período de tiempo comprendido entre el año 2017 al 2019 fueron de gravedad ocasionando que el individuo fuera hospitalizado; por consiguiente, el 77% de los accidentes fueron leves o no implicaron fuertes complicaciones de salud para el bici-usuario.

De igual manera se desarrollaron las probabilidades con los factores restantes, evidenciando así que el 20% de los accidentes presentados el viernes, el 25% los comprendidos entre las 7 a 8 de la mañana, el 25% de los que ocurrieron a los individuos que presentaban una edad entre los 21 a 30 años y

el 19% de los sucesos en el principal eje vial de la localidad, es decir, la Avenida Boyacá fueron severos a tal grado de desencadenar en una hospitalización.

c) Fase 3. Analítica.

Chi Cuadrado: Como se mencionó líneas anteriores, con base en las tablas de frecuencia realizadas por la totalidad de los factores estudiados, se elaboró el método correspondiente, es decir, se tomaron los grados de libertad respectivos por cada tabla y se remplazaron los valores en la ecuación del procedimiento con la finalidad de comparar el valor proyectado según la tabla Chi Cuadrado (χ^2) con el valor calculado y así determinar la veracidad o anulación de la hipótesis alternativa planteada.

Independencia factores género/día:

Grado de libertad= 6

$$\chi^2 = \sum \frac{(f-ft)^2}{ft} = 10.734 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Según la tabla χ^2 el valor proyectado es de 12.591, evidenciando que el valor calculado es menor que el proyectado; por ende, la hipótesis alternativa se anula, demostrando la independencia de los factores pues el género del individuo no influye en el día del accidente para su ocurrencia.

De esta manera se realizaron las pruebas de independencia restantes entre los factores edad/hora y tramo vial/tiempo ambiental en las cuales todos los valores calculados fueron menores que los proyectados en la tabla χ^2 :

- Factores edad/hora = 29.856 (χ^2 calculado) < 32.670 (χ^2 proyectado).
- Factores tramo vial/tiempo ambiental = 3,821 (χ^2 calculado) < 18.307 (χ^2 proyectado).

Lo cual indica que los factores estudiados son completamente independientes entre sí, no responden a una correlación directa, con lo cual fueron adecuados para la realización de los modelos de regresión.

Para implementar dichos modelos (lineal múltiple, logístico y exponencial) los datos fueron convertidos a manera cuantitativa, asignándoles valores numéricos y desarrollando así los procedimientos de una manera más acertada.

Regresión Lineal Múltiple

En la Tabla 3 se exponen los resultados del ANOVA.

Tabla 3. Resultados regresión lineal múltiple (ANOVA).

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,113
Coefficiente de determinación R ²	0,013
R ² ajustado	0,008
Error típico	0,399
Observaciones	852

Fuente: Autores (2021).

Para este modelo de regresión, se utilizó más de una variable explicativa, lo que facilitó el uso de más información en la construcción del modelo y, consecuentemente, realizar estimaciones más precisas (Rojo, 2007), como se muestra a continuación:

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni}) + e_i \quad (\text{Ecuación 6})$$

d) β_0 = Es el valor de la variable independiente tomada para este ejercicio.

e) β_1 = Son los coeficientes parciales de regresión, efecto promedio que tiene el incremento de la variable predictor.

f) e_i = Es el residuo, la diferencia entre el valor observado y estimado por el modelo

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la regresión lineal múltiple.

Tabla 4. Coeficientes resultantes regresión lineal múltiple.

	Coefficientes
Intercepción	0,657
Variable X 1	0,020
Variable X 2	0,000
Variable X 3	0,002
Variable X 4	3,97E-05

Fuente: Autores (2021).

Con base en los coeficientes obtenidos por el modelo, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Y_i = 0,656676 + 0,020326X_1 + 3,82998x10^{-3}X_2 + 0,001895X_3 + 3,96877x10^{-5}X_4 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$X_1 = \text{Día}$ $X_2 = \text{Hora del día}$

$X_3 = \text{Edad}$

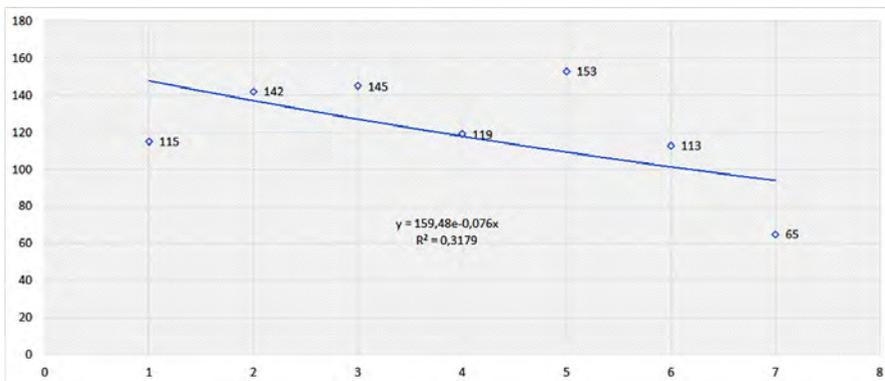
$X_4 = \text{Tramo Vial}$

De esta manera se identificó que los datos, a pesar de ser parcialmente colineales, pues los factores se encuentran relacionados en cierta medida y son todos independientes, no permiten que este modelo sea representativo para el análisis de los factores que inciden en la accidentalidad.

Regresión Exponencial

En la Figura 12 se exponen los resultados de la regresión exponencial aplicada.

Figura 12. Regresión exponencial con respecto al día de la semana.



Fuente: Autores (2021).

El modelo de regresión exponencial supone que todas las variables están conectadas unas a otras (Haeussler & Paul, 2003) donde a través del tiempo, los datos se pueden correlacionar de manera positiva o negativa, el problema con los datos utilizados en el modelo exponencial es que no se contrastan con el tiempo, en su lugar contrastan con otras variables con el mismo nivel de

independencia, como ya se conocen a todas las variables que fueron tratadas con el método de Chi Cuadrado.

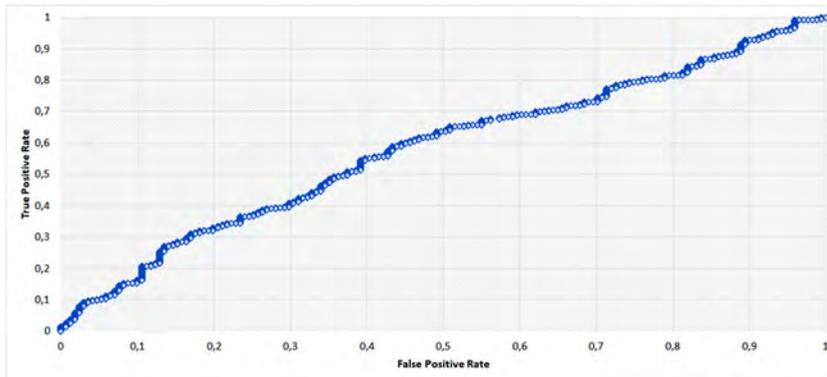
$$Y = 159,48e^{-0,076x} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Se escogió como la variable independiente para el modelo el día de la semana, que mostraba la mayor variabilidad dentro de los análisis, pero al implementar el proceso, se obtiene que el valor ajustado obtenido indica que el modelo presenta una variabilidad del 31,79% de los datos, evidenciando entonces la dificultad del desarrollo del modelo, pues no explica la correlación de los datos del día de la semana con la ocurrencia de un accidente.

Regresión Logística

La regresión logística es un instrumento estadístico de análisis multivariado que usa una variable dicotómica y un conjunto de variables independientes que pueden ser cuantitativas o categóricas, cuyo propósito es determinar que variables pesan más para aumentar o disminuir la probabilidad de que ocurra el evento en cuestión (Chitarroni, 2002) (ver Figura 13)

Figura 13. Modelo de regresión logística con respecto a la edad del usuario.



Fuente: Autores (2021).

Este modelo se representa a través de la Ecuación 9.

$$p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_i)}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Para el caso de los datos de accidentalidad, la variable dicotómica utilizada fue el género del usuario, contrastada con las otras variables de edad, día de

la semana, hora del día y tramo vial, en cuyo caso el 79,7% de los datos se predijeron de manera correcta, lo que indica que al presentarse un pronóstico mayormente acertado y próximo a lo esperado el modelo es el indicado para explicar el comportamiento aleatorio de las variables consideradas.

Consideraciones finales

Discusión. Los datos presentados en la base de datos de la Secretaria de Movilidad no proporcionan un universo de información, en la cual se detallen no solamente las características del individuo o Bici usuario y del momento del accidente, en su lugar muestra las condiciones de la ciclo vía, de las avenidas y su conectividad, del tráfico vehicular, señalización e iluminación; de esta manera se evidenció un sesgo de información incumpliendo con lo necesario para comprender la significancia de los factores de riesgo según su fuente, medio e individuo. Por ejemplo, en la figura 6 extraída de la misma fuente se evidencia la carencia de datos que reflejen las condiciones actuales de la infraestructura vial.

De esta manera se podría considerar optar por el apoyo de las aseguradoras de accidentes de tránsito, las cuales poseen información mayormente detallada de las características y factores intervinientes, con los cuales se podría desarrollar un modelo de probabilidad de accidentes hacia los Bici usuarios en el cual se analice la totalidad de causas por las cuales ocurrió el suceso, es decir, las características particulares tanto del individuo como de la bicicleta (medio), el cumplimiento de la normatividad de tránsito vigente, las condiciones de la ruta y los riesgos ambientales, sociales y tecnológicos presentes en la zona.

Simultáneamente se realizó un contraste entre las políticas públicas de la ciudad de Bogotá frente a los resultados y el análisis que se desarrolló en este proyecto, demostrando que las estrategias de dichas políticas son genéricas y desconocen los problemas del territorio de enfoque, a saber, de la localidad de Kennedy y sus particularidades, como se reafirma en la figura 1 la cual expone la importancia que le dan a las condiciones y avances de los diferentes medios de transporte ciudadanos sin resaltar las condiciones de cada localidad.

Con base en lo anterior, se comprueba la inexistencia de políticas que se orienten a la presión y el caos frecuentemente presentes en las horas pico, reflejadas nuevamente en este proyecto, correspondientes a las comprendidas entre las 7 y las 9 de la mañana y entre las 6 a las 8 de la noche, así como la evidencia de que la Avenida Boyacá presenta los mayores índices de

accidentalidad vial en la localidad y que no se ha elaborado una política de seguridad de movilidad específica para este importante eje vial.

Conclusiones

En fundamento con los resultados obtenidos con la caracterización de los Bici usuarios y su análisis descriptivo se puede evidenciar que los factores de mayor relevancia que intervienen en el acontecimiento de un accidente representan si el individuo es hombre de entre unos 21 a 30 años de edad, si se moviliza un día viernes en la hora comprendida entre las 7 y 8 de la mañana y si su recorrido es en la avenida Boyacá, este es el resultado de múltiples variables que interactúan de manera distinta e independiente en cada caso específico en la localidad de Kennedy.

Sobre el grado de riesgo: Las rutas impactan el nivel de riesgo. Esto evidencia que temas como el nivel de tráfico en la vía en el momento del recorrido, si en la vía frecuentan vehículos de carga pesada, y si existe una óptima disposición del ciclo vía, son vitales para definir el riesgo la probabilidad de acontecimiento de un accidente hacia Bici usuarios.

Sumado a lo anterior, los aspectos infraestructurales propios de la ruta, que no están incluidos en el modelo de medición actual, evidencian una influencia, que debería ser tomada en cuenta en la definición de la probabilidad de ocurrencia de un accidente en modelos y estudios futuros.

En los modelos planteados en el presente estudio, para explicar la independencia entre los factores, su grado de certeza y el aporte al desarrollo de un futuro modelo de probabilidad de accidentalidad, se obtuvo que el más acertado y próximo al modelo ideal es la regresión logística, al demostrar un 80% de veracidad en los datos aleatorios predichos y sus comportamientos pronosticados.

De este modo se propone la realización de futuros estudios que analicen la totalidad de los factores intervinientes en un accidente ocurrido específicamente por localidades, que aporte a los intereses de los diferentes entes gubernamentales implicados en la temática tales como la Secretaría de Movilidad, el Ministerio de Transporte, la Agencia de Seguridad Vial y la Alcaldía local de Kennedy, para que estos generen políticas públicas de movilidad propias por localidad que suplan las necesidades y requerimientos de sus habitantes y sus medios de transporte.

Referencias

- Arévalo, C. (2016). *Metodología y técnicas analíticas para la investigación de accidentes de trabajo*. Fundación Agustín de Betancourt.
- Díaz, J. J. (junio de 2019). Formulación de un modelo de gestión del riesgo en el proceso de movilidad de los Biciusuarios de la universidad libre en Engativá, Bogotá con dinámica de sistemas. *INGENIARE*, 15(26), 69-88.
- Díaz, I. (2005). Razonamiento sobre probabilidad condicional e implicaciones para la enseñanza de la estadística. *Epsilon*, (59), 245-260.
- Chitarroni, H. (2002). *La regresión logística. Área empleo y población*, 1-8.
- Datos abiertos Bogotá. (2021). Obtenido de malla vial. <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset?q=Malla+vial>
- García, R., Delgado, D., Díaz, E. & García Armenteros, R. (2012). Caracterización de la accidentalidad vehicular y análisis de las causas en la provincia de Villa Clara, Cuba. *Dynna*, 79(145), 191-200.
- García, J. C. (2008). Incidencia en la movilidad de los principales factores de un modelo metropolitano cambiante. *Eure*, 5-24.
- Haeussler, E., & Paul, R. (2003). *Matemáticas para administración y economía*. Monterrey: Pearson.
- Incidencia en la movilidad de los principales factores de un modelo metropolitano cambiante. (abril de 2008). *Eure*, 24(101), 5-24.
- Moya, D. A. (15 de julio de 2020). Estudio exploratorio de material particulado respirable en biciusuarios de Engativa, Bogotá. *Inventum*, 15(29), 37-48.
- Meneses, S. L. (2018). El Biciusuario seguro: guía de movilidad urbana. <http://hdl.handle.net/10901/15582>.
- Hertach, A. U. (2016). Características de las colisiones de vehículos individuales con e-bikes en Suiza. Swiss Council for Accident Prevention, Hodlerstrasse, 5 edición.

- Quevedo, F. (11 de 12 de 2011). MEDWAVE. *Biomédica*. <https://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Series/MBE04/5266>
- Rojo, J. M. (2007). *Regresión Lineal Múltiple*. Laboratorio de Estadística.
- Secretaria de Movilidad. (2017). *Plan de Movilidad*. <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/plan-de-movilidad>
- Secretaria de Movilidad (2017). *Políticas, lineamientos y manuales*. https://www.movilidadbogota.gov.co/web/politicas_lineamientos_y_manuales
- Secretaria de Movilidad (2021). *Encuesta de movilidad 2019 a 2021. Indicadores preliminares*. https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/22-04-2020/20191216_presentacion_encuesta_v2.pdf
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2018). *Observatorio Ambiental de Bogotá*. <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=312&v=1>
- Significados. (2021). *Tipos de Investigación*. <https://www.significados.com/tipos-de-investigacion/>
- Widyawati A, I., & Zainul A, M. (2018). *Modelo de predicción de la probabilidad de accidente ciclista en la ciudad de Malang*. MATEC.

5

Sistema inteligente para determinar el estado de madurez del mango



Bryan Andrés Lindo Del Castillo

Estudiante de pregrado. Programa de Ingeniería Sistemas. Semillero TI, grupo de Investigación KIBERNETICS. Universidad Libre, Seccional Barranquilla. Brayana-lindod@unilibre.edu.co cojuand-ojedaa@unilibre.edu.co

David Javier Atencia Domingo

Estudiante de pregrado. Programa de Ingeniería Sistemas. Semillero TI, grupo de Investigación KIBERNETICS. Universidad Libre, Seccional Barranquilla, davidj-atenciad@unilibre.edu.co

Gianluigi García Herrera

Estudiante de pregrado. Programa de Ingeniería Sistemas. Semillero TI, grupo de Investigación KIBERNETICS. Universidad Libre, Seccional Barranquilla, gianluigi-garciah@unilibre.edu.co

Diana Milena Suarez López

Ingeniera de Sistemas. Magister en Administración de Empresas e Innovación, directora del semillero TI, grupo de Investigación KIBERNETICS, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería de Sistemas. dianam.suarezl@unilibre.edu.co

Introducción

La revolución tecnológica ha traído consigo grandes cambios en las distintas áreas del conocimiento, algunas de las beneficiadas han sido la ingeniería, las ciencias de la educación, la economía y la agricultura, puesto que, en esta última se han desarrollado aplicaciones que han dado múltiples ventajas a los agricultores, a través las sembradoras y tractores con Sistema de Posicionamiento Global (GPS), vehículos que facilitan el proceso de siembra y realizar estudios del terreno mediante el Internet de las Cosas (IOT) (Fernández, 2020).

En el ámbito de la Inteligencia Artificial (IA), se han desarrollado herramientas que facilitan la labor del agricultor y, por tanto, aumentan la productividad a la hora de realizar, controlar y hacer seguimiento a cultivos, cosechas y regadíos en las grandes hectáreas de tierra, lo cual conlleva a una disminución en los costos e incrementa los beneficios obtenidos. Algunas de las aplicaciones de la IA en la agroindustria con más relevancia en la actualidad, van desde el uso de dispositivos inteligentes, que facilitan las tareas en las labores agrícolas, hasta las herramientas que permiten la predicción de los cambios que puedan presentar en el suelo, cambios meteorológicos, plagas, etcétera (Pascual, 2016).

Asimismo, las técnicas de visión por computador han desempeñado un papel clave en el progreso de la agrotecnología, puesto que ayuda a describir el estado orgánico de las frutas, monitorizar en tiempo real la evolución de los cultivos y reconocer la calidad del suelo con mayor efectividad (Torres, 2012).

Bajo este contexto, el siguiente capítulo se orienta en proponer un sistema inteligente para determinar el estado de madurez de las frutas, especialmente, del mango para fines específicos y alcanzables de la investigación. Se desarrolla este tema, dado que el mango es una fruta de carácter climatérico, que puede ser producida en países con características tropicales y se puede conseguir con mayor facilidad. Por esto, su asequibilidad es un aspecto que facilita el desarrollo de este proyecto y es a su vez una oportunidad para entablarlo con las ciencias de la computación artificial.

Colombia mantiene su producción en auge con 338.080 Toneladas, con una participación en el mercado que equivale al 11,5% de la producción internacional

(FAO, 2018). Por su parte, los mayores productores de mango a nivel nacional son: Cundinamarca, Tolima, Magdalena y Atlántico, los cuales representan el 72,89% de la producción total del país. Colombia, por su favorable geoposicionamiento y condiciones ecuatoriales estables, cuenta con todas las condiciones para la incursión en este mercado a gran escala (MinAgricultura, 2018). Sin embargo, a pesar de ser un producto muy asequible, el país actualmente presenta un alto porcentaje de pérdidas postcosecha. Según un estudio realizado por el Departamento Nacional de Planeación (2019), reveló que se desperdicia cerca del 62% en alimentos, principalmente en las agro-cadenas de frutas y verduras, así mismo, el desperdicio en raíces y tubérculos es del 25%, esto debido a la clasificación inadecuada en los procesos de postcosecha, almacenamiento, producción y procesamiento industrial que representa el 64% y el 36% restante corresponde a desperdicios generados en la distribución y consumo de los hogares.

Con relación al transporte, el país no cuenta con un sistema especializado en transportar productos perecederos, que incluya una temperatura apropiada para mantener la calidad del producto en condiciones higiénicas seguras (Maussa, 2018). Lo anterior, genera un resultado negativo, debido al desperdicio de las frutas que se deterioran y terminan en los basureros contaminando el medio ambiente, se estima que a nivel mundial se desperdician 1.300 millones de toneladas de alimentos anualmente, estas pérdidas representan un área de cultivo equivalente a la basta superficie de Canadá e India juntas (ONU, 2018).

Por otro lado, dentro de los procesos de envejecimiento de la fruta, se debe reiterar que una fruta con un estado de sobre maduración, posee metabolismos de respiración que generan altos niveles de emisión de etileno, efecto que acelera la maduración de las demás frutas en el lote, provocando que los pronósticos estimados de vida útil sean sesgados; y esto hace que no sea posible predecir con exactitud el tiempo que queda de utilidad de un lote de frutas; permitiendo llevar a cabo las tareas de almacenamiento, procesamiento o comercialización total de las frutas de forma apropiada (Herrera, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, surge el interés de desarrollar un sistema inteligente, que pueda mejorar el proceso de identificación del estado de madurez del mango, con el propósito de prevenir pérdidas postcosecha. Se elige el mango, puesto que reúne las condiciones necesarias para convertirse en una verdadera oportunidad de negocio para Colombia, por su favorable geoposicionamiento y condiciones ecuatoriales estables (Corpoica, 2013). Sin embargo, la falta de herramientas apropiadas conlleva a que no se aproveche

en la forma en que debería, puesto que, es un sector en el cual se dan grandes pérdidas, a causa de la clasificación inadecuada de las frutas y la deficiencia en los estándares de almacenamiento y transporte (FAO, 2012).

En la actualidad, los estudios relacionados con la implementación de la IA y la visión por computador, es una clara evidencia que las organizaciones industriales y agrícolas están pasando por una transición, debido a la búsqueda de mejorar los procesos de producción, mediante el uso de herramientas tecnológicas que faciliten y disminuyan los costos en el manejo de grandes cantidades de datos, que busca cobrar un valor importante en todos los ámbitos de la vida del ser humano (Alegre, 2016).

En esencia, la implementación y la segmentación de las imágenes mediante la visión computarizada en la zona agrícola, son implementadas en las grandes empresas que requieren a su disposición un gran capital humano y sistemas de gestión de producción, para detectar la maduración de las frutas durante los procesos de empaque y transporte, por lo que se ven en la necesidad de utilizar sistemas de IA que optimicen y automaticen los datos e imágenes, al igual que los procesos de visión de computación, mediante algoritmos de segmentación de imagen que permitan construir un bosquejo sistematizado de las frutas que van a salir al mercado y para el gusto de los clientes (Padrón, 2012).

En este sentido, se entiende la importancia de utilizar dichas herramientas como alternativas que favorecen las actividades diarias de la organización agrícola, por ende, su constitución guarda similitud en la composición neurogenética y anatómica del ser humano, para poder desarrollar conocimientos abstractos e intervenir en la resolución de problemas, vista desde una visión computarizada capaz de ejecutar y procesar los datos necesarios para llevar a cabo las actividades programadas (Saenz, 2010). Por consiguiente, el propósito de los agentes externos que manejan la IA es determinar cuáles son las estrategias necesarias para la programación de máquinas físicas, con el fin de reproducir de la manera más eficiente y completa los datos sobre las frutas que se necesitan analizar y hallar posible tareas cognitivas, científicas y técnicas de aprendizaje automático (Rich, 1994).

La implementación del sistema IA, busca facilitar la clasificación de frutas que determinan la velocidad y la precisión del recorte de cada uno de los elementos que componen los alimentos agrícolas, por ello, es de mucha importancia encontrar el número óptimo de capas de aprendizajes ocultos, para poder establecer la

tasa de aprendizaje necesaria para el proceso de selección de la fruta (González, 2014) esto determina si el valor más pequeño hará que el proceso de aprendizaje sea más lento, o por el contrario, que la precisión aumentará, entendiendo que cuanto mayor sea la tasa de aprendizaje, el proceso de entrenamiento es más rápido pero el valor de precisión disminuye (González, 2014).

El desarrollo de este sistema inteligente ofrece una herramienta que permitirá agilizar el proceso de clasificación del mango de acuerdo con su estado de madurez. Asimismo, se pretende mejorar la eficiencia en el proceso de selección de las frutas, permitiendo el pleno aprovechamiento de esta, lo cual se traducirá en disminuir las pérdidas postcosecha y por sobre maduración de la fruta.

Materiales y métodos

El enfoque de este estudio es de corte cuantitativo-experimental, ya que se recolectan y analizan datos objetivos, que ayudan a determinar las exactitudes de los patrones comportamentales de una muestra u objeto (Hernández, 2006). En este caso, el aspecto objetivo que se analiza es el mango en sus estados orgánicos, haciendo uso de un sistema inteligente, para que se pueda predecir su grado de madurez y salubridad. Además, debido a que, este estudio se centra en propiedades numéricas buscando realizar una comparación entre los principales índices de maduración de una fruta, mediante la inteligencia artificial y las técnicas de visión por computador.

La orientación que se le da a este estudio es de naturaleza experimental, ya que se manipula de forma deliberada un objeto, para comprobar qué efectos producen al momento de ser modificado, analizado o influenciado por otro fenómeno (Ramón, 2015).

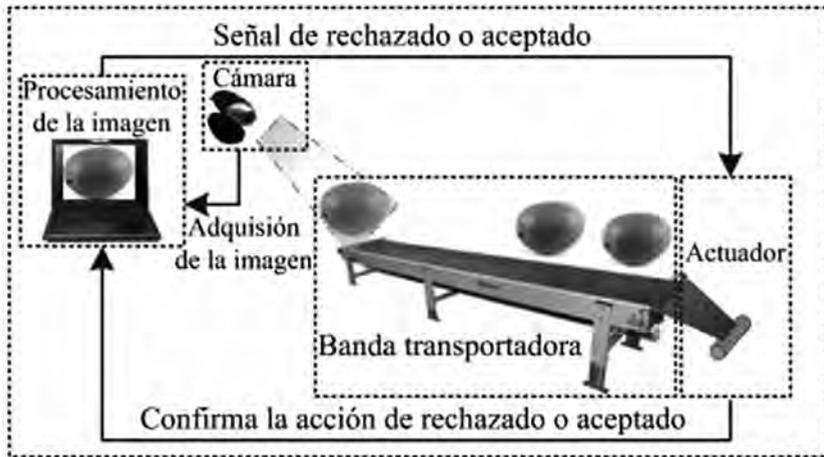
Materiales utilizados

La herramienta que se utiliza para desarrollar este proyecto es el programa Octave, el cual es un software libre para realizar algoritmos matemáticos. Permite más que todo aplicar cálculos numéricos. Como principal particularidad del programa, ayuda a interpretar ordenes de una forma interactiva y dinámica, ayudando así a ejecutar cierta acción, de acuerdo con una serie de lineamientos y requerimientos (Valiente, 2006). Para determinar si el mango se encuentra en el estado deseado o no, el programa aplica los siguientes procesos:

- Se anexa foto del mango.
- El programa extrae los píxeles y examina si la fruta está madura o verde.
- El programa toma la decisión de aceptarla o rechazarla.

La Figura 1 ilustra cómo funciona el programa y bajo qué lógica toma decisiones:

Figura 1. Método que se emplea para determinar el nivel de madurez de un mango.



Fuente: (Romero et al, 2015).

Se observa la forma como funciona el programa y de qué manera toma decisiones para aceptar o rechazar cierto mango.

Procedimiento

Para desarrollar esta investigación, se establecen una serie de fases, que ayuden a establecer la lógica investigativa de este estudio. En consecuencia, se establecieron los siguientes periodos:

- Primera fase - Revisión del estado del arte:** Consiste en efectuar un análisis sistemático sobre las técnicas y modelos de extracción del valor RGB de las imágenes. De igual forma, se examinó el comportamiento del color y los respectivos cambios que este puede tomar en las diferentes fases de maduración del mango (fruta seleccionada).
- Segunda fase - Propuesta del modelo:** Consiste en realizar las debidas comparaciones de las técnicas y modelos presentados en la fase anterior, con el propósito de conocer la viabilidad y las características de cada uno de

estos modelos, y con base en esto, se determina la propuesta a desarrollar en la implementación del proyecto.

- c) *Tercera fase - Desarrollo tecnológico:* Desarrollo de un prototipo con el modelo seleccionado, el cual permita someter a pruebas las técnicas implementadas en el proceso de extracción del valor RGB de una fruta. En este punto, el software debe ser capaz de diferenciar entre la gama de colores que comprende el índice de maduración del mango.
- d) *Cuarta fase - Validación:* Realizar una prueba con mangos en diferentes estados de madurez y una prueba con los mismos mangos a través de la inspección manual, de esta forma se determina el porcentaje de aciertos y desaciertos del sistema contra la inspección humana, se elige el método de inspección manual porque es el más utilizado en la Región Caribe para determinar el estado de madurez de un mango.

La validación se desarrolla con un modelo estadístico conocido como regresión logística, es un procedimiento útil para hacer predicciones con relación a los resultados de una serie de variables categóricas, de acuerdo con las funciones de las variables predictoras. Es fundamental y apropiada para poder modelar las probabilidades de un suceso, circunstancia o evento por influencia de las funciones de otras variables (López, 2015).

En consonancia con el estudio, se utiliza para encontrar la probabilidad de desaciertos del software en la evaluación de los diversos estados de madurez del mango. De esta manera, si el software tiene un 90% de efectividad entonces se considerará fiable para su utilización e implementación.

Resultados

A continuación, se ilustran los resultados de este estudio, a través de las siguientes figuras y tablas:

Clasificación del mango de acuerdo con el uso del RGB

En la Tabla1 se observa los valores que tiene cada color, de acuerdo con la lógica del RGB. Tomado de Francesc Ricart (s.f)

Tabla 1. Sistema empleado para clasificar los niveles de madurez de un mango.

rgb(255,0,0)
rgb(0,255,0)
rgb(0,0,255)
rgb(255,255,255)
rgb(0,0,0)

Fuente: Autores (2021)

La Tabla 1, ilustra la manera que hay para indicar los colores que se desear a las propiedades de una imagen. Los colores Rojo, Verde, Azul, Blanco y Negro poseen diferentes valores y son los que ayudarán a determinar en qué categoría se encuentra el mango, para luego ser rechazado o aceptado. Gracias a lo anterior, es posible clasificar a los mangos de acuerdo con su nivel de madurez.

En consecuencia, con el uso del software se pueden obtener resultados y algoritmos, que ayuden a identificar los grados de madurez de la fruta. Cuando el mango es verde, se reconoce de la siguiente manera:

Procesamiento y resultado del mango verde

En las Figuras 2 y 3, se observa una sección de la foto del mango para procesarla con el algoritmo y obtener el color RGB que indicará si es verde o amarillo.

Figura 2. Ilustración de un mango verde.



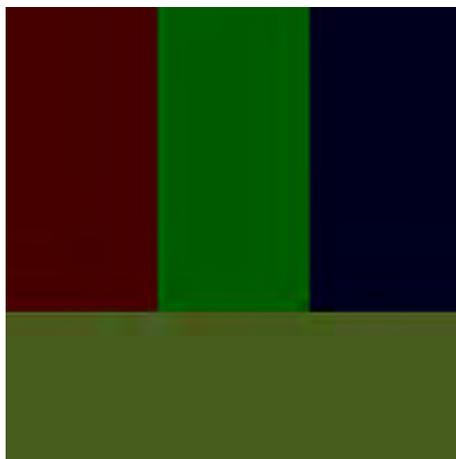
Figura 3. Sección de un mango verde.



Fuente: Autores (2021).

En la Figura 4, se observa el resultado de cuando el mango es verde de acuerdo con la lógica del RGB.

Figura 4. Determinación del grado de madurez del mango.



Fuente: Autores (2021).

El RGB generado por el algoritmo es 70.954, 92.471, 30.249, lo cual quiere decir que es de color verde. En efecto, puede decirse además que el software interpreta y reconoce de manera apropiada. Según la National Mango Board (s.f) cuando el mango se encuentra en este estado, se caracteriza por tener una pulpa de color blanco o un amarillo muy pálido. En el caso de la imagen expuesta, ese mango posee esas particularidades y el programa supo reconocer que aún se encuentra en proceso de madurez, por lo que todavía no se encuentra asequible para su distribución.

Siguiendo con el mismo análisis, la siguiente imagen ilustra de manera gráfica y dinámica cuando el mango se encuentra en estado maduro.

Procesamiento y resultado del mango maduro

Ahora bien, para determinar si el mango es maduro, se procesa la siguiente imagen (Figuras 5 y 6), donde se observa el color del mango cuando ha alcanzado su maduración.

Figura 5. Imagen de un mango maduro.



Figura 6. Sección de la imagen del mango maduro.

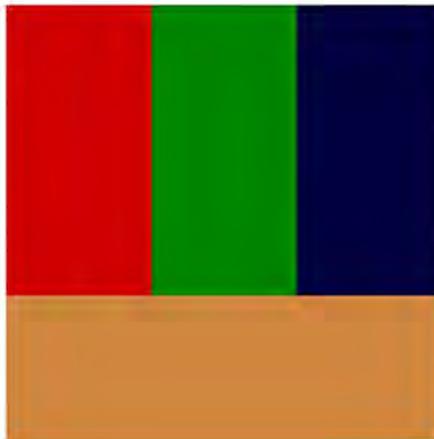


Fuente: Autores (2021).

Con base en la imagen anterior, se extrae una sección de la foto del mango para procesarla con el algoritmo y obtener el color RGB que indicará si es verde o amarillo, tal como se aprecia en la imagen. De igual manera se observa una sección de la foto del mango para procesarla con el algoritmo y obtener el color RGB que indicará su color predominante.

En la Figura 7 se observa el color predominante arrojado por el algoritmo.

Figura 7. Resultado del mango maduro.



Fuente: Autores (2021).

El RGB generado por el algoritmo es 195,53, 112,84, 42,558, lo cual quiere decir que el color predominante es el amarillo. De acuerdo con Quintero et al (2013) cuando el mango se encuentra en ese estado, se particulariza por ser

consumible, en el sentido que tiene el sabor azucarado y natural esperado, por lo que sus aportes nutritivos de Calcio, Fósforo, Magnesio, Retinol, Hierro, Ácido ascórbico, Tiamina, etc. se pueden aprovechar en su máxima expresión, lo cual se facilita con el fortalecimiento del sistema inmunitario. Por ello, en este tipo de caso, se espera que el programa pueda reconocer esas características en relación con la composición de los colores del mango, para tomar la decisión de aceptarla y consecuentemente en una empresa pueda ser distribuida. Igualmente, con relación al fragmento del código, se empleó el expuesto en la Figura 8.

Figura 8. Fragmento del código utilizado.

```
24 %recorremos la imagen
25 for i = 1:x
26     for j = 1:y
27
28         %obtenemos los valores rgb en cada posicion de la imagen
29         RGB = input_image(i,j,:);
30
31         cont++;
32         RGB_double = im2double(RGB)*255;
33         TOTAL = TOTAL + RGB_double;
34
35     endfor
36 endfor
37
38 %calculamos el valor RGB promedio
39 TOTAL = TOTAL/(cont)
```

Fuente: Autores (2021).

En la Figura 8 se observa el código configurado para obtener cada píxel de la imagen y arrojar el estado de madurez del mango.

De acuerdo con la imagen anterior, el algoritmo recorre la imagen píxel por píxel como una matriz y cada valor se guarda en una variable llamada RGB. Después el valor que se obtuvo se pasa a decimal y se multiplica por 255. Por último, se hace la sumatoria del array de RGB de todos los valores en cada píxel para posteriormente crear la nueva imagen con el valor predominante.

Consideraciones finales

A lo largo del capítulo, se estudia de qué manera el uso de la Inteligencia Artificial facilita la práctica profesional de clasificar los mangos, de acuerdo con

su grado de madurez. De acuerdo con lo estudiado, se puede decir que el uso de códigos y algoritmos permiten clasificar el nivel de madurez de un mango, si se procesan las imágenes y particulares esenciales del mismo.

La idea, es que se puedan utilizar para que el sistema procese los colores de acuerdo con el uso del RGB. Gracias a ello, en función con el resultado que arroje la imagen, el programa determina su nivel de madurez, para que finalmente pueda tomar una decisión, en este caso, rechazar o aceptar el producto, en función de lo que se espera recibir.

El estudio realizado, permite establecer que el programa sugerido funciona para tomar decisiones, que ayuden elegir los mangos esperados. Los resultados, indican que el programa escoge los alimentos de acuerdo con los requerimientos dados y el código establecido.

Por ello, esta investigación, es un aporte fundamental para el área agroindustrial, ya que precisamente esta orientación del conocimiento se enfoca en estudiar los alimentos, sus grados de composición y madurez y sobre todo cómo emplear las tecnologías digitales para facilitar su distribución, producción, selección, etc., de los mangos de acuerdo con sus particularidades contextuales.

Sin embargo, esta investigación tiene como limitación el hecho de no haber sido aplicado el proyecto en un contexto particular. Para futuros estudios, será fundamental recomendar este programa dentro de un entorno de actuación auténtico, para determinar el grado de validez y utilidad de este, y en efecto, se pueda determinar si realmente funciona para una empresa, entidad, negocio, entre otros.

Referencias

- Alegre, E. (2016). *Conceptos y Métodos en visión por computador*. Madrid: Visión CEA. <https://intranet.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/8/files/ConceptosyMetodosenVxC.pdf>
- Arévalo, C. (2016). *Metodología y técnicas analíticas para la investigación de accidentes de trabajo*. (1 ed., Vol. 1). (UPM, Ed.) Madrid: Fundación Agustín de Betancourt.
- Board, N. M. (s.f). *Protocolo para el Manejo y la Maduración del Mango*. www.mango.org. <https://www.mango.org/Mangos/media/Media/Documents/>

[Research%20And%20Resources/Downloads/Industry/Market%20Support/Mango_Handling_and_Ripening_Protocol_Spn.pdf](#)

Chitarroni, H. (2002). La regresión logística. Área empleo y población, 1-8.

Corpoica, A. (2013). *Modelo Tecnológico para el cultivo del mango en el Valle del alto Magdalena en el Departamento del Tolima*. Bogotá: Ministeriod de Agricultura de Colombia. http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_264_MP_Mango.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Estudio de pérdida y desperdicio de alimentos en colombia*. Recuperado el 9 de mayo de 2020, de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Estudio_Perdidas_desperdicios_alimentos_Ficha.pdf

Envira. (18 de Enero de 2019). *Envira IOT*. Recuperado el 5 de Mayo de 2020, de <https://enviraiot.es/innovaciones-en-la-agricultura-avances-tecnologicos/>

FAO. (2012). Roma: Save Food. <http://www.fao.org/3/i2697s/i2697s.pdf>

FAO. (2018). *Las principales frutas tropicales. Análisis de mercado*. Roma. <http://www.fao.org/3/ca5692es/CA5692ES.pdf>

Fernández, R. (2020). Inteligencia Artificial y Agricultura: nuevos retos en el sector agrario. *Campo Jurídico (Online)*, 8(2), 123-139.

Food and Agriculture Organization. (2018). FAO.

González, C. (2014). *Aplicación de sistemas de visión por computador (VIR/NIR) para la inspección visual de Uchuvas*. Bogotá: (Tesis de grado) Universidad Javeriana. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/71419539.pdf>

Granado,W., & Noreña Triana, M. (2019). *Cadena deL Mango Indicadores e instrumentos*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado el 9 de Mayo de 2020, de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Haeussler, E., & Paul, R. (2003). *Matemáticas para administración y economía*. Monterrey: Pearson.

Hernández, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. McGrawHill.

Herrera, O. (10 de agosto de 2018). Manejo poscosecha con criterios orgánicos para frutas y hortalizas. Congreso Nacional HORTIFRUTÍCOLA: <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/5Manejo%20poscosecha%20con%20criterios%20org%C3%A1nicos%20para%20frutas%20y%20hortalizas.pdf>

Herrera, O. (2018). *Instalaciones para bicicletas que abordan la seguridad, la delincuencia y el desarrollo económico*. Morelia, Mexico.

López, P. (2015). *Metodología de la investigación social cuantitativa*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Obtenido de https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2016/163570/metinvsoccua_a2016_cap3-10.pdf

Maussa, A. (5 de Diciembre de 2018). Colombia pierde cerca del 40% de los alimentos que produce. *El Espectador*.

MinAgricultura. (08 de 01 de 2018). *Producción de mango mantiene tendencia de crecimiento, en 2018 alcanzaría las 262 mil toneladas*. Ministerio de Agricultura de Colombia: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Producci%C3%B3n-de-mango-mantiene-tendencia-de-crecimiento,-en-2018-alcanzar%C3%ADa-las-262-mil-toneladas-.aspx>

ONU. (12 de octubre de 2018). *Cómo la basura afecta al desarrollo de América Latina*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>

Padrón, C. (2012). *Determinación del color en epicarpio de tomates (Lycopersicum esculentum Mill.) con Sistema de Visión Computarizada durante la maduración*. San José: Ministerio de Agricultura y Ganadera de Costa Rica.

Pascual, D. (2016). Métodos de Inteligencia Artificial para la predicción del rendimiento y calidad de gramíneas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(12), 1-9.

Portafolio (23 de mayo de 2018). 715 millones de toneladas de frutas y verduras se desechan en el mundo. *Portafolio*.

- Quintero, V. (2013). Caracterización fisicoquímica del mango común, durante su proceso de maduración. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11 (1), 10-18. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a02.pdf>
- Ramón, G. (9 de abril de 2015). Diseños experimentales. Obtenido de http://viref.udea.edu.co/contenido/menu_alterno/apuntes/ac37-diseno_experiment.pdf
- Rich, E. (1994). *Inteligencia artificial*. McGraw-Hill.
- Rojo, J. M. (2007). *Regresión Lineal Múltiple*. Madrid: Laboratorio de Estadística.
- Romero, A., Marín, A., & Jiménez, J. (Junio de 2015). Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy. Medellín, Colombia.
- Saenz, T. (2010). Sistema computarizado experto en diagnóstico nutrimental en naranjo. *Terra Latinoamericana*, 18(2), 173-178.
- Torres, S. (2012). Uso de los Modelos de Simulación en predicción de rendimiento de cultivos y en la transferencia de Agro-tecnología. *Agronomía al día (Venezuela)*.(Nov-Dic, 1(2), 34-35.
- Valiente, J. (2006). *Manual de iniciación a GNU Octave*. Obtenido de Politécnica de Teruel: http://softlibre.unizar.es/manuales/aplicaciones/octave/manual_octave.pdf
- Vidal, M. (2019). Inteligencia artificial en la docencia médica. *Educación Médica Superior*, 33(3), 95-115.

6

Biodegradación de petróleo crudo a partir de bacterias aisladas de un suelo contaminado con crudo



Adriana Valentina Pérez Cardenas

Estudiante de Ingeniería Ambiental, Semillero de Investigación BMX, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Bogotá-Colombia, adrianaav-perezc@unilibre.edu.co.

Daniel Alejandro Pérez Baquero

Estudiante de Ingeniería Ambiental, Semillero de Investigación BMX, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Bogotá-Colombia, daniela-perezb@unilibre.edu.co.

Patricia Joyce Pamela Zorro Mateus

Química, Magister en Ciencias - Bioquímica. Docente de Ingeniería Ambiental, Líder de Semillero BMX, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Bogotá-Colombia, patriciap.zorrom@unilibre.edu.co.

Introducción

Los hidrocarburos han sido usados como combustibles fósiles masivamente por los humanos. Su extracción ha estado acompañada de contaminación del agua y suelos circundantes debido a derrames, que en su mayoría son accidentales. (Velásquez, 2017). La contaminación por hidrocarburos en el suelo impide el intercambio gaseoso afectando los procesos fisicoquímicos. Además, dependiendo del tipo de hidrocarburo y su concentración, y también de las condiciones físico químicas a las que se encuentre el suelo, pueden ocasionar diferentes niveles de toxicidad (Ordoñez et al., 2017). Los suelos con altas concentraciones de hidrocarburos pierden su fertilidad debido al desplazamiento de nutrientes, reducción en la disponibilidad del fósforo y el nitrógeno, y las condiciones anóxicas (Velásquez, 2017), que afectan de manera directa al sistema vegetal.

Debido a la contaminación ocasionada por los hidrocarburos, surge la necesidad de implementar técnicas sustentables y efectivas que contribuyan a mejorar las condiciones del recurso, ya que en la actualidad son tratados mediante métodos químicos y físicos, en donde los reactivos o técnicas utilizadas, suelen tener mayor impacto negativo en el medio. (Ñustez, 2014). Por lo anterior, en el mundo se ha avanzado con el desarrollo e implementación de tecnologías ambientalmente sostenibles y de bajo costo para el control de la contaminación, como es el caso de la biorremediación, la cual permite disminuir los efectos adversos ocasionados por estos contaminantes sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos. (Barrios et al., 2015). De igual manera, han surgido tanto tratamientos físicos y químicos, como biológicos, los cuales se caracterizan por aprovechar microorganismos como bacterias, por remediar superficies sólidas o líquidas que se encuentren contaminadas por hidrocarburos dada a su potencial degradación y por recuperar la superficie original (Petro y Mercado, 2014). Por este motivo, se propone la biorremediación, como una técnica que consiste en aprovechar las capacidades metabólicas de los microorganismos que se encuentran en los hidrocarburos (bacterias, hongos, levaduras), los cuales tienen la capacidad de biorremediar y acelerar los procesos de descontaminación de suelos o ecosistemas que estén contaminados con hidrocarburos. (Narváez et al., 2016).

En la actualidad la biorremediación es una alternativa de bajo costo usada para transformar los contaminantes que se encuentran presentes en diversos

ecosistemas. Microorganismos como las bacterias adquieren la capacidad de degradar compuestos xenobióticos con los que hayan tenido contacto constante en su ambiente natural, lo que posibilita su aislamiento de lugares en los que haya existido exposición a estos compuestos (Márquez et al., 2001).

En la literatura científica se encuentran varios trabajos en los que se estudia esta capacidad de degradación de las bacterias, por ejemplo, en el artículo “Aislamiento y selección de una cepa bacteriana degradadora de hidrocarburos a partir de suelos contaminados con petróleo”, en donde se estudió la biodegradación de petróleo por aislamientos bacterianos de una muestra de suelo contaminado con petróleo, se evidenció que al realizar un enriquecimiento utilizando petróleo como única fuente de carbono y energía, obtuvieron nueve cepas bacterianas, que correspondían a *Pseudomonas* y a su vez la cepa AT18, fue el mejor resultado con un 57% de biodegradación de petróleo. (Pérez et al., 2008). Así mismo, un estudio titulado “Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia”, en donde se revisa la biorremediación como una técnica sostenible para frente al deterioro ambiental que se genera y se evidencia el uso de algunos microorganismos de bacterias y hongos degradadoras de petróleo, como es el caso de las *Pseudomonas*. (Trujillo y Ramírez, 2012).

En otro estudio titulado “Biodegradación de fenol en aguas tratadas de la industria petrolera para re-uso en cultivos agrícolas”, en donde aislaron cepas bacterianas, caracterización e identificaron morfología y molecularmente ocho cepas, teniendo en cuenta la capacidad de degradar fenol. Por otra parte, evidencian que en suelos afectados con hidrocarburos predominan bacterias Gram negativas. (Pardo et al., 2017).

Algunas de las bacterias más representativas con capacidad para degradar hidrocarburos se clasifican como *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas* sp, *Bacillus* sp, *Bacillus subtilis* y *Burkholderia* sp., (Martínez y Rabelo, 2020). En el artículo científico titulado “Study Potencial of Indigenous *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in Bioremediation of Diesel – Contaminated Water”, se evaluó el potencial que tenían los aislamientos microbianos autóctonos para la degradación del combustible diesel, en donde se estudiaron dos cepas bacterianas más competentes entre cinco cepas aisladas de suelo contaminado de una refinería industrial. Luego, los aislamientos se identificaron como *Pseudomonas aeruginosa* y *Bacillus subtilis*. *P.aeruginosa* demostró una mayor eficiencia de biodegradación que *B. subtilis*, con una degradación

aproximadamente del 87 y el 75% de los hidrocarburos totales, demostrando tener una alta capacidad de biodegradación. (Saeed et al., 2017). Así mismo, en un estudio titulado “Petroleum hydrocarbon-contaminated soil bioremediation assisted by isolated bacterial consortium and sophorolipid” demostraron que mediante un consorcio de bacterias aisladas y un biosurfactante fue mejor la biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo, debido a que obtuvo una eficiencia del 57,7%, demostrando la eficiencia de la biorremediación (Feng et al., 2021).

Por esta razón, en el presente trabajo se estudia la biodegradación con bacterias endógenas de un suelo que ha estado en contacto permanente con petróleo crudo, lo aumenta la probabilidad de encontrar microorganismos degradadores de hidrocarburos. Los procesos de biodegradación han sido enfocados principalmente al tratamiento de suelos con estos microorganismos, pues tienen la capacidad de crecer en condiciones *ex situ*, lo que permiten que se pueda utilizar estrategias de biorremediación, y a su vez la identificación taxonómica de los aislamientos de interés. Esta alternativa se basa en reconocer y aprovechar que una gran cantidad de los componentes del petróleo crudo es biodegradable en la naturaleza, además presenta varias ventajas sobre tecnologías convencionales, puesto que son mucho más económicos, son menos intrusivos, más respetuosos con el medio ambiente y requieren de un mínimo o ningún tratamiento posterior. (Ñustez, 2014).

En virtud de lo anterior, este proyecto tuvo como objetivo general, evaluar la capacidad de biodegradación de petróleo en suelos contaminados con crudo a partir del uso de cepas bacterianas presentes en el mismo suelo contaminado con petróleo crudo. Para lo que se aislaron las bacterias presentes en la muestra de suelo, se hicieron pruebas preliminares para comparar la capacidad de degradación de crudo en los aislamientos bacterianos puros y se seleccionaron los que obtuvieron mejores resultados, para caracterizarlos morfológica y microscópicamente. Finalmente, se construyeron curvas de crecimiento para estudiar más detenidamente el crecimiento de los aislamientos a partir del crudo.

Materiales y métodos

La muestra de suelo del cual se aislaron los microorganismos se obtuvo del pozo de petróleo Cabuyaro Meta Campo Cordel ubicado en el municipio Barranca de Upía en el departamento de Meta, Colombia.

Aislamiento bacteriano

El aislamiento de las cepas bacterianas se llevó a cabo por el método de enriquecimiento bacteriano y diluciones seriadas, donde se tomó una muestra del suelo contaminado de 50 g que fue previamente tamizado en un tamiz de malla 10 mm separando las partículas finas de las gruesas, se empleó 10 g de este suelo contaminado con petróleo, en un matraz de 200 ml, este se suplemento con 100 ml de un medio mínimo de sales (MMS) y petróleo crudo a una concentración del 1% v/v. (Pérez et al., 2008).

El medio mínimo de sales (MMS) empleado es el modificado y diseñado por Zajic y col (Zajic, Guignard y Gerson, 2004) está compuesto por (g/L): KH_2PO_4 0,05; NH_4Cl 0,1; K_2HPO_4 0,1; KH_2PO_4 0,05; KCl 0,01; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,05; CaCl_2 0,001; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,001. Además, se le adicionaron 0,05 ml de una disolución de oligoelementos de composición porcentual: B (0,026), Cu (0,05), Mn (0,05), Mo (0,006) y Zn (0,07). Una vez dejado el suelo y el MMS en el matraz, se dejó en un agitador orbital en agitación constante a 25°C y 130 rpm durante tres semanas. (Pérez et al., 2008). Luego, se hizo una dilución suspendiendo 1 ml de la anterior mezcla en 9 ml de solución salina NaCl (1,0%). A partir de esta, se realizaron diluciones seriadas en tubos de ensayo con tapa rosca, hasta llegar a la dilución correspondiente a 10^{-6} . Se sembraron 100 μl de las diluciones de los tubos correspondientes a 10^0 , 10^{-3} y 10^{-6} en cajas de Petri con agar nutritivo (AN), soya tripticasa (AST) y LB (Lb). Estas siembras se hicieron por triplicado.

Para obtener los aislamientos bacterianos puros a partir de los anteriores cultivos, se hicieron siembras por agotamiento y estría (Lorenzo, 2020). Una vez aisladas las bacterias, se dejaron crecer los microorganismos en cajas de Petri, en incubación a 25°C durante tres días y se conservaron a 4°C en medio semisólido. Las cepas bacterianas aisladas se enumeraron del 1 al 24 para identificarlas.

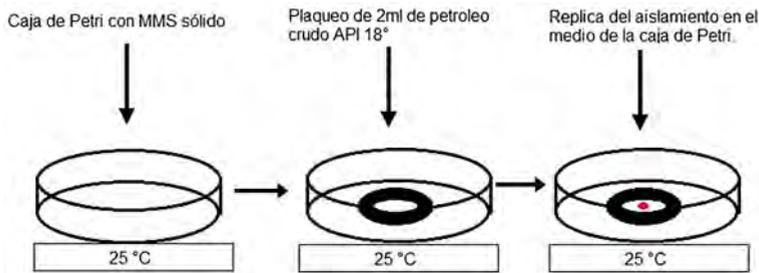
Pruebas preliminares de degradación de petróleo crudo

Para la determinación de los microorganismos más resistentes a petróleo crudo, se realizó una prueba preliminar donde se utilizaron las 24 cepas aisladas, cada una fue replicada por triplicado en un medio de agar mínimo de sales, y 2ml de petróleo crudo (18° API), el cual fue utilizado como única fuente de carbono y energía para los microorganismos presentes (Figura 1). Las cajas de

Petri se dejaron a temperatura ambiente por 7 meses, luego se midieron los diámetros de crecimiento de cada bacteria probada. Esta medición, se realizó con un calibrador digital.

La Figura 1 representa los pasos que se hicieron al momento de plaquear el petróleo crudo y al momento de repicar la bacteria.

Figura 1. Esquema de montaje de las curvas preliminares de resistencia de crudo.



Fuente: Autores (2021)

Identificación morfológica

Para la identificación de las colonias, se llevó a cabo dos procedimientos: el primero, una identificación macroscópica que describe los rasgos de cada bacteria, sus características visibles, como su forma, textura, tipo de borde, color y superficie. El segundo, una identificación microscópica mediante la tinción de Gram, con el fin de identificar las bacterias Gram positivas y Gram negativas.

Para la tinción de Gram se tomó una colonia aislada del medio, se extendió sobre una lámina de vidrio con una gota de agua y se fijó con ayuda del mechero Bunsen, posteriormente se colocó una gota de cristal violeta durante 60 segundos, luego se adicionó lugol por 30 segundos, en donde pasado el tiempo se lavó con agua destilada, para aplicar una gota de safranina por 1 minuto y medio. Finalmente, se lavó y se fijó al mechero, y una vez fijado, se observó en el microscopio marca Carl Zeiss, modelo Primo Star.

Además, se utilizó el medio agar cetrimida fabricado por Merck, el cual es un agar selectivo para el crecimiento de bacterias del género *Pseudomonas*. Se repicaron los 24 aislamientos puros obtenidos en el medio selectivo, los cuales fueron dejados a una temperatura de 18°C y se realizó el seguimiento a las 24, 48 y 72 horas en busca de aquellos aislamientos que mostraran crecimiento en el medio.

Curvas de crecimiento

Las curvas de crecimiento se corrieron por triplicado para aquellos microorganismos que presentaron la mayor resistencia al petróleo crudo en las pruebas preliminares, esta se hizo con el objetivo de ver cómo era crecimiento de estos microorganismos ante la presencia de petróleo crudo.

La prueba se llevó a cabo durante un periodo de 30 días y se monitoreo el crecimiento de los microorganismos cada 4 a 5 días, inicialmente se inocularon las cepas con mejores resultados en 10 ml de caldo soya tripticasa en tubos de ensayo tapa rosca, estos se dejaron en agitación constante a 30°C y 200 rpm durante 16 horas. Después, el cultivo se ajustó con agua destilada estéril para obtener un recuento de células bacterianas de 4.9×10^6 UFC/ml a una absorbancia de 600 nm. Se transfirió a matraces de 250 ml que contenían 100 ml de medio mínimo de sales (MMS) suplementado con 1% de petróleo crudo v/v. Los matraces fueron encubados en un agitador orbital a 200 rpm y 30°C. (Sathishkumar et al., 2008). Por otra parte, se llevaron a cabo blancos de estas pruebas para cada una de las cepas, el cual consistía en inocular 20 ml de la cepa bacteriana a un recuento de células de $4,9 \times 10^6$ en 100 ml de MMS en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, al que no se había adicionado petróleo y a su vez se realizó la curva de crecimiento para el blanco con petróleo. Finalmente se hizo otro blanco de petróleo, donde únicamente se agregaba 100 ml de MMS y petróleo crudo, pero no se agregaba ningún volumen de bacteria.

Para el recuento de microorganismos se empleó el método de recuento en placa por dilución seriada (Ramírez et al., 2017) donde cada cuatro a cinco días se extraía 1 ml del matraz y se hacían diluciones seriadas hasta 10^{-6} , cada dilución era plaqueada en una caja de agar soya tripticasa por triplicado y se le hacía seguimiento durante las siguientes 24, 48 y 72 horas para hacer el respectivo conteo de UFC.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante estadística descriptiva, en donde se aplicaron los métodos estadísticos de análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey para la comparación de los datos obtenidos en la prueba preliminar. Finalmente, se definió si los datos obtenidos tenían diferencia significativa entre estos, o si por el contrario no existían diferencias entre los resultados obtenidos.

Presentación de resultados

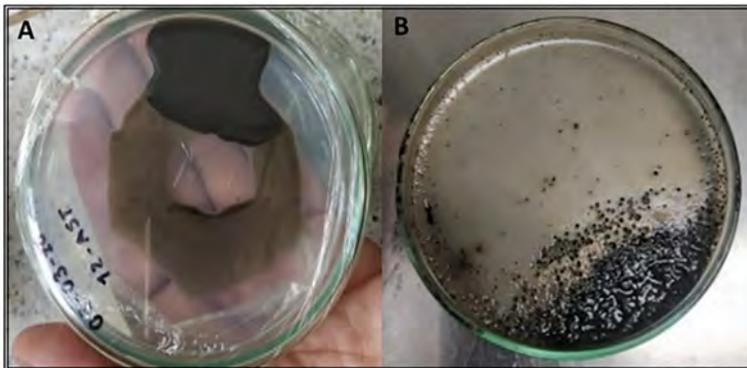
Aislamiento bacteriano

De las diluciones seriadas hechas se aislaron 6 cepas bacterianas en Lb, 9 en agar nutritivo y 9 en agar soya tripticasa, para un total de 24 cepas bacterianas.

Pruebas preliminares de degradación de petróleo crudo

Para la selección de las cepas con mayor crecimiento en presencia de crudo se evidenció que todas crecían en el medio, algunas con mayor diámetro promedio de crecimiento que otras. Las especies que representaron mayor crecimiento y mejor degradación de crudo fueron las bacterias: B-6 AST, B-9 AST, B-12 AST, B-28 AN, B-15 AN, B-19.1 Lb y B- 18.1 Lb. Los resultados obtenidos de los diámetros de crecimiento se muestran en la Figura 2 y en la Figura 3.

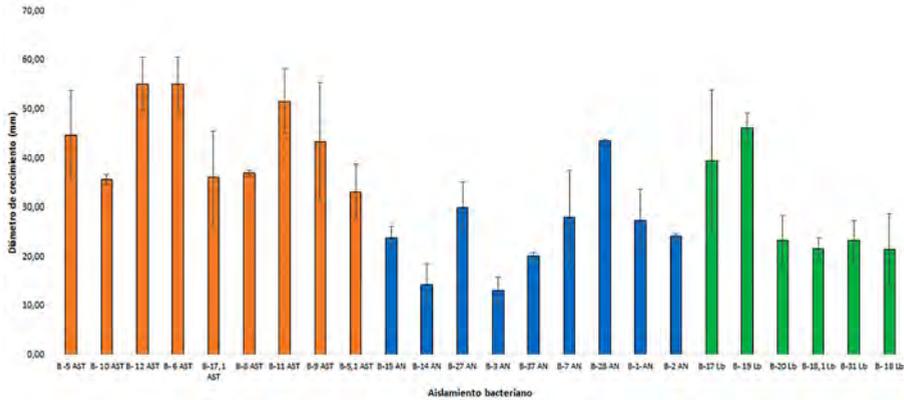
Figura 2. Mejor resultado de las pruebas preliminares.



Fuentes: Autores (2021).

La Figura 2 muestra imágenes obtenidas para el aislamiento B-12 AST. En A se muestra la imagen del montaje en día 0 y en B se muestra el mismo montaje después de los 7 meses de prueba.

La Figura 3 representa el crecimiento promedio para los aislamientos bacterianos que fueron sometidos a crecimiento en presencia de crudo. Las barras de error representan barras de dispersión.

Figura 3. Diámetro promedio de crecimiento bacteriano.

Fuente: Autores (2021).

Para los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente con la prueba de ANOVA: $p > 0,05$ donde se mostró diferencias significativas entre los diámetros de crecimiento de cepas bacterianas, los resultados arrojados por ANOVA fueron: ($p = 1,3608E-11$; $F = 10,1356943$; valor crítico $F = 1,75675938$).

Con el fin de identificar que crecimientos tuvieron diámetros diferentes al promedio se realizó la prueba de Tukey, la cual arrojó que el diámetro promedio de crecimiento de 7 cepas bacterianas era significativamente diferente a las demás, entre las bacterias con diferencias significativas se encuentran B-6 AST, B-9 AST, B-12 AST, B-28 AN, B-15 AN, B-19.1 Lb y B-18.1 Lb.

Dicho lo anterior, los mejores resultados fueron los aislamientos mencionados anteriormente, sin embargo, los que mostraron mejor degradación aparente de crudo fueron las cepas B-6 AST, B-9 AST y B-12 AST, esto se determinó al observar como la bacteria se extendía sobre la caja de Petri e incluso se redujo la densidad del crudo que se añadió al principio de la prueba, siendo esto un indicador de que las cepas pueden degradar crudo y utilizan el carbono del este como fuente de energía para el crecimiento. (Al-Hawach et al., 2018).

Identificación morfológica

Se realizó una identificación macroscópica y microscópica de los mejores resultados de biodegradación de crudo. La Tabla 1 presenta los resultados de las características morfológicas de las cepas bacterianas.

Tabla 1. Identificación morfológica.

Número de cepa	Descripción de la colonia	Descripción microscópica (100x)
B 6 – AST	Forma: Rizoide Borde: Entero Textura: Viscosa Color: Beige Elevación: Plana	Forma: Bacilos Reacción Gram: (-)
B 9 – AST	Forma: Puntiforme Borde: Entero Textura: Viscosa Color: Blanco Elevación: Convexa	Forma: Bacilos Reacción Gram: (-)
B 12 - AST	Forma: Circular Borde: Entero Textura: Viscosa Color: Blanco Elevación: Pulvinada	Forma: Bacilos Reacción Gram: (-)
B 15 - AN	Forma: Circular Borde: Entero Textura: Viscosa Color: Blanco y beige Elevación: Umbonada	Forma: Cocos Reacción Gram: (+)
B 19.1 – Lb	Forma: Irregular Borde: Entero Textura: Viscosa Color: Beige Elevación: Plana	Forma: Bacilos Reacción Gram: (-)

Fuente: Autores (2021).

De acuerdo con la revisión bibliográfica, se menciona que en suelos contaminados con hidrocarburos predominan bacterias Gram negativas (Pardo et al., 2017). Teniendo en cuenta, que el proyecto fue realizado con una muestra de suelo contaminado con hidrocarburos e identificando morfológicamente las cepas aisladas, se puede evidenciar un resultado positivo dado que, de cinco cepas identificadas, cuatro arrojaron ser bacterias Gram negativas y una bacteria Gram positiva, como se observa en la Tabla 1.

Estos resultados, junto con los obtenidos de los aislamientos que crecieron en el medio cetrimida, están de acuerdo con lo encontrado en el estudio titulado “Microbial degradation of petrochemical waste-polycyclic aromatic hydrocarbons”, en el que identificaron consorcios bacterianos, primero en función de sus características morfológicas de las colonias individuales y luego por tinción de Gram, como resultado obtuvieron bacterias Gram negativas correspondientes a la especie *Pseudomonas aeruginosa*, siendo un organismo potencial para la biorremediación (Fulekar, 2017).

Además, en el trabajo “Isolation and characterization of glycolipid biosurfactant produced by a *Pseudomonas otitidis* strain isolated from Chirimiri coal mines, India”, hicieron un enriquecimiento y asilamiento de cepas bacterianas de la mina de carbón de Chhattisgarh, obteniendo bacterias Gram negativas correspondientes a *Pseudomonas otitidis*, en donde probaron la eficiencia de la degradación de pireno, el cual permite concluir que esta cepa puede ser usada para la biorremediación de suelos contaminados con HAP debido a su potencial capacidad degradadora (Singh y Tiwary, 2016).

En la presente investigación, se obtuvo el crecimiento de cinco cepas correspondientes al género *Pseudomonas* según su crecimiento en el medio de cultivo cetrimida (Merck, 2006). De acuerdo con diferentes investigaciones, las bacterias *Pseudomonas* corresponden a bacterias Gram negativas, lo que permite deducir que, de 5 bacterias que crecieron satisfactoriamente en este medio, probablemente cuatro corresponden al género *Pseudomonas* (B-6 AST, B-9 AST, B-12 AST y B-19.1 Lb), mientras que la B-15 AN, aunque creció en el medio cetrimida, no parece corresponder a *Pseudomonas* por su tinción de Gram.

Curvas de crecimiento

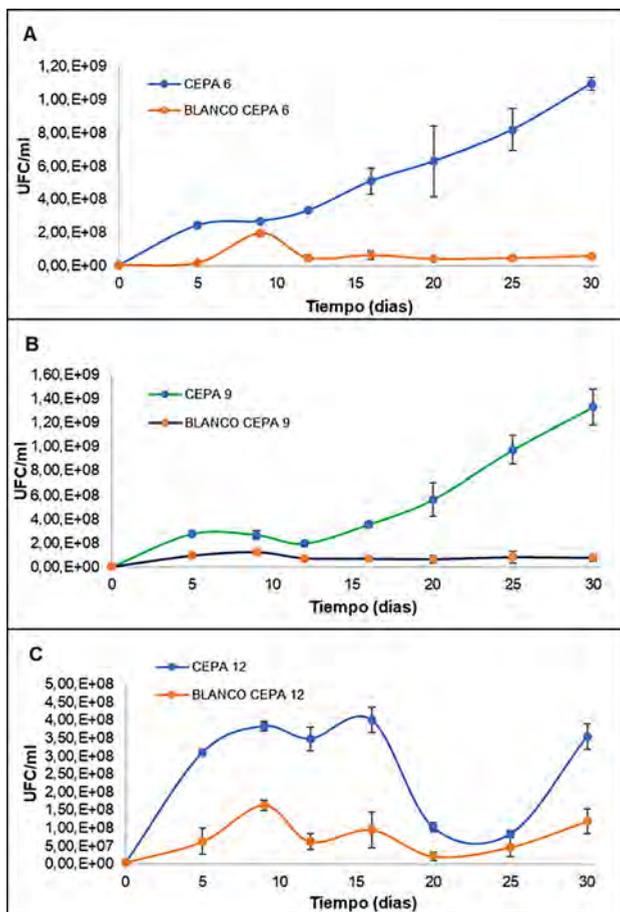
Con base en los mejores resultados de las pruebas preliminares de degradación de petróleo crudo se escogieron las cepas bacterianas B-6 AST, B-9 AST y B-12 AST para construir las curvas de crecimiento que se muestran en la Figura 4.

La Figura A muestra la curva de crecimiento para el aislamiento 6, la B la curva de crecimiento para el aislamiento 9 y la C la curva de crecimiento para el aislamiento 12. Las barras de error representan barras de dispersión.

Por el recuento de unidades formadoras de colonias se puede decir que, en el periodo evaluado las cepas número B-6 AST y B-9 AST requirieron de mayor tiempo para poder adaptarse al medio, para posteriormente presentar gran crecimiento alcanzando recuentos de $1,10 \times 10^9$ y $7,67 \times 10^8$ UFC/g respectivamente.

En la gráfica también se observa que la B-6 AST presenta dos diauxias en los periodos entre los días 5 a 10, 15 a 20, y en la B-9 AST en el periodo entre el día 9 a 12, que según (Rojas et al., 2009) reflejan la presencia de

Figura 4. Curvas de crecimiento.



Fuente: Autores (2021).

sustratos complejos que son frecuentemente observado cuándo dos o más fuentes de carbono son usadas en el mismo medio y según (Chaparro, 2019) una diauxia es el aprovechamiento realizado por la muestra de al menos tres sustancias principales que componen el crudo. Según (Varjani, 2017) el orden de biodegradabilidad de los hidrocarburos es el siguiente: alcanos lineales > alcanos ramificados > alquil aromáticos de bajo peso molecular > monoaromáticos > alcanos cíclicos > poliaromáticos > asfáltenos. Teniendo en cuenta que las bacterias en la investigación probablemente corresponden al género *Pseudomonas*, es posible que estas hayan degradado primero los alcanos para posteriormente degradar monoaromáticos, esto basado en la tabla presentada por (Xu et al., 2018) donde ilustran el perfil principal de degradación para diferentes bacterias, entre estas las *Pseudomonas*.

Por otra parte, la B-12 AST alcanzó un recuento máximo de $3,84 \times 10^8$ UFC/g para posteriormente comenzar en un aparente proceso de lo que sería muerte microbiana aunque en los últimos recuentos entre el día 25 al 30 comienza una fase logarítmica de crecimiento, la adición de sales inorgánicas específicas en el MMS también presentan un estímulo en el crecimiento de las bacterias, esto debido a que el crudo les aporta principalmente carbón por lo que contiene bajas cantidades de otros elementos esenciales. (Lorenzo y Robles, 2016). Para la curva de crecimiento de los blancos se evidencia crecimiento en menor proporción, sin embargo, después de aproximadamente 10 días comienzan a disminuir su crecimiento entrando en fase estacionaria hasta el día 30, lo cual muestra la diferencia entre los blancos y las pruebas con petróleo crudo. Por otra parte, no se obtuvo resultado para el blanco de petróleo ya que no alcanzó un crecimiento significativo, por lo cual no se tuvo en cuenta en las gráficas.

Adicionalmente, se realizó el análisis estadístico ANOVA: $p > 0,05$ para los resultados obtenidos donde se demostró diferencias significativas en las curvas de crecimiento ($p = 0,000009268$; $F = 8,77067477$; Valor crítico $F = 2,4376926$). Para identificar cuáles crecimientos presentaron diferencia significativa se realizó la prueba de Tukey, el cual indicó que los crecimientos de las cepas B-6 AST y B-9AST fueron las más significativas con respecto a la cepa B-12 AST y a los blancos.

De acuerdo, a los resultados obtenidos en las curvas de crecimiento, la B-6 AST y B-9 AST que probablemente corresponden al género *Pseudomonas*, obtuvieron diferencias significativas y demostraron actividad de degradación. Según (Ludeña, 2020), las bacterias *Pseudomonas* tienen capacidad emulsificante, son potencialmente degradadoras de hidrocarburos, y efectivas en el proceso de biorremediación de suelos contaminados con crudo de petróleo.

Se ha demostrado que hay una variedad de reacciones para la degradación de hidrocarburos, por ejemplo, algunas son reacciones oxidantes o degradación de los hidrocarburos alifáticos y poliaromáticos, sin embargo, estas vías varían dependiendo de las oxigenasas específicas de cada bacteria degradadora de hidrocarburos, algunas pueden metabolizar alcanos específicos, mientras que otras descomponen hidrocarburos aromáticos o resinosos. Estudios recientes han identificado más de 79 bacterias degradadoras de hidrocarburos, algunas de ellas de los géneros *Mycobacterium*, *Pandora*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Streptobacillus* (Tremblay et al., 2017).

Por ejemplo, en la *Pseudomonas putida* F1 su mecanismo de biodegradación de hidrocarburos se caracteriza por la mineralización eficiente de benceno, tolueno y fenol. Algunos componentes claves de la degradación de hidrocarburos son enzimas específicas como enzimas alcano 1-monooxigenasa, alcohol deshidrogenasa, metano monooxigenasa, ciclohexanol-deshidrogenasa y ciclohexanona 1,2 monooxigenasa que están involucrados en la degradación de alcanos. (Xu et al., 2018).

Por otra parte, de acuerdo con una investigación, titulada “Aislamiento e identificación de *Pseudomonas aeruginosa* potencialmente degradadoras de crudo de petróleo, provenientes de suelos en talleres de automóviles en el Norte Chico”, en donde aislaron e identificaron un total de cinco bacterias *Pseudomonas* en talleres de automóviles, determinaron su actividad emulsificante y degradativa, llegando a la conclusión que dichas bacterias son efectivas para degradar crudo de petróleo (Quiliche et al., 2016).

Consideraciones finales

Se estudió la capacidad de biodegradación de petróleo crudo en bacterias aisladas de suelo contaminado con crudo. De las pruebas preliminares de degradación de petróleo crudo, se demostró que las bacterias B-6 AST, B-9 AST, B-12 AST, B-15 AN y B-19.1 Lb tienen la capacidad de degradar y crecer cuando su única fuente de carbono es el crudo. Incluso se evidenció que estas bacterias pueden sobrevivir en periodos de tiempo largos con petróleo crudo como única fuente carbono.

La identificación morfológica de los aislamientos bacterianos se realizó para los mejores resultados en la prueba de resistencia de crudo, estos fueron provenientes del suelo contaminado y se caracterizaron mediante la prueba de Tinción de Gram y su crecimiento selectivo en agar deprimida Merck. En donde, se obtuvo que efectivamente las bacterias B-6 AST, B-9 AST, B-12 AST, y B-19.1 Lb corresponden al género *Pseudomonas*, en la que se ha demostrado actividad degradadora.

De las curvas de crecimiento se vio un patrón de adaptación de las cepas entre los días 10 y 15, también se evidenció que la B-6 AST y B-9 AST lograron los mayores crecimientos de UFC/g, lo que permite demostrar que estas bacterias tienen capacidad de crecer en petróleo pesado.

Se recomienda la biodegradación como alternativa para la descontaminación de suelos contaminados ya que de estos se pueden aislar microorganismos, los cuales tienen capacidades de resistencia y crecimiento a estos xenobióticos, lo cual permite su aplicación en ambientes reales. Se recomienda probar de manera mixta los diferentes aislamientos para evaluar si su comportamiento es igual o diferente.

Referencias

- Al- Hawash, A., Alkooranee, J., Abbdood, H., Zhang, J., Sun, J., Zhang, X, ... Ma, F. (2018). Isolation and characterization of two crude oil-degrading fungi strains from Rumalia oil field, Iraq. *Biotechnology reports*, 17,104-109. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.12.006>
- Antelo, V. (2012). *Mecanismos de transferencia horizontal genética asociados a la degradación de gasoil y de resistencia a antibióticos en bacterias heterótrofas de suelos de la Antártida*. [Tesis de grado, Universidad de la República]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/3921/1/uy24-16003.pdf>
- Aryal, S. (12 de Junio de 2018). *Agar cetrimida: composición, principio, usos, preparación y morfología de colonias*. *Microbiologyinfo.com*. <https://microbiologyinfo.com/cetrimide-agar-composition-principle-uses-preparation-and-colony-morphology/>
- Barrios, L., Gómez,J., Prieto, S & Cardona,S. (2015). Biorremediacion de suelos contaminados con aceites usados de motor. *Revista Cintex*, 3-4. <http://pascualbravo.edu.co>
- Chaparro, L. (2019). *Estudio preliminar de la actividad degradadora a partir de hongos aislados de muestras de crudo adsorbidas en diferentes fibras vegetales*. [Tesis de grado, Universidad Libre]. Repositorio institucional de la Universidad Libre. <http://hdl.handle.net/10901/19146>
- Feng, L., Jiang, X., Huang, Y., Wen, D., Fu, T., ... Fu, R. (2021). Petroleum hydrocarbon- contaminated soil bioremediation assisted by isolated bacterial consortium and sophorolipid. *Environmental Pollution* , 273, 116476. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116476>

- Fulekar, M. (2017). Microbial degradation of petrochemical waste-polycyclic aromatic hydrocarbons. *Bioresour. Bioprocess*, 4 (1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0158-4>
- Lorenzo, D. & Robles, H. (2016). Aislamiento y selección de un cultivo bacteriano puro degradador de hidrocarburos a partir de botaderos de residuos de petróleo en Talara. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9011>
- Lorenzo, J. (2020). Determinación de microorganismos eficientes a partir de los desechos de hojarasca en la montaña de la margen derecha del río Cozo, Distrito de Quisqui, Provincia y Departamento de Huánuco. [Tesis de grado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional de la Universidad Huánuco. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2455>
- Ludeña, P. (2020). Evaluación del potencial degradador de hidrocarburos por bacterias del género *Pseudomonas* aisladas de suelos agrícolas de Casa Blanca, Pachacámac. [Tesis de grado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional de la Universidad Sedes Sapientiae. <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/828>
- Márquez, F., Hernández, V & Lamela, T. (2001). Biodegradation of Diesel Oil in Soil by a Microbial Consortium. *Water, Air, & Soil Pollution*, 128, 313-320. <https://doi.org/10.1023/A:1010392821353>
- Martínez, D. & Rabelo, R. (2020). Bacterias biodegradoras de hidrocarburos. *Biociencias*. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/article/view/4331/421>
- Merck. (8 de Junio de 2006). Ficha de datos de seguridad para Agar Cetrimida. Merckmillipore. https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/msds/MDA_CHEM-105284?Origin=PDP
- Narváez, S. G. (2016). Selección de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos aisladas a partir de sedimentos del Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras.*, 37(1). <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2008.37.1.182>

- Ñustez, D. (2014). Bioremediation for degradation of total hydrocarbons present in the sediments of a fuel service station. *Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 37(1), 20-28. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702014000100004
- Ordoñez, D., Abella, C., Echeverry, D., y Paz, L. Benítez, N. (2017). Biodegradación de hidrocarburos alifáticos saturados por microorganismos aislados de suelo contaminado con derivados del petróleo. *Ciencias*, 22(2). https://www.researchgate.net/profile/Neyla-Benitez-Campo/publication/335462181_Biodegradacion_de_hidrocarburos_alifaticos_saturados_por_microorganismos_aislados_de_suelo_contaminado_con_derivados_del_petroleo/links/5d9df6c8458515df0ae88afd/Biodegradacion-de-hidrocarburos-alifaticos-saturados-por-microorganismos-aislados-de-suelo-contaminado-con-derivados-del-petroleo.pdf
- Pardo, S., Rojas, D., Roldan, F., Brandao, P., ... Almansa, E. (2017). Biodegradación de fenol en aguas tratadas de la industria petrolera para re-uso en cultivos agrícolas. *Revista Biología Tropical*. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v65i2.23992>
- Pérez, S., Camacho, M., Gómez, M., Ábalos, A., Viñas, M., ... Cantero, M. (2008). Aislamiento y selección de una cepa bacteriana degradadora de hidrocarburos a partir de suelos contaminados con petróleo. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 39(1), 044-051. <https://revista.cnic.cu/index.php/RevBiol/article/download/651/531>
- Petro, P. & Mercadeo, M. (2014). *Biorremediación de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos derivados del petróleo en Colombia*. Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño. Cartagena de Indias. Colombia.
- Quiliche, J., Cortez, A., Rodríguez, P., Silva, M., ... Huayna, L. (2016). Aislamiento e identificación de *Pseudomonas aeruginosa* potencialmente degradadoras de crudo de petróleo, provenientes de suelos en talleres de automóviles en el Norte Chico. *Revista Infinitum*, 6(1). <https://doi.org/10.51431/infinitum.v6i1.10>
- Ramírez, S., Parra, V & Álvarez, A. (2017). *Análisis de técnicas de recuento de microorganismos*. Universidad Libre. Pereira. Colombia. <https://repository.>

unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17610/1.An%C3%A1lisis%20de%20recuento.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Rojas, T., Garrido, M. & Bonilla, R. (2009). Estandarización de un medio de cultivo complejo para la multiplicación de la cepa C50 de *Rhizobium* sp. *Revista Corpoica*, 10(1), 70-80. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945026007>
- Saeed, M. R. (2017). Study Potencial of Indigenous *Pseudomonas auriginosa* and *Bacillus subtilis* in Bioremediation of Diesel – Contaminated Water. *Water Air Soil Pollut*, 228 (1), 37. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3220-5>
- Sathishkumar, M., Raj, A., Baik, S., ... Yun, S. R. (2008). Biodegradation of Crude Oil by Individual Bacterial Strains and a Mixed Bacterial Consortium Isolated from Hydrocarbon Contaminated Areas. *Revista Clean*, 36(1), 92-96. <https://doi.org/10.1002/clen.200700042>
- Singh, P. & Tiwary, B. (2016). Isolation and characterization of glycolipid biosurfactant produced by a *Pseudomonas otitidis* strain isolated from Chirimiri coal mines, India. *Revista Bioresour. Bioprocess*, 3, 42. <https://doi.org/10.1186/s40643-016-0119-3>
- Tremblay, J., Yergenau, E., Fortin, N., Cobanli, S., Elias, M., L King, T., Lee, K., ... W Greer. (2017). Chemical dispersants enhance the activity of oil- and gas condensate- degrading marine bacteria. *Revista ISME J*, 11, 2793-2802. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.129>
- Trujillo, M. & Ramírez, J. (2012). Biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1(2)-2-4. <https://doi.org/10.22490/21456453.952>
- Varjani, S. (2017). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresour. Technol.* 223, 277- 286. *Revista Bioresour Technol*, 223, 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.037>
- Velásquez, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1 (2) -2-4. <https://doi.org/10.22490/21456453.1846>

Xu, Xingjian. X., Wenming, L., Tian, S., Wang, W., Qi, Q., Jiang, P., Gao, X., Li, Fengjiao., Li, Haiyan, & Yu, H. (2018). Petroleum Hydrocarbon- Degrading Bacteria for the Remediation of Oil Pollution Under Aerobic Conditions: A Perspective Analysis. *Frontiers in Microbiology*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02885>

Zajic, E., Guignard, H & Gerson, D . (2004). Propiedades y biodegradacion de un bioemulsionante de *Corynebacterium hydrocarboclastus*. *Biotechnology Bioengineering*. <https://doi.org/10.1002/bit.260190905>

7

Diseño de estrategias para el incremento de la productividad de la línea de empaque en una planta procesadora de café en la Región Caribe colombiana



Alexander Parody Muñoz

Ingeniero Industrial, Magister en Estadística Aplicada, Black Belt en Lean Six Sigma e Investigador Senior de Minciencias, Grupo de Investigación GIDE, Docente Programa Ingeniería Industrial, Universidad Libre, Barranquilla-Colombia, alexandere.parodym@unilibre.edu.co

Anacelly Álvarez Pineda

Ingeniera Industrial, Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Libre, Barranquilla- Colombia, anacelly-alvarezp@unilibre.edu.co.

Lina Virginia Amaya Navarro

Ingeniera Industrial, Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Libre, Barranquilla- Colombia, Business Intelligence Specialist en Bavaria, anacelly-linav-amayan@unilibre.edu.co

Introducción

El café es uno de los principales atractivos de Colombia gastronómicamente hablando, a lo largo del tiempo se ha posicionado como uno de los factores más representativos para darse a conocer ante el mundo. Sin embargo, gracias al TLC (tratado de libre comercio) su exportación se ha incrementado significativamente por lo que la producción y procesamiento de este requiere mucha más agilidad. En la Región Caribe de Colombia, actualmente, una planta procesadora de café está presentando cuellos de botellas o demoras en la terminación y empaque de la línea de café de 20 gramos, sobre el proceso de empaque de esta fábrica se adelantará la siguiente investigación.

Entre los indicadores de resultados se encuentra la efectividad general de equipos (EGE), el cual mide el rendimiento total a relacionar la disponibilidad de un proceso respecto a su productividad y calidad del producto, actualmente en el proceso objeto de estudio este indicador es del 62,74%. Seiichi Nakajima (Nakajima, 1992) dice que la efectividad en clase mundial debe corresponder a valores mayores al 85% (ver tabla1), lo cual evidencia que hay obstáculos en la productividad de la línea de empaque objeto de estudio, y para incrementarla es necesario que sean estudiadas variables como la disponibilidad operativa de la planta durante el periodo de procesamiento y empaque. Consultando en la base de datos de la empresa, esta variable tiene un 75,86% de tiempo que realmente se trabaja, es decir que con la tabla de Nakajima la disponibilidad en clase mundial debe corresponder a un >90% por lo que se concluye que existen factores que inciden en que no se trabaja todo el tiempo esperado para laborar.

Tabla 1. Efectividad General del Equipo de Clase Mundial.

Disponibilidad	>90%
Productividad	>95%
OEE (EGE)	>85%

Fuente: Nakajima (1992)

Problemas de rendimiento productivo podrían afectar el clima laboral, debido a que un clima positivo favorece el cumplimiento de los objetivos generales que persigue la organización a partir de la existencia de un mayor sentimiento de

pertenencia hacia ella. Por el contrario, un clima negativo supone una falta de identificación con sus objetivos y metas, así como un deterioro del ambiente de trabajo, que ocasiona situaciones de conflicto, bajo rendimiento, ausencias e ineficacia (Aarons & Sawitz, 2006)

Una organización con una baja calidad de vida o un clima organizacional deficiente puede dañar la salud mental y física de su colectivo laboral. Los factores de riesgo ambientales que pueden atentar contra la salud mental suelen provocar efectos a corto plazo. Estos se manifiestan en cambios del estado de ánimo y del afecto, en el tipo de sentimientos de placer o entusiasmo o un estado de ánimo depresivo los cuales van acompañados a menudo de cambios de comportamiento. Pensemos, por ejemplo, en la inquietud, en el afrontamiento paliativo —como el consumo de alcohol— o en la conducta evasiva, así como en los comportamientos negativos ante resolución activa de problemas (Boada, Vallejo, & Agullo, 2004).

El deseo de conocer qué factores tienen una mayor influencia sobre la productividad es algo que no pierde vigencia en el mundo de la investigación científica (León et al., -Correa et al 2020, Machuca 2020, Almeida & Vera 2020, Maestre & Ordoñez 2020), así como establecer los factores que interactúan y generan una afectación significativa sobre la gestión del mantenimiento tanto preventivo como predictivo en las organizaciones empresariales (Pérez et al.,2020, Rojas-Calderón 2020, Retana 2020, Galdeano 2020).

Se hace necesario hacer un estudio de las variables que tienen influencia en el proceso de los cuellos de botellas presentados en la fábrica, son las paradas debido a fallas mecánicas y/o eléctricas de las máquinas del sistema productivo, la razón de ser del involucramiento de esta variable radica en saber cada cuánto se debe hacer un mantenimiento. Cuando una máquina para ya sea por fallas mecánicas o eléctricas dura aproximadamente 76 minutos por turno, mientras es solucionado el problema y se adjudican 264 paradas durante el año de estudio, por las fallas anteriormente mencionadas, por lo que los minutos de pérdida total son 1.916 en el año.

En un minuto se producen 248 paquetes de café de 20 gr, es decir 4.960 gramos que equivalen a 5 kg de café procesado por minuto, si este es el promedio de producción de la planta con los problemas presentados en las variables anteriormente expuestas, un incremento de la eficiencia global representaría una mejora en la productividad de la máquina empacadora.

Finalmente, otra variable a estudiar en este sentido es la experiencia de los operarios, tomando en cuenta los que son antiguos y recién integrados en la labor de operación, la comparación de esta variable nos hará saber si los nuevos operarios ralentizan la productividad o, por lo contrario, la experiencia o edad de los antiguos obligan a presentar demoras continuas.

Anteriormente se expusieron las posibles causas de las demoras en una empresa procesadora de café en la Región Caribe de Colombia, causas que serán estudiadas para evidenciarlas y buscarle solución a la problemática y que finalmente satisfaga el objetivo principal de este proyecto que es el incremento de la productividad a través del aumento de la disponibilidad y efectividad operativa y el rendimiento de su línea de empaque de 20 gramos.

El presente estudio busca la aplicación de modelos estadísticos de regresión para el diseño de estrategias que permitan incrementar el rendimiento de la línea de empaque en la empresa objeto de estudio.

Metodología

El presente trabajo es identificado como una investigación correlacional que tiene como objetivo medir el grado de relación que existe entre dos o más conceptos o variables, en un contexto en particular. Este proyecto toma este tipo de investigación para medir el grado de relación de un operario, turno de trabajo y experiencia del trabajador con respecto al EGE operativo, disponibilidad operativa y rendimiento global, con el fin de establecer qué variable tiene mayor impacto en la productividad global de la empresa.

Las fuentes de información son primarias ya que fueron obtenidas directamente de las planillas de operación del proceso en la empresa. Los recursos materiales principales involucrados para el diseño de este proyecto son las herramientas fundamentales para lograr plantear estrategias de mejora en la máquina empacadora de café de 20 gramos de una procesadora en la región caribe colombiana. La base de datos de variables de procesos es uno de los recursos de mayor importancia porque a partir de esta identificamos las variables que son requeridas para el estudio y que tienen falencias en el sistema de producción, con el fin de mejorar su productividad y evitar retrasos en el cumplimiento de la demanda de la planta.

Por último, las fases metodológicas del proyecto de investigación desarrollado son las siguientes:

- Desarrollar un modelo de regresión estadístico para medir la influencia del turno y la experiencia de los operarios, en el Rendimiento, Disponibilidad Operativa y la OEE durante la muestra de estudio.
- Plantear estrategias de mejora a partir de los resultados del modelo de regresión desarrollado.
- Diseñar frecuencia de mantenimiento a partir de herramientas asociadas a la Fiabilidad de equipos, teniendo en cuenta las paradas mecánicas y/o eléctricas presentadas en la máquina empacadora.

Resultados

El tiempo entre fallas (ver tabla 2) indica la cantidad de tiempo que pasa mientras funciona la máquina hasta que se detiene por una falla mecánica y/o una falla eléctrica (Mago et al 2014). En los siguientes datos se muestra el tiempo que dura trabajando la maquina empacadora de café hasta que ocurre una falla. Por ejemplo: En los primeros turnos la máquina empacadora dura trabajando 14,3 horas hasta que ocurre una falla y se detiene.

Tabla 2. Tiempo entre fallas para la máquina en estudio durante el tiempo de análisis.

14,3	6,3	3,8	12,8	22,3	20,5	6,6	6,8
4,0	5,4	5,2	5,6	14,2	6,8	7,4	6,7
6,3	13,2	7,3	4,6	5,8	12,7	6,6	5,8
5,6	5,6	1,8	4,9	7,0	19,9	27,7	7,3
4,5	4,3	5,5	6,8	6,8	7,0	6,8	13,7
5,8	6,3	0,9	6,3	7,3	7,3	7,1	6,1
5,8	14,2	2,3	15,0	7,3	21,5	18,7	2,9
4,1	13,6	1,3	7,1	3,3	17,5	2,6	31,6
4,3	21,6	6,8	7,2	2,1	3,3	3,7	13,9
4,9	6,2	14,3	3,8	5,2	6,9	7,3	5,9
6,0	36,3	7,3	3,4	15,6	49,7	13,8	10,9
5,3	14,3	0,7	1,1	5,0	9,3	13,0	10,3
6,0	5,9	2,3	3,3	4,3	7,6	7,1	6,9
10,3	7,0	6,9	21,8	13,2	21,9	4,3	6,0
2,9	14,1	6,3	14,2	8,8	22,8	3,8	21,0
3,8	5,8	2,9	6,0	6,6	4,9	5,3	14,5
4,9	1,3	3,6	14,3	6,8	7,0	19,3	13,7

6,5	1,5	3,0	6,8	14,2	13,1	6,3	6,5
6,3	7,8	3,0	29,5	12,6	15,2	7,1	6,8
7,0	6,8	2,1	5,5	14,8	4,8	11,1	27,5
3,5	14,5	6,2	6,8	14,4	0,7	13,6	7,0
6,6	7,1	5,6	7,3	6,5	5,4	38,9	14,1
2,8	33,7	3,6	6,8	6,1	5,2	6,8	7,0
6,4	1,8	3,8	14,4	20,8	6,6	5,3	
29,8	3,8	5,3	7,1	14,8	7,0	7,9	
11,9	2,7	14,2	21,7	13,5	4,4	6,9	
2,5	10,0	7,0	5,5	6,8	7,2	7,2	

Fuente: Autores (2021).

Esto indica que debe existir una frecuencia de mantenimiento como prevención de las paradas de la máquina empacadora y cada cuánto se tienen que programar para que la probabilidad de falla sea mínima.

Tabla 3. Frecuencias para tiempo entre fallas.

	Límite	Límite		Frecuencia	Frecuencia
Clase	Inferior	Superior	Frecuencia	Relativa	Relativa Acumulada
1	0	3,4	26	0,1226	0,1226
2	3,4	6,8	87	0,4104	0,5330
3	6,8	10,2	37	0,1745	0,7075
4	10,2	13,6	15	0,0708	0,7783
5	13,6	17,0	24	0,1132	0,8915
6	17,0	20,4	4	0,0189	0,9104
7	20,4	23,8	10	0,0472	0,9575
8	23,8	27,2	0	0,0000	0,9575
9	27,2	30,6	4	0,0189	0,9764
10	30,6	34,0	2	0,0094	0,9858
11	34,0	37,4	1	0,0047	0,9906
12	37,4	40,8	1	0,0047	0,9953
13	40,8	44,2	0	0,0000	0,9953
14	44,2	47,6	0	0,0000	0,9953
15	47,6	51,0	1	0,0047	1,0000

Fuente: Autores (2021).

A través del análisis de los tiempos entre fallas a causa de paradas mecánicas y/o eléctricas se recomienda a la fábrica aplicar una frecuencia de mantenimiento del sistema mecánico y eléctrico en la maquina empacadora cada 7 horas ya que tenemos una probabilidad acumulada de un 53,3% (ver tabla 3) es decir, que la mitad de las veces a las 7 horas de trabajo ocurre una falla, a partir de ahí las probabilidades de fallas son cada vez más altas. Para establecer planes de mejora se le recomienda a la empresa hacer un estudio más a fondo para saber cuáles son las principales causales de las paradas como fallas del motor, ausencia de aceites, mala conexión, problemas de voltajes, dispare de los tacos, entre otros.

Dentro de los modelos causales o asociativos se encuentra el análisis de regresión o regresión lineal, que es un método con enfoque cuantitativo que permite observar el comportamiento de una variable de interés, a partir de una serie de variables independientes a través de una ecuación lineal.

A continuación, se expone un análisis descriptivo de los resultados obtenidos a través del desarrollo del modelo de regresión lineal generalizado, donde se observa el comportamiento de las respectivas variables de estudio y se analizan los factores que afectan el incremento de la productividad en una procesadora de café, específicamente en la línea de empaque de presentación de 20 gramos.

Tabla 4. Análisis de varianza para EGE operativo.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,826565	10	0,0826565	2,64	0,0043
Residuo	9,55835	305	0,0313388		
Total (Corr.)	10,3849	315			

Fuente: Autores (2021).

La Tabla 4, que incluye el análisis de varianza para el modelo es una prueba de hipótesis que plantea las siguientes hipótesis:

- Hipótesis Nula: El modelo no es significativo, es decir, no existe ninguna variable con una relación significativa con el EGE Operativo.
- Hipótesis Alternativa: El modelo es significativo, es decir, al menos existe una variable que tiene relación significativa con el EGE Operativo.

La tabla de ANOVA para las variables que conforman el modelo de regresión lineal generalizado (ver Tabla 5) donde la variable dependiente es el EGE Operativo arroja un valor-p menor de 0,05 por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, a través de esto se puede concluir que al menos una de las tres variables independientes tiene relación con el EGE Operativo.

Tabla 5. Suma de cuadrados tipo III para EGE operativo.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
TURNOS	0,136167	2	0,0680836	2,17	0,1157
OPERARIO CODIFICADO	0,704087	8	0,0880108	2,81	0,0051
Antigüedad	0,0170958	1	0,0170958	0,52	0,4711
Residuo	9,55835	305	0,0313388		
Total (corregido)	10,3849	315			

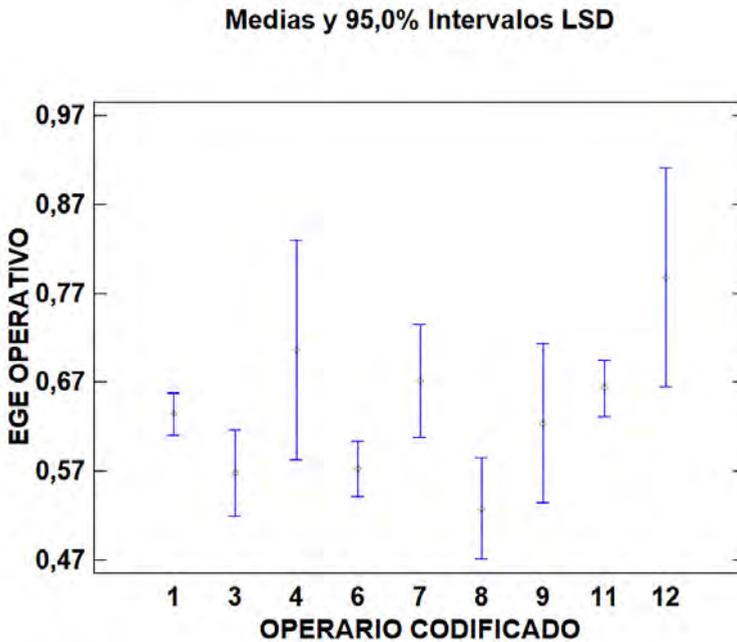
Fuente: Autores (2021).

La tabla de la Suma de Cuadrados Tipo III es una prueba de hipótesis que permitirá identificar cual(es) de las variables independientes tiene relación con la dependiente, la misma plantea las siguientes hipótesis para cada variable independiente:

- Hipótesis Nula: El coeficiente β de la variable independiente es igual a cero, $\beta = 0$. Por tanto, la variable independiente no tiene relación estadísticamente significativa con el comportamiento del EGE Operativo.
- Hipótesis Alternativa: El coeficiente β de la variable independiente es diferente de cero, $\beta \neq 0$. Por tanto, la variable independiente tiene relación estadísticamente significativa con el comportamiento del EGE Operativo.

La tabla de la Suma de Cuadrados Tipo III el cual es un tipo de ANOVA multifactorial señala que el operario tiene relación estadísticamente significativa con el EGE Operativo dado que su valor-p es menor de 0,05 rechazándose la hipótesis nula y aceptándose la hipótesis alternativa, para conocer como el operario tiene influencia en el EGE Operativo se generan los gráficos de la prueba LSD (Least significant difference) de Fisher, como se muestra en la Figura 1, la cual es una prueba de comparación múltiple que acompaña al ANOVA:

Figura 1. Gráfico de la Prueba LSD de Fisher para la relación entre el EGE operativo Vs Operario codificado.



Fuente: Autores (2021).

En la prueba LSD se observa la relación que tienen los operarios con el EGE Operativo, LSD de Fisher es un test de comparaciones múltiples. Permite comparar las medias de los niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA (Pérez, 2013). Todos los test de comparaciones múltiples son test que tratan de perfilar, especificar y concretar una Hipótesis alternativa genérica como la de cualquiera de los Test ANOVA.

En la Figura 1 puede evidenciarse que los operarios: 4, 7 y 12 tienen un valor promedio de EGE Operativo más alto en comparación con los demás, en cambio los operarios: 3, 6 y 8 tienen un valor promedio más bajo en comparación con sus demás compañeros.

A partir del R cuadrado obtenido fue del 4,94% este indicador explica porcentaje de la variabilidad presente en la variable dependiente que es explicada por el modelo, esto permite señalar que, aunque el operario tiene influencia significativa sobre el EGE Operativo existen otras variables diferentes a las estudiadas que tienen relación con este resultado.

La Tabla 9 (ANOVA) para el modelo de regresión lineal generalizado donde la variable dependiente es el rendimiento global, arroja un valor-p mayor a 0,05 por tanto se puede concluir que las tres variables independientes no tienen relación con el rendimiento global.

Tabla 9. Análisis para el rendimiento global.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,227826	13	0,0175251	1,37	0,1733
Residuo	3,90572	305	0,0128056		
Total (Corr.)	4,13355	318			

Fuente: Autores (2021).

La Tabla de ANOVA para el modelo de regresión lineal generalizado donde la variable dependiente es Disponibilidad Operativa (ver Tabla 10), arroja un valor-p menor de 0,05 por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 10. Análisis para la disponibilidad operativa.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,947544	13	0,072888	1,79	0,0440
Residuo	12,4293	305	0,0407517		
Total (Corr.)	13,3768	318			

Fuente: Autores (2021).

La tabla de la Suma de Cuadrados Tipo III (ver Tabla 11) es una prueba de hipótesis que permitirá identificar cual(es) de las variables independientes tiene relación con la dependiente, la misma plantea las siguientes hipótesis para cada variable independiente:

- Hipótesis Nula: El coeficiente β de la variable independiente es igual a cero, $\beta = 0$.
- Hipótesis Alternativa: El coeficiente β de la variable independiente es diferente de cero, $\beta \neq 0$.

Tabla 11. Suma de cuadrados tipo III para disponibilidad operativa.

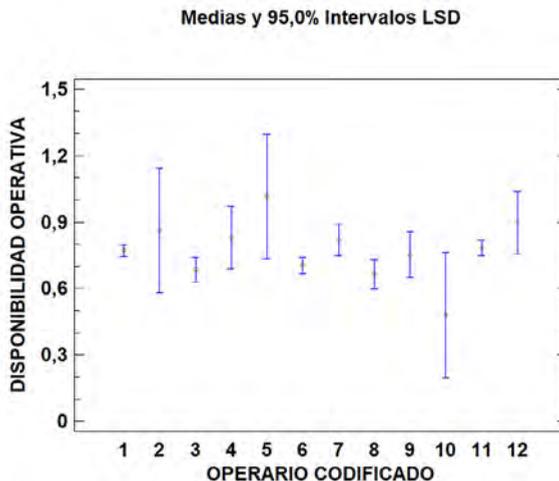
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
OPERARIO	0,841741	11	0,0765219	1,88	0,0417
TURNNO	0,138741	2	0,0693703	1,70	0,1840
Antigüedad	0,0638833	1	0,0638833	1,52	0,218
Residuo	12,4293	305	0,0407517		
Total (corregido)	13,3768	318			

Fuente: Autores (2021).

La tabla de la Suma de Cuadrados Tipo III el cual es un tipo de ANOVA multifactorial señala que el operario tiene relación estadísticamente significativa con la Disponibilidad Operativa dado que su valor-p es menor de 0,05 rechazándose la hipótesis nula y aceptándose la hipótesis alternativa.

El R cuadrado obtenido fue del 3,12%, esto permite señalar que, aunque el operario tiene influencia significativa sobre el rendimiento global, existen otras variables diferentes a las estudiadas que tienen relación con este resultado.

En la Figura 2 que corresponde al gráfico de la prueba LSD de Fisher puede evidenciarse que los operarios: 2, 5 y 12 tienen un valor promedio de Disponibilidad Operativa más alto en comparación con los demás, en cambio el operario 10 tiene un valor promedio más bajo en comparación con sus demás compañeros.

Figura 2. Gráfico de la Prueba LSD de Fisher para la relación entre Disponibilidad operativa vs. Operario codificado.

Fuente: Autores (2021).

Consideraciones finales

En conclusión, la máquina empacadora analizada en la propuesta presenta reiterados problemas de mantenimiento que obligan a una frecuencia de mantenimiento muy alta de cada 7 horas, es necesario complementar con otras herramientas de análisis para identificar las principales causales de las fallas mecánicas y/o eléctricas presentadas en la empresa, pero sin duda esta herramienta permite disminuir la frecuencia de las paradas imprevistas de las máquinas debido a fallas en el funcionamiento de las mismas y así convertir cada tiempo inoficioso en producción que genere utilidades para la empresa y no gastos operacionales.

Para el éxito de este proyecto fue necesario implementar un modelo de regresión empírico, debido a que de los modelos estadísticos existentes ninguno se adecuaba a los datos iniciales de la empresa, es decir, los resultados arrojados no nos permitían proponer estrategias que finalmente fueran a mejorar el estado actual de la máquina, tampoco se podía evidenciar que variables de las estudiadas era el principal factor que afectaba al rendimiento de la máquina. El modelo desarrollado nos lleva a concluir que todas las variables son importantes para la corrección de cuello de botella generado en el empaque de café de 20 gramos, pero la mano de obra es el que genera la mayor afectación en proceso productivo de la maquina empacadora.

El factor humano en este caso representado por el operario es el principal factor de los estudiados que afecta a el EGE Operativo y a la Disponibilidad Operativa, este hecho lleva a pensar que es necesario aplicar entrenamiento a los operarios que se encuentran en un bajo nivel de capacidad para realizar sus actividades laborales frente a otros de mayor experiencia, para ello se recomienda realizar capacitaciones frecuentemente por parte de los operarios más antiguos y de mayor experiencia para mantener un nivel equitativo de efectividad en el desarrollo de las operaciones. Además, levantar procedimientos en la operación de la máquina, con el fin de igualar las condiciones de capacidad o mejorar el rendimiento y tener mejores en el trabajo realizado por cada operario.

La mejora, coordinación y planeación de los procesos y sistemas productivos es un enfoque de trabajo propio de los ingenieros industriales que hace parte del pensamiento o filosofía de trabajo del profesional. Para desarrollarla al máximo es necesario el uso de herramientas estadísticas que nos permiten diferenciar las causas por las cuales creemos que son ocasionados los problemas de las

causas reales y acertadas por las cuales son generados estos mismos, el cual son de gran importancia para la toma correcta de las decisiones empresariales quienes influyen en la productividad de la empresa.

Como recomendaciones para la empresa se tiene:

Se recomienda a la empresa realizar un estudio detallado acerca de las variables que afecten en el rendimiento y disponibilidad operativa, haciendo estudios con otras variables adicionales que afecten a la productividad de la planta procesadora de café. Dichas variables adicionales podrían ser: Comportamiento mecánico y/o eléctrico de las máquinas que podrían estar afectando el rendimiento y la disponibilidad al momento de dañarse la máquina.

Investigar en detalle los problemas que más afectan la maquina empacadora de 20 gramos, dado que el estudio desarrollado solo muestra cada cuanto se presenta una falencia en el equipo.

Se sugiere a la empresa complementar el análisis de la frecuencia de mantenimiento, teniendo en cuenta cuales son las causas de las fallas de la máquina para combatirlas de raíz.

Se sugiere a la empresa realizar estudios de frecuencia de mantenimiento anualmente al cambiar los datos de la empresa y mejora de sus procesos, ya que los datos pueden variar y asimismo sus resultados para la implementación del estudio.

Es importante que la empresa continúe haciendo estudios asociados a las otras máquinas procesadoras de café de los diferentes gramajes con que trabaja la empresa (20gr, 50gr, 125gr, 250gr, 500gr) para identificar si existen otros factores que impidan la máxima productividad de la planta.

Referencias

Aarons, G., & Sawitz, A. (2006). *Organizational climate partially mediates the effect of culture on work attitudes and staff turnover in mental health services*. Administration and policy in Mental health and Mental health services research. National Library of Medicine. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16544205/>

- Almeida, P. & Vera, R. (2020). Los efectos de la comunicación organizacional. ¿Influyen sobre la productividad de una PyME?. *E-IDEA Journal of Business Sciences*, 2(7), 59-79.
- Boada, G., Vallejo, D., & Agullo, T. (2004). El burnout y las manifestaciones psicossomáticas como consecuentes del clima organizacional y la motivación laboral, *Psicothema*. 16, (1), 125-131. <https://www.psicothema.com/pdf/1171.pdf>
- Galdeano, Y. (2020). *Salud estructural y mantenimiento predictivo con Comsol Multiphysics* [Tesis de pregrado, Universidad de Malaga] <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/19672>
- León, J., García, C., -Martínez, G., y Romero, M. (2020). Factores de salud relacionados con la depresión que influyen en la productividad. *Suma de Negocios*, 11(25), 171-179.
- Machuca, L. (2020). *Factores sociales y humanos que influyen en la productividad del desarrollo de software*. Universidad de Medellín. <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/5849?locale-attribute=en>
- Maestre, C., y Ordoñez, K. (2020). *Revisión Sistemática sobre el Clima Laboral y Productividad de las Organizaciones*. Universidad Simón Bolívar. <https://hdl.handle.net/20.500.12442/6824>
- Mago, M., Defendine, L., Flórez, J. y Subero, D. (2014). Determinación de la confiabilidad o tiempo promedio entre fallas (TPEF) en transformadores de distribución. *Revista Ingeniería UC*, 21(3), 33-37.
- Nakajima, S. (1992). *Total, productive maintenance*. Seiichi Nakajima editorial.
- Pérez, J. (2020). *Sistema de gestión de mantenimiento preventivo basado en RCM para la reducción de fallas de la maquinaria de una central hidroeléctrica* [Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala]. www.repositorio.usac.edu.gt/14045.
- Retana, A. (2020). *Diseño de un sistema de control de calidad de mantenimiento en el área de cogeneración de los equipos eléctricos de calderas y turbogeneradores de un ingenio azucarero por medio de la plataforma*

de control Siges [Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUSAC14249>

Rojas, J. (2020). *Estructuración de un departamento de mantenimiento asistido mediante plataforma digital personalizada para la gestión del mantenimiento e información en la empresa Cloud Parking*. [Proyecto de Graduación (Licenciatura en Mantenimiento Industrial) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Electromecánica] Repositorio TEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11498?show=full>

8

Diseño de la estructura de un vehículo de bajo consumo para la competencia Shell Eco-Marathon América implementando materiales compuestos



Jimmy Alejandro López Piza

Ingeniero Mecánico, Programa de Ingeniería Mecánica, Universidad Libre, Bogotá -Colombia.

Fredy Alexander Aguirre Gómez

Ingeniero Mecánico, Doctor en Diseño fabricación y Gestión de Proyectos Industriales, Docente Programa Ingeniería Mecánica, Universidad Libre, Grupo de Investigación DETECAL, Bogotá – Colombia.

Introducción

La competencia Shell Eco-marathon, tiene como objetivo incentivar la participación de diferentes equipos, los cuales deben diseñar un vehículo eficiente en el consumo energético; es patrocinado por la compañía Shell desde el año 1939 y se desarrolla en Asia, América y Europa.

En la competencia es posible construir dos tipos de vehículos, el primero es el prototipo, el cual se enfoca en obtener la máxima eficiencia energética y el segundo es el concepto urbano que busca tener un diseño más práctico para el confort del pasajero, estos vehículos según el tipo de alimentación energética pueden ser: los combustibles para motores de combustión interna (gasolina, Diesel y combustibles líquidos hechos de gas natural y etanol) y eléctrica (celdas de combustible de hidrógeno y baterías a base de litio) (Lovatt, 2008). En esta competencia los participantes buscan aprovechar al máximo el consumo de combustible, con el fin de generar alternativas que ayuden a disminuir el impacto ambiental, reduciendo el peso del vehículo, principalmente en el chasis, es posible mejorar la eficiencia, por ello, es importante aplicar conceptos de ingeniería en cuanto al diseño, buscando los materiales adecuados, garantizando que el vehículo funcione de manera óptima.

El chasis o la estructura desempeña el papel de mantener todos los componentes del vehículo juntos mientras este se mueve, y transferir las cargas verticales y laterales causadas por la aceleración en el chasis a través de la suspensión y de las ruedas (Wakeham, 2009), sirviendo como una columna vertebral, por lo cual ha sido objeto de investigación, obteniendo alternativas que permiten reducir el peso del vehículo sin sacrificar la magnitud de las cargas que este debe soportar, así como también, garantizar la seguridad de las personas que van a bordo del vehículo. En la industria de la automoción, existen variados materiales ultraligeros que contribuyen en la reducción del peso del vehículo, al ser utilizados en la construcción del chasis, entre otros se pueden mencionar: aceros de alta resistencia, aleaciones de aluminio, compuestos de polímeros reforzados con fibras, polímeros avanzados y aleaciones de manganeso (Joost, 2012).

Lo que se pretende con esta investigación es definir el diseño de la estructura de un vehículo para la competencia Shell Eco-marathon Américas.

En este proceso es imperioso tener en cuenta las limitaciones establecidas en el reglamento de esta competencia, estas limitantes del reglamento se traducen en requerimientos de diseño ya que no son opcionales, se deben cumplir. El diseño que se defina debe reducir el peso del vehículo optimizando así la relación entre el recorrido y consumo de combustible. Es importante el planteamiento de diferentes alternativas para la forma del chasis, aunado a estas formas, está el proceso de selección de materiales, en este aspecto es sabido el buen comportamiento de los materiales compuestos ya que ofrece las mejores características en la relación peso– resistencia mecánica (Gheorghe, 2021).

Para la comprobación de la idoneidad del diseño propuesto en esta investigación, se cuenta con herramientas de software de ingeniería asistida por computador, CAE por sus siglas en inglés (Computer aided engineering). Con este análisis se verificará que la forma propuesta para la estructura y el material seleccionado o diseñado, trabajen de manera solidaria para lograr la reducción del consumo energético del vehículo.

Adicionalmente, con este proyecto de investigación se busca incentivar a los estudiantes del programa de ingeniería mecánica, a que realicen aplicaciones de ingeniería en el área automotriz que favorezcan los estilos de vida del ser humano y sus medios de transporte, siendo un punto de partida para investigar en proyectos que contribuyan al medio Ambiente, de esta manera se abrirán nuevas líneas de investigación en el programa de ingeniería, se espera obtener reconocimiento a nivel nacional e internacional en temas relacionados con ingeniería Mecánica, todo esto se obtendrá, gracias a los aportes y evidencias del proyecto.

Marco normativo

La competencia define al monocasco como “una construcción que soporta la carga estructural mediante el uso de la piel externa de un objeto en lugar de usar un marco”, Tomando como referencia la normatividad de la Shell Eco-marathon 2019, se extraen los artículos que tienen mayor relación con el diseño del monocasco (Shell, 2019):

Artículo 20 peso del conductor: El peso mínimo para el conductor del vehículo debe de ser de 50 Kg

Artículo 25: Diseño del vehículo.

- a. Los vehículos deben asegurar que haya un espacio de deformación de 100 entre el frente del vehículo y los pies del conductor.
- b. Los paneles y ventanas deben ser rígidos y no pueden cambiar su forma debido al viento.
- c. Dentro del vehículo no debe haber ningún elemento que permita el daño del conductor en caso de choque.
- d. Debe ser fácil acceder al compartimiento de energía para mejorar la inspección.
- e. Todos los elementos encargados del movimiento del vehículo deben encontrarse dentro de la cubierta del vehículo.
- f. Todos los elementos deben ser montados de manera que se garantice la seguridad del pasajero.

Artículo 26: Solidez del chasis/monocasco.

- a. Los equipos deben asegurar que el chasis del vehículo o el monocasco protejan de manera segura el cuerpo del conductor, incluyendo el espacio de deformación en caso de colisión frontal, lateral o volcadura.
- b. Deben tener una barra antivuelco que se extienda 50 mm alrededor del casco del conductor, cuando este se sienta en posición normal con los cinturones abrochados.
- c. La barra antivuelco debe extenderse más allá de los hombros del conductor, cuando esté sentado y abrochado.
- d. La barra antivuelco debe soportar una carga estática de 700 N aplicada en una dirección horizontal, vertical y perpendicular.

Artículo 27: aislamiento del sistema de almacenamiento de energía y propulsión.

- a. Un mamparo rígido debe aislar los sistemas de propulsión y de energía del compartimiento del conductor.
- b. El mamparo deber protegerlo de incendios.
- c. Debe prevenir el acceso por parte del conductor desde dentro del vehículo.

Artículo 28: Visibilidad

- a. El conductor debe tener una visibilidad frontal y de 90° hacia cada lado del eje longitudinal, esta visibilidad se puede lograr con el movimiento de conductor.

Artículo 30: Acceso al vehículo

- a. Debe permitir una rápida de evacuación (menos de 10 segundos)
- b. Debe tener una abertura grande para sacar al pasajero.
- c. La apertura del compartimiento en el que va el conductor debe abrir rápidamente, intuitivamente desde dentro y desde fuera.

Artículo 39: Dimensiones

Las restricciones que establece la competencia se encuentran resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones establecidas por la competencia.

Abrev.	Dimensión	valor
a	Altura	<1.000 mm
b	Ancho de vía	>=500 mm
c	a/b	< 1.5
d	Distancia entre ejes	>= 1.000 mm
e	Ancho total	<= 1.300 mm
f	Longitud	<= 3.500 mm
g	Peso sin conductor	<= 140 kg

Fuente: Autores (2021).

Artículo 41: Neumáticos, ejes y ruedas,

- c. Las llantas localizadas dentro del vehículo deben estar aisladas del conductor y no deben estar en contacto con el cuerpo del vehículo.

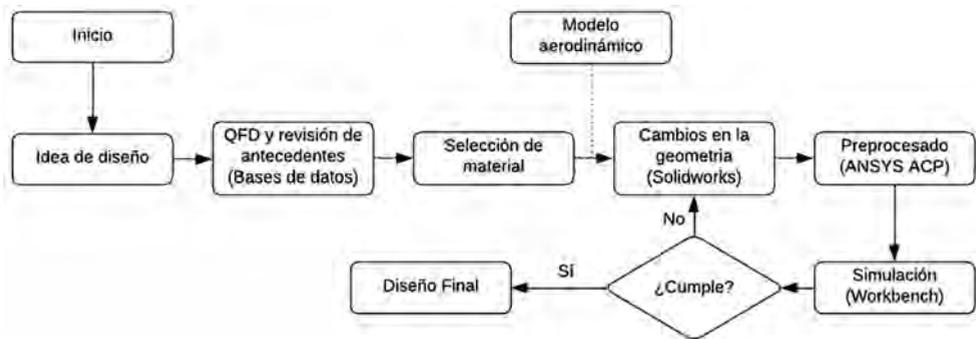
Metodología

En un proceso de diseño, con el objetivo de no desperdiciar esfuerzos en posibilidades que no contribuyen al desarrollo del proyecto, se debe delimitar el diseño, para este propósito se hace uso de una metodología de amplia trayectoria y reconocimiento, en lo relacionado con diseño mecánico, esta metodología es conocida como QFD por sus siglas en inglés (Quality Function Design), de lo que se obtiene la selección del monocasco y el material.

Tomando como referencia un modelo aerodinámico, se propone una geometría que se adapte a las reglas de la competencia modelada en SolidWorks

(Software de diseño asistido por computador), luego se exporta esta geometría para realizar el preprocesador en ANSYS ACP (Software de ingeniería asistida por computador), en esta etapa se realiza el diseño o definición de material, definiendo las propiedades generales del material, el espesor de las láminas, la dirección de las fibras y el número de capas; estas características pasan al software de simulación que tiene workbench en el cual se introducen las cargas que soportarán el vehículo, posteriormente se hace un análisis de las deformaciones del mismo, el resultado obtenido indicará si se debe hacer cambios en alguno de los pasos anteriores hasta llegar a el diseño final, el cual será sometido a un proceso de reducción del peso. El desarrollo completo del proyecto se ve sintetizado en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama de bloques del proyecto.



Fuente: Autores (2021).

QFD

El despliegue de la función de calidad, por sus siglas en inglés QFD es una herramienta multidisciplinaria que permite diseñar productos nuevos o rediseñar productos existentes, trasladando las necesidades del cliente a las necesidades de diseño (Mayyas et al., 2011; Kaya y Erginel, 2020). A pesar de que sea posible relacionar estos requerimientos y proveer una serie de valores numéricos como parámetros de diseño, esta no resuelve la posible falta de relación entre los requerimientos del cliente y de diseño (Dong et al, 2003), por estas mismas características el QFD se convierte en el primer criterio para esta etapa de diseño en la cual existe tanta incertidumbre.

Necesidades del cliente

Debido a que el diseño del vehículo no está pensado inicialmente para un tipo de cliente en específico, las necesidades del cliente serán las mismas

de la competencia como también, la construcción del chasis monocasco de un vehículo monoplace funcional para la competencia Shell Eco-marathon y los requerimientos se establecerán según el reglamento (Cunningham et al., 2015; Shell, 2019). Posteriormente se seleccionarán enfocando al área a diseñar:

1. **Bajo peso:** la Shell con esta competencia busca conseguir la mayor eficiencia energética, esta se puede lograr a partir de una reducción del peso del vehículo, la cual se puede lograr disminuyendo el peso de los componentes (Joost, 2012), como bien puede ser el chasis.
2. **Rigidez:** con esta característica se busca mejorar el desempeño en pista del vehículo dado por cada uno de los componentes que lo conforman.
3. **Resistencia:** Ligada a garantizar la integridad del vehículo bajo cualquier carga aplicada.
4. **Manufactura:** Determina el cómo ligando el con qué se va a construir la estructura del vehículo.
5. **Seguridad:** con el objetivo de garantizar la seguridad del pasajero dentro del vehículo.
6. **Facilidad de instalación de los componentes dentro del vehículo:** Buscando facilitar el acceso al mantenimiento y un buen anclaje de todos los componentes del vehículo).

Ahora estos requerimientos se relacionarán en una matriz en la cual se ponderará su relevancia en la Tabla 2, con 0 como una relación nula y 1 cuando existe algún tipo de relación y se calificará cada requerimiento según su importancia, donde 0 es que es irrelevante alcanzar el requerimiento y 5 que es muy importante de alcanzar.

Tabla 2. Ponderación de los requerimientos del cliente.

Requerimientos	1	2	3	4	5	6		%	Ponderación
1. Peso	-	1	0	1	0	0	2	10,526	5
2. Rigidez	1	-	1	1	1	0	4	21,052	3
3. Resistencia	0	1	-	0	1	0	2	10,526	4
4. Manufactura	1	1	1	-	1	1	5	26,315	4
5. Seguridad	0	1	1	1	-	1	4	21,052	4
6. Unión de componentes	0	0	0	1	1	-	2	10,526	3
							19	100%	

Fuente: Autores (2021).

Requerimientos de diseño

Corresponden a las características técnicas del vehículo que los diseñadores consideren pertinentes y que de cierta manera puedan medirse, de modo que pueda maximizarse, minimizarse o mantenerse:

- *Materiales implementados en la estructura:* los materiales juegan un papel importante en el peso del vehículo y es importante tenerlos en cuenta para una posterior etapa de construcción.
- *Peso:* Una reducción del peso del vehículo se traduce en un mejor rendimiento del motor y por consiguiente una mejora de la eficiencia energética.
- *Rigidez torsional:* Un incremento en la rigidez torsional se traduce en un mejor desempeño en pista del vehículo (Airale et al., 2011).
- *Mínima deformación:* Entre menor sea la deformación producida en las simulaciones el vehículo será más seguro.
- *Rangos de visibilidad:* Es relevante que el piloto pueda tener un rango de visión frontal de 180° dando el espacio necesario para que esto se cumpla.
- *Complejidad de manufactura:* Para el diseño del chasis se buscará que la estructura sea fácil de construir y que no necesite de piezas complejas para su fabricación.

Estos requerimientos se relacionarán mediante una matriz con los del cliente y se usará un 9 cuando hay una alta relación y se representa con “ θ ”, el 3 cuando existe una relación media y se representa con el símbolo “ \circ ” y finalmente con un 1 si la relación es muy baja y se expresa con el símbolo “ \blacktriangle ”, Al asignar un valor numérico, como se muestra en la Tabla 3, a esta relación RC/RD, se determinará cual es el requerimiento de diseño al que se le debe dar más importancia.

Tabla 3. Matriz de relación entre los requerimientos del cliente (RC) y requerimientos de diseño (RD).

RC \ RD	a	b	d	e	f	g
1. Peso	9	9				1
2. Rigidez	9	3	9	9		1
3. Resistencia	9	3	9	9		1
4. Manufactura	9	3		1	9	9
5. Seguridad	9	3	1	9	3	1
6. Unión de componentes	3			1		1

Fuente: Autores (2021).

Tomando el peso relativo de la Tabla 2 y multiplicando cada una de las celdas de la Tabla 3, se obtiene el peso o importancia de cada uno de los requerimientos de diseño como se muestra en la Tabla 4. La cual indica que los materiales implementados en la estructura, lograr una deformación mínima y un bajo peso, son los requerimientos de diseño más importantes, mientras que la rigidez, los rangos de visibilidad y la facilidad manufactura, revisten un grado de importancia menor.

Tabla 4. Porcentaje de importancia de los requerimientos de diseño.

Requerimientos de diseño	Peso relativo	%
Materiales implementados en la estructura	900	33,9
Peso	331.6	12.5
Rigidez torsional	305.3	11.5
Mínima deformación	510.5	19,2
Rangos de visibilidad	300	11,3
Manufactura	310.5	11.7
		100

Fuente: Autores (2021).

La matriz QFD permite evaluar alternativas de diseño, sin embargo, como solo es posible diseñar un solo vehículo, no se tendrá en cuenta esta característica y solo se considerará cual es el requerimiento de diseño que tiene más importancia, el QFD obtenido se muestra en la Tabla 5.

Tabla 6. Descripción de los materiales usados en las referencias.

Referencia	Material
(Denny et al., 2018)	Tela de Fibra de carbono con tejido cruzado 2x2
(Wu et al., 2014)	Estructura de sándwich con un tejido de fibra de carbono T300 y un núcleo de aluminio 5250
(Singhanart et al., 2014)	Fibra de carbono 245 2x2 y kevlar
(Portero y Solís, 2016)	CFRP por sus siglas en inglés (Carbón fiber reinforced polymer) Lámina simple con fibras orientadas en una sola dirección con un núcleo de abeja
(Hamilton et al., 2013)	Bidireccional tejido de carbono / epoxi tejido y carbono / epoxi unidireccional Cytec CYCOM 5215 Prepreg y Hexcel 5056 Aluminio núcleo sobre expandido en panel
(Eurenius et al., 2013)	CFRP
(Carello et al., 2014)	Una fibra de carbono bidireccional de alta resistencia T-800 y un núcleo Nomex honeycomb, con una última capa de fibra de carbono de Dynamo tex y refuerzos de fibra de carbono T1000G
(Messana et al., 2019)	T300/Epoxy composite Nomex Honeycomb
(Omer, 2015)	Woven Carbon/Nomex Honeycomb Core
(Ibáñez, 2018)	Fibra de carbono
(Cunningham et al., 2015)	Fibra de carbono A54
(Hagan et al., 2014)	Núcleo de nido de abeja de la serie HRH-10 de Hexcel y Fibra AS4 Y3501-6
(Van, 2018)	CFRP y acero
(Airale et al., 2011)	Núcleo de espuma estructural (Evonik De Gussa Rohacell) y tejido de fibra de carbono unidireccional: (STS-150-DT-36 F) y una tela bidireccional Epoxy resin system DT150, con un adhesivo para mantener las partes de: ACG MTA@240

Fuente: Autores (2021).

Se observa que existe una tendencia general a utilizar materiales pre-impregnados y núcleos de panel de abeja, de igual modo, de las referencias que reportan sus propiedades, se observa que muchas de estas solo muestran entre 2 y 5 propiedades, teniendo en cuenta que ANSYS utiliza 9 propiedades para sus análisis estructurales (Kamble et al., 2019). Por esta razón se opta por elegir fibras, resinas y núcleos, comúnmente usados en el mercado para un posterior análisis de estas propiedades. Las propiedades y materiales obtenidos se muestran en la Tabla 7 (Soden et al., 1998; Coronado et al., 2018; Hexcel, 2017).

Tabla 7. Propiedades mecánicas de Fibra, matriz y núcleo.

Propiedades	Epoxy Carbón UD prepreg ANSYS	Fibra AS4	Matriz 3501-6 Epoxy	Núcleo Hexel CR III 5052-1/8
E_1 = Módulo de Young X	209 Gpa	225 Gpa	4,2 Gpa	
E_2 = Módulo de Young Y	9.45 Gpa	15 Gpa		
E_3 = Módulo de Young Z	9.45 Gpa			517.1 Mpa
G_{12} = Módulo cortante XY	5.5 Gpa	15 Gpa	1,547 Gpa	
G_{23} = Módulo cortante YZ	3.9 Gpa	7 Gpa		310.3 Mpa
G_{13} = Módulo cortante XZ	5.5 Gpa			151,7 Mpa
ν_{12} = Módulo Poisson XY	0.27	0,2	0,34	
ν_{23} = Módulo Poisson YZ	0.4			
ν_{13} = Módulo Poisson XZ	0.27			
ρ = Densidad	1,540 kg/m ³	1,796 kg/m ³	1,265 kg/m ³	49,65 kg/m ³

Fuente: Autores (2021).

Para el caso del núcleo, E_1 y E_2 se les considera demasiado pequeño con respecto a E_3 , lo mismo sucede para G_{13} , esto es, debido a que el material está diseñado específicamente para ser resistente en el resto de las direcciones, por lo tanto, se asume un valor pequeño respecto al resto de propiedades, de igual modo, con el caso de ν , este será muy alto en la dirección XY, mientras que en las direcciones YZ y XZ será muy bajo, sus valores serán 0.49 y 0.01 respectivamente (Omer, 2015).

Determinar el valor de las propiedades faltantes en la tabla 6 implica hacer variedad de ensayos mecánicos, sin embargo, esto implica un amplio estudio y preparación de las pruebas, por lo tanto, se han desarrollado teorías que permiten obtener estas propiedades a partir de modelos representativos más pequeños (micromecánica del material), como la regla de las mezclas el modelo de Hopkins y Chamis, el de Hashin y Shtrikman y el Halpin-Tsai (Castro et al., 2018).

El modelo de Hopkins y Chamis hace algunos arreglos respecto al de la regla de las mezclas con el objetivo de reducir el error con respecto a las propiedades en la dirección “Y”, brindando una buena aproximación respecto al resto de métodos (Castro et al., 2018; Jiménez, 2018).

$$E_1 = E_{1f}V_f + E_m(1 - V_f) \tag{Ecuación 1}$$

$$E_2 = \frac{E_{1m}}{1 - \sqrt{V_f} \left(1 - \frac{E_{1m}}{E_{2f}} \right)} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$G_{12} = \frac{G_{12m}}{1 - \sqrt{V_f} \left(1 - \frac{G_{12m}}{G_{12f}} \right)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$G_{23} = \frac{G_{12m}}{1 - \sqrt{V_f} \left(1 - \frac{G_{12m}}{G_{23f}} \right)} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$v_{12} = v_{12f} V_f + v_{12m} (1 - V_f) \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$v_{23} = \frac{E_2}{2G_{23}} - 1 \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\rho = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (\text{Ecuación 7})$$

Los subíndices “f” y “m” corresponden a la propiedad de la fibra o de la matriz respectivamente y tanto v y ρ representa el volumen de fibra y volumen de matriz utilizado. Debido a la asunción de una fibra como un material transversalmente isotrópico, es posible igualar algunas propiedades entre sí (Soden et al., 1998):

$$E_3 = E_2 \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$v_{13} = v_{12} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$G_{13} = G_{12} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Ya que es necesario llegar a un equilibrio entre la resistencia mecánica y la densidad del material, es posible tomar como parámetro, el volumen de la fibra y aplicar las ecuaciones con los datos de la tabla 7, en donde al incrementar el volumen de fibra se obtiene una mayor resistencia en las 3 direcciones principales, sin embargo, también incrementa el peso del material, por lo tanto, se escoge un volumen de fibra igual al 60% para obtener las propiedades mostradas en la Tabla 8:

Tabla 8. Propiedades del material con un 60% de volumen de fibra.

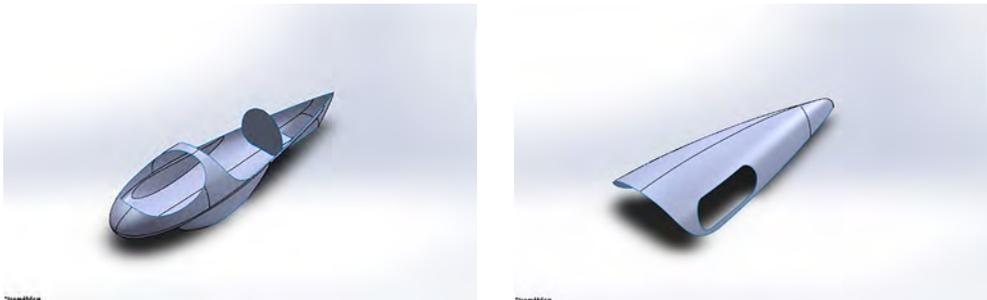
Material	AS4-3501-6 EPOXY
E_1 = Módulo de Young X	136,68
E_2 = Módulo de Young Y	9,49602347
E_3 = Módulo de Young Z	9,49602347
G_{12} = Módulo cortante XY	5,06731193
G_{23} = Módulo cortante YZ	3,90076185
G_{13} = Módulo cortante XZ	5,06731193
ν_{12} = Módulo Poisson XY	0,256
ν_{23} = Módulo Poisson YZ	0,21720113
ν_{13} = Módulo Poisson XZ	0,256
ρ = Densidad	1,5836

Fuente: Autores (2021).

Presentación de resultados

Para el diseño del monocasco se hace uso de un modelo inicial con forma aerodinámica (Mogollón, 2017), desde el software SolidWorks se realizan modificaciones para dar espacio a las ventanas y una tapa que permitirá de acuerdo con las reglas de la competencia la fácil entrada y salida del conductor, así como el mantenimiento del motor, ubicado en la parte trasera del vehículo. Dividiendo el chasis en dos partes, el monocasco y la tapa (Figura 2), el monocasco es el encargado de soportar las cargas del vehículo, por esta razón la tapa no es considerada para los análisis estáticos permitiendo reducir el número de láminas utilizadas en esta parte (Carello et al., 2014).

Figura 2. Monocasco y tapa versión 1.

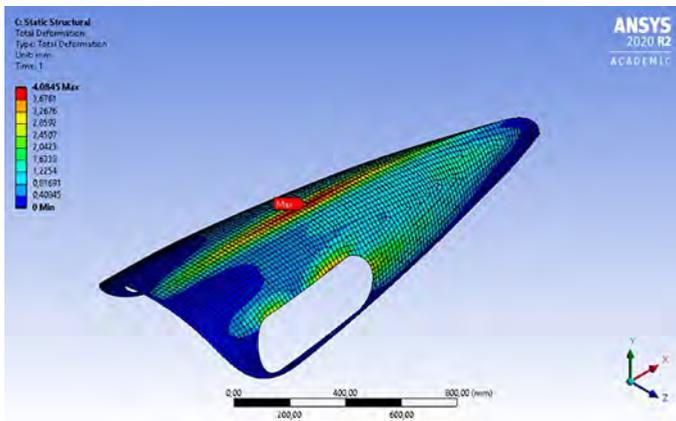


Fuente: Autores (2021).

Análisis de elementos finitos

Para los análisis, el laminado es $[0/90]_s$ para todo el vehículo, mientras que, para las zonas críticas como la base, la barra antivuelco y el soporte del motor se usa un laminado $[0/90/\text{Núcleo}/90/s]$ y a su vez se usan dos tipos de núcleo, uno de 9 mm y otro de 15mm, este último utilizado en la base y la barra antivuelco. En la Figura 3 se observa el análisis hecho al ubicar una carga de 1.000 N en la parte superior de la tapa, se observa que las deformaciones no superan los 5 mm y que en su mayoría son bajas ante una carga tan grande, por lo tanto, los análisis posteriores no tendrán en cuenta esta parte. Al dividir el chasis en dos partes se obtiene un peso total de 7,98 Kg para el monocasco y uno de 1,39 kg para la tapa.

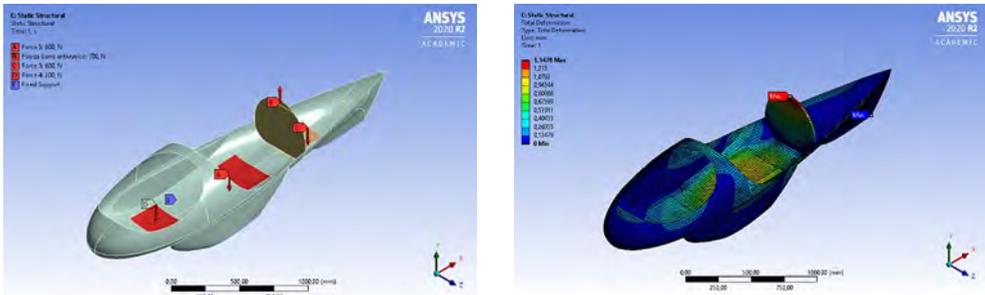
Figura 3. Resultados simulación tapa.



Fuente: Autores (2021).

Las cargas estáticas sobre el vehículo se distribuyen como se muestra en la Figura 4, considerando el peso de los componentes que van anclados a la parte trasera como 400 N y la distribución del peso del conductor ubicado en las zonas donde hay contacto con el vehículo, como: donde reposan los pies, el asiento y él apoya cabeza con cargas iguales a 100, 600 y 200 N respectivamente (Omer, 2015), también se añade una carga vertical sobre la barra antivuelco de 700 N de acuerdo con las reglas de la competencia.

Figura 4. Distribución de las cargas en el monocasco (izquierda) y deformación total (derecha).



Fuente: Autores (2021).

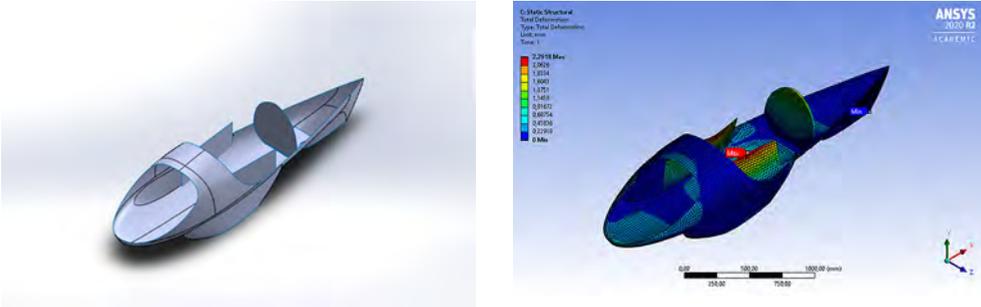
Se observa que una de las zonas críticas es donde se encuentra la mayor carga de 700 N sobre la barra antivuelco, sin embargo, La deformación máxima obtenida no supera los dos milímetros, por lo cual puede considerarse despreciable considerando el tamaño de la estructura. Otra zona crítica fue la base donde se encuentra la mayoría de las cargas, debido a que solo se ubicaron núcleos por partes y no en la mayoría de la base.

Cambios en la geometría

Con el objetivo de asegurar que las simulaciones se parezcan más a la realidad, se realizan cambios en la geometría. Debido a que el vehículo reposara sobre las llantas y estas a su vez a un eje que es soportado sobre la estructura del vehículo, se opta por añadir dos guarda-llantas que también cumplen la función de proteger al conductor del contacto con las llantas.

De igual forma, como se observaba en Figura 4 las deformaciones en la parte de arriba son bajas, sin embargo, esta parte al ser tan delgada es posible que al ubicar una carga distinta el material se deforme más de lo deseado por el poco material que existe, por lo tanto, se opta por hacer más gruesa la parte superior del monocasco como se muestra en la Figura 5. Al hacer las simulaciones con las mismas cargas se obtiene una deformación máxima de 2,29 mm, en la zona donde se encuentran los guarda-llantas, ocasionado por las cargas aplicadas.

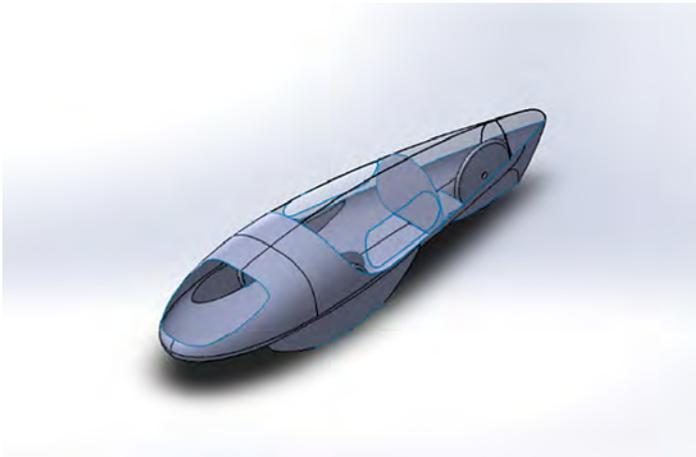
Figura 5. Cambio en la geometría (izquierda) y deformación máxima del monocasco (Derecha).



Fuente: Autores.

La Figura 6 muestra la geometría final, a pesar de las deformaciones del vehículo en la geometría anterior ya son bajas, se opta por cambiar la forma del guarda-llantas, debido a las esquinas en punta y la forma doblada que tiene, sería necesario la creación de un molde y complicar aún más la manufactura, de igual modo se cambia la parte frontal con el objetivo de dar mayor resistencia al frente sin disminuir mucho el rango de visión, esta da como resultado un peso sin tapa de 8,67 kg.

Figura 6. Geometría final.

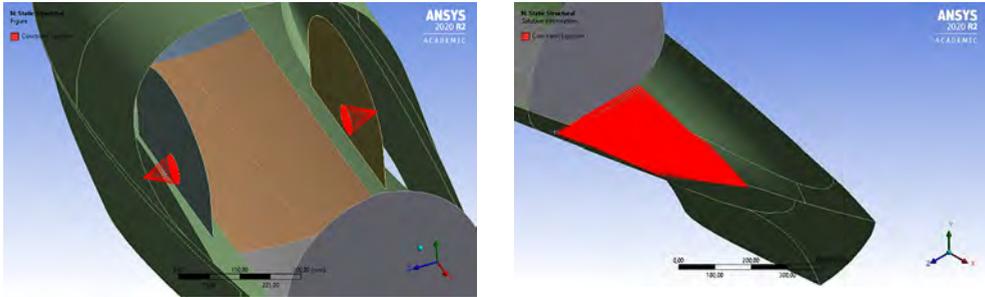


Fuente: Autores.

Se consideró como punto fijo la base del vehículo donde iban ubicadas las llantas, sin embargo, a pesar de obtener buenos resultados, esto no es del todo cierto ya que se deben considerar como punto de apoyo el centro del eje de cada

una de las 3 llantas, por lo tanto, se ubican puntos a los cuales se fijará la estructura (Carrión, 2021), tal y como se observa en la figura No 7, estos cambios se ven reflejados en una mejor distribución de las deformaciones en el monocasco.

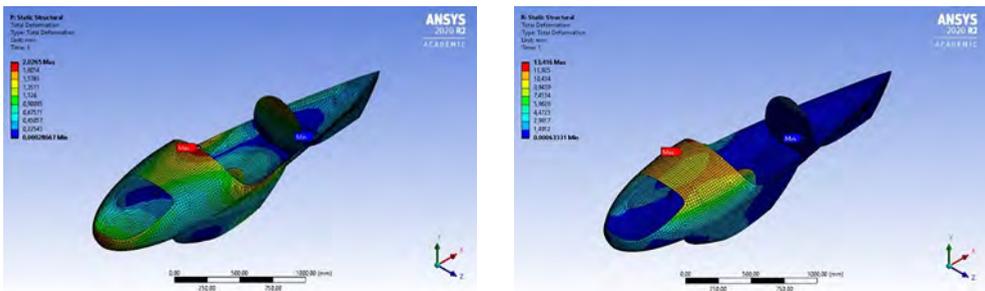
Figura 7. Puntos de apoyo del monocasco.



Fuente: Autores.

Con este cambio se realizarán dos simulaciones, una con las mismas condiciones estáticas y otra teniendo en cuenta las fuerzas provocadas en el momento de giro del vehículo, acá se tiene en cuenta una velocidad estimada de 20 Km/h y un radio de giro de 8 metros de acuerdo con las reglas de la competencia (Shell, 2019). Al realizar el cambio de los anclajes las deformaciones promedio se mantuvieron cercanas a los 2 mm lo cual representa una mejora respecto a la forma anterior del monocasco, la Figura 8 muestra como fueron las deformaciones a lo largo del monocasco en ambas simulaciones.

Figura 8. Deformaciones con una carga estática (Izq) y velocidad de giro (Der).



Fuente: Autores.

La presencia de altas deformaciones en la parte superior es ocasionada por las cargas que inciden directamente en la base del vehículo, debido a que estos valores nos indican que tanto se movieron los nodos respecto a una posición anterior, no necesariamente implica que en la realidad se vaya a mover lo mismo.

Consideraciones finales

A pesar de haber llegado a una geometría final en el capítulo, el diseño exige un proceso de mejora continua en el que cada nueva versión debe presentar cambios, respecto a una versión anterior, que contribuyan a obtener un diseño óptimo, en este caso se tuvo en cuenta el tamaño del vehículo para una persona de aproximadamente 1,75 m, por lo cual, sería posible reducir las dimensiones del vehículo, con el objetivo de disminuir el peso. La actual forma responde a las necesidades de la competencia, sin embargo, no quiere decir que sea el diseño que todos los vehículos deban tener, ya que un cambio muy pequeño no influenciará negativamente los resultados obtenidos.

Relacionar los resultados obtenidos de la simulación y los aproximados en la realidad, se hace necesario garantizar el proceso de manufactura, ya que, en estas simulaciones, se supone un acoplamiento perfecto entre las láminas y no se tienen en cuenta los posibles defectos que se pueden presentar entre cada una de las capas.

El uso de fibras, resinas y núcleos comunes en el mercado, representa una facilidad de adquisición, sin embargo, es posible implementar el mismo método utilizado en este capítulo, para cualquier otro tipo de material, dado que las propiedades mecánicas fundamentales aproximadas por el método de Hopkins y Chamis a las obtenidas por ensayos no presentan una gran variación, sin embargo para otras propiedades, como los esfuerzos y deformaciones de rotura de la lámina se recomienda hacer los ensayos necesarios, ya que de estas propiedades, depende un análisis en el cual se tiene en cuenta en qué momento, cada una de las láminas fallarán y en qué orden lo harán, con el objetivo de garantizar completamente la seguridad de los componentes que se están diseñando.

Referencias

- Airale, A., Carello, M., & Scattina, A. (2011, Mayo). Carbon fiber monocoque for a hydrogen prototype for low consumption challenge. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 42(5), 386-392. <https://doi.org/10.1002/mawe.201100793>
- Carello, M., Airale, A., & Messana, A. (2014). IDRApegasus: a carbon fiber monocoque vehicle prototype. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 45(5). <https://doi.org/10.1002/mawe.201400238>

- Carrión, F. (2020). Análisis estático y dinámico para un chasis shell eco-marathon [Tesis de Título Profesional, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. Repositorio Institucional UTEC. <https://hdl.handle.net/20.500.12815/176>
- Castro, A., Rodríguez de Tembleque Solano, & García Macías, E. (2018). Modelización micromecánica de materiales compuestos comparativa entre modelos analíticos y numéricos (MEF) [Trabajo Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla]. https://fama.us.es/permalink/34CBUA_US/3enc2g/alma991013154402804987
- Coronado,, P., Argüelles, A., & Viña, J.(2014, Julio). Influencia del tipo de matriz y de la temperatura en el fenómeno de deslaminación a fractura en materiales compuestos sometidos a sollicitación estática y dinámica en modo I.[Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo]. <http://hdl.handle.net/10651/29120>
- Cunningham, A., Ferrell, A., Lee, M., & Loogman, T. (2015). Carbon Fiber Monocoque Development For a Formula SAE Racecar [Senior Project Design Report, California Polytechnic State University, San Luis Obispo]. <https://digitalcommons.calpoly.edu/mesp/280>
- Denny , J., Veale , K., Adali , S., & Leverone, F. (2018). Conceptual design and numerical validation of a composite monocoque solar passenger vehicle chassis. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21, 1067-1077. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.07.014>
- Dong, C., Zhang, C., & Wang, B. (2003). Integration of green quality function deployment and fuzzy multi-attribute utility theory-based cost estimation for environmentally conscious product development. *International Journal of Environmentally Conscious Design and Manufacturing*, 11(1), 12-28. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.013>
- Eurenius, C. , Danielsson, N., Khokar, A., Krane, E., Olofsson, M., & Wass, J. (2013). Analysis of Composite Chassis [Bachelor Thesis in Applied Mechanics, Chalmers University Of Tecnology]. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/191830>
- Hagan, M., Rappolt, J., & Waldrop, J. (2014). Formula SAE Hybrid Carbon Fiber Monocoque/Steel Tube Frame Chassis [Senior Project, California Polytechnic State University]. <https://digitalcommons.calpoly.edu/mesp/202>

- Hamilton, L., Joyce, P., Forero, C., & McDonald, M. (2013). *Production of a composite monocoque frame for a formula sae racecar*. [SAE Technical Paper] SAE 2013 World Congress & Exhibition. <https://doi.org/10.4271/2013-01-1173>
- Hexcel. (2017). *HexWeb® CR III Corrosion Resistant Specification Grade Aluminum Honeycomb*.
- Ibáñez, A. (2018). *Reducción de peso empleando materiales compuestos preimpregnados en el monocasco de un vehículo Shell Eco-Marathon* [Grado en ingeniería mecánica, Universidad Politécnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/109872>
- Jiménez, L.. (2018). *Diseño, desarrollo técnico y optimización de una bieleta de anclaje de amortiguación para una bicicleta de descenso* [Disertación Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. <http://hdl.handle.net/10251/101252>
- Joost, W. (2012). Reducing Vehicle Weight and Improving U.S. Energy Efficiency Using Integrated Computational Materials Engineering. *JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society*, 64(9), 1032-1038. <https://doi.org/10.1007/s11837-012-0424-z>
- Kamble, M., Shakfeh, T., Moheimani, R., & Dalir, H. (2019). Optimization of a Composite Monocoque Chassis for Structural Performance: A Comprehensive Approach. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 19, 1252–1263. <https://doi.org/10.1007/s11668-019-00711-0>
- Kaya, S. ..., & Erginel, N. (2020). Futuristic airport: A sustainable airport design by integrating hesitant fuzzy SWARA and hesitant fuzzy sustainable quality function deployment. *Journal of Cleaner Production*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123880>
- Lovatt, R. (2008). *The Development of a Lightweight Electric Vehicle Chassis and Investigation into the Suitability of TiAl for Automotive Applications* [Tesis de maestría, The University of Waikato]. <https://hdl.handle.net/10289/2524>
- Mayyas, A., Shen, Q., Mayyas, A., Shan, D., Qattawi, A., & Omar, M. (2011). Using quality function deployment and analytical hierarchy process for

material selection of body-in-white. *Materials & Design*, 32(5), 2771-2782. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.01.001>

Messana, A., Sisca, L., Ferraris, A., Airale, A., Carvalho Pinheiro, H., Sanfilippo, P., & Carello, M. (Enero de 2019). From Design to Manufacture of a Carbon Fiber Monocoque for a Three-Wheeler Vehicle Prototype. *Materials*, 12, 332. <https://doi.org/10.3390/ma12030332>

Mogollon,, D., Aguirre, F., & Vargas,, S. (2017, Abril). Análisis de las carrocerías y su influencia en el consumo de combustible en los vehículos de la shell eco-marathon. *VIII Congreso internacional de Ingeniería Mecánica y Mecatronica, VI congreso de Materiales, Energía y Medio Ambiente*. Medellin, Colombia.

Omer, M. (2015). *Design and Analysis of Composite Chassis for Shell Eco Marathon Prototype Vehicle 2016 using Finite Element Analysis*. [Bachelor Of Engineering in Mechanical Engineering. German University of Technology in Oman]. [Academia.edu](https://www.academia.edu)

Portero, F., & Solís,, M. (2016). *Diseño y cálculo del chasis monocasco de un monoplaza de competición tipo fórmula* [Proyecto Fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla]. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5697>

Make the future. (2019) Official rules shell Eco-Marathon. <https://www.makethefuture.shell/en-gb/shell-eco-marathon/global-rules>

Singhanart, T., Chutisemachai, K., Dilokthonsakun, K., Sanchai, J., & Siriployngam, K. (2014). On the use of composite-steel joint for semi-monocoque frame design. *Applied Mechanics and Materials*, 619, 23-27. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.619.23>

Soden, P., Hinton, M., & Kaddour, A. (1998). Lamina properties, lay-up configurations and loading conditions for a range of fibre reinforced composite laminates. *Composites Science and Technology*, 58(7) ,1011-1022. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(98\)00078-5](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(98)00078-5)

Gheorghe, V., Scutaru, M., Ungureanu, V., Chircan, E. & Ulea, M. (2021). New Design of Composite Structures Used in Automotive Engineering. *Symmetry*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/sym13030383>

- Van,, J. . (2008). *Design of a Formula Student race car chassis* [Tesis de maestría, Technische Universiteit Eindhoven]
- Wakeham, K. (2009). *Introduction To Chassis Design*. [Mechanica Engineer Undergraduate Memorial, University of Newfoundland and Labrador]
- Wu, J., Agyeman, O., & Tai, Y. (2014, Mayo). Design, Analysis, and Simulation of an Automotive Carbon Fiber Monocoque Chassis. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 7(2) , 838-861. <https://doi.org/10.4271/2014-01-1052>

9

Política de inventario para los productos más demandados en la empresa Distribuciones Solio



Alexander Parody Muñoz

Ingeniero Industrial, Magister en Estadística Aplicada, Black Belt en Lean Six Sigma e Investigador Senior de Minciencias, Grupo de Investigación GIDE, Docente Programa Ingeniería Industrial, Universidad Libre, Barranquilla-Colombia, alexandere.parodym@unilibre.edu.co

Alejandro Ospino Pérez

Ingeniero Industrial, Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Libre, Barranquilla- Colombia, alejandroa-ospinop@unilibre.edu.co

Katherine Saltarín Ávila

Ingeniero Industrial, Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Libre, Barranquilla- Colombia, katherinej-saltarina@unilibre.edu.co

Introducción

Los mercados globales presentan una tendencia fuerte en competitividad, lo cual exige que las empresas desarrollen e implementen políticas de inventario adecuadas, que permitan procesos operativos eficientes que no afecten la disponibilidad de los productos ofertados, tanto en empresas de manufactura como comerciales.

Bajo esta perspectiva, se considera que la planificación de políticas de inventario repercute de manera directa en los lineamientos operativos que esta desarrolle; debido a que, la calidad del sistema influye en la creación de procesos, herramientas y mecanismos que conlleven a cumplir los objetivos de corto y largo plazo, establecidos por la organización, según Garay (2016).

En la actualidad los aspectos asociados al manejo de los inventarios a nivel empresarial siguen vigentes en las investigaciones académicas, ya sea enfocada en estudiar técnicas de control de los inventarios (Paredes 2020, Chuquimbalqui 2020, Toapanta 2020), investigaciones enfocadas en diseños de sistemas de gestión robustos para el manejo de los inventarios (De La Cueva 2020, Rago 2020, Cérdan 2020), o el diseño de políticas de inventarios a nivel empresarial (Ortiz-Rodríguez 2021).

En este sentido, la compañía *Solio Distribuciones* es una empresa dedicada a la distribución de licores, cervezas, implementos de aseo, cigarrillos, gaseosas, entre otros productos; cuenta con clientes a nivel local y nacional. El inicio de sus actividades se ubica a mediados del año 2017.

Los productos que corresponden al 80% de las ventas durante el 2018 son: Buchanan Deluxe 750, Old Parr 750, Buchanan Master, Corona, Buchanan Deluxe 1000, Antioqueño 750 y Old Parr 1000, Ron Medellín 750, Ron Medellín 1000, Sello Rojo 1000, Antioqueño 1000, Miller Lite, Sello Rojo 750, Andina Lata, Coronita, José Cuervo 750, Heineken 250 y Gatorade.

Mallidis y Eleni (2018), revela que las empresas comerciales, como la compañía Solio Distribuciones, deben diseñar políticas de inventario que se adapten a su estructura organizacional. Sin embargo, se reconoce una de las problemáticas con mayor presencia en las empresas comerciales; ya que sus políticas de inventario no están planificadas de acuerdo con la capacidad de la organización y en algunos casos existen empresas que ni siquiera contemplan políticas o lineamientos de inventario, según Bayas y Martínez (2017).

Infiriendo en lo precedente, Valencia, Díaz y Correa (2015) expresan que este evento se configura como una gran problemática para estas empresas; debido a que no adoptan lineamientos pertinentes ante la determinación de cantidades óptimas y tiempo. Imposibilitando así, el cumplimiento a tiempo de los pedidos solicitados, generando un impacto negativo en la utilidad operativa de la entidad económica.

La compañía Solio Distribuciones, no es indiferente ante esta problemática ya que, debido a la inexistencia de políticas de inventario se reconoce que durante los últimos 3 meses se han presentado en promedio mensual 2 a 3 incumplimientos o retrasos en las entregas de los pedidos, debido a la falta de productos en la bodega de almacenamiento, causando en promedio un costo de oportunidad de \$7.100.415 mensual.

De otro lado, se logró identificar a través de los resultados, un incremento en ventas de 2,92% con respecto al año 2017. Sin embargo, indudablemente se determina que estas ventas posiblemente lograron aumentar porcentualmente con una implementación de políticas de inventarios en sus productos de mayor ingreso, ya que, según las conversaciones sostenidas con el administrador, se evidencia que en muchas ocasiones presentaron múltiples solicitudes de pedidos que no se despacharon por la falta de inventarios en la bodega.

De acuerdo con lo precedente, la compañía revela la inexistencia de políticas de inventarios para sus productos más solicitados; causando así, grandes pérdidas económicas y problemas con los clientes por el incumplimiento de pedidos.

La investigación pretende diseñar políticas de inventario adecuadas para la implementación en sus productos de mayor ingreso de la Compañía Distribuciones Solio, con el objetivo de incrementar su volumen productivo y que propenda un nivel competitivo estable.

Metodología

La metodología definida, se enfoca en la descripción de actividades, insumos y productos obtenidos en el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos como se detalla a continuación en la tabla 1:

Tabla 1. Fases metodológicas del proyecto de investigación.

Objetivo específico	Actividades	Insumos principales	Productos
Desarrollar un diagnóstico detallado en cuanto a las entregas y las ventas promedio de los productos analizados	Diagnóstico del problema	Papelería, encuestas y entrevistas	Causas resultantes
	Levantamiento de información	Informes de ventas semanales	Marco del proyecto
Caracterizar el comportamiento de la demanda con el fin de definir el modelo de inventario acorde	Calcular el coeficiente de variación para determinar el comportamiento de la demanda	Base de datos de las ventas	Descripción de la demanda: variable o constante
Definir la política óptima de inventarios para cada uno de los productos analizados	Análisis de las políticas más adecuadas para el tipo de producto	Comportamiento de la demanda si es determinística o probabilística y el modelo de inventario correspondiente	Política óptima de inventario
Calcular el costo asociado a cada una de las políticas de inventarios de los productos analizados	Calcular el costo de las políticas a cada uno de los productos relacionados	Modelo de inventario para cada producto seleccionado	Costos de políticas

Fuente: Autores (2021)

Resultados

Actualmente la competencia de mercado a nivel mundial exige alta calidad en el servicio y los productos que se distribuyen; lo cual motiva a las organizaciones a diseñar diversas formas y procedimientos para el manejo del flujo físico de la materia prima, componentes, y producto final, con el objetivo de posicionar la empresa frente al consumidor, generando una satisfacción al cliente.

Uno de los diseños está asociado con la definición de políticas de inventarios, con los productos de la compañía, para lograr dicho diseño, es imprescindible describir el comportamiento de las entregas de los productos seleccionados, a continuación, en la Tabla 2 se detallan las ventas promedio, ventas máximas, ventas mínimas al mes y el número de incumplimientos

que presentó cada producto en el año 2019 a la compañía, en relación con los productos establecidos.

Tabla 2. Diagnóstico de productos.

Producto	Promedio	Máximo	Mínimo	Número de Incumplimientos
Buchanan Deluxe 750	77	83	70	14
Old Parr 750	73	78	70	10
Buchanan Master	55	62	50	7
Corona	75	81	70	9
Buchanan Deluxe 1000	47	55	40	10
Antioqueño750	139	148	130	6
Old Parr 1000	39	68	30	4
Ron Medellín 750	85	90	80	10
Ron Medellín 1000	67	75	60	12
Sello Rojo 1000	47	55	40	6
Antioqueño 1000	59	65	50	10
Miller Lite	75	83	30	8
Sello Rojo 750	45	50	40	9
Andina Lata	44	47	40	2
Coronita	42	47	31	7
José Cuervo 750	25	30	20	4
Heineken 250	26	29	20	6
Gatorade	44	45	40	3

Fuente: Autores (2021).

La tabla permite identificar que los despachos de acuerdo con los productos seleccionados son muy variados; así mismo se reconoce que el Antioqueño 750 genera una alta rotación en sus ventas promedio, seguidamente se evidencia Buchanan Deluxe 750 acompañado del producto Old Parr 750 los cuales mantienen un nivel promedio de venta similar, entre 73-77. Los productos menos destacados se observa José Cuervo 750 y Heineken 250, con un promedio de ventas localizado entre 25-26.

Por otro lado, se consideró importante mencionar de forma aleatoria el comportamiento de ciertos productos con el objetivo de analizar su conducta

en un sentido más riguroso. Ante ello, se determina que el producto Buchanan Deluxe 750 en promedio se despachan mensualmente 77 unidades por pedido, teniendo en cuenta los incumplimientos sobre los despachos anuales obtenemos el porcentaje de participación de los incumplimientos de un 29%, asimismo, se referencia que el producto Old Parr 750 en promedio se despachan mensual 73 unidades por pedido y en los incumplimientos sobre los despachos anuales se refleja un porcentaje de incumplimientos de un 21%.

Con respecto al producto Buchanan Master, se observa que en promedio se despachan mensual, 55 unidades por pedido, contando los incumplimientos sobre los despachos anuales, obtenemos el porcentaje de participación de los incumplimientos de un 15%, de igual manera se muestra que el producto Corona genera un promedio mensual de despedido de 75 unidades por pedido, con los incumplimientos sobre los despachos anuales, se obtiene el porcentaje de participación de los incumplimientos de un 19%.

Ahora bien, con relación al producto Buchanan Deluxe 1000 se interpreta que en promedio se despachan mensual 47 unidades por pedido y en el porcentaje de participación de los incumplimientos se refleja un 21%. No obstante, el Antioqueño 750 en promedio se despacha mensual 139 unidades por pedido, los incumplimientos sobre los despachos anuales se tiene un porcentaje de participación de los incumplimientos de un 13%.

Igualmente se puede analizar que el producto Old Parr 1000, muestra que en promedio se despachan mensual 39 unidades por pedido, con los incumplimientos sobre los despachos anuales, el porcentaje de participación de los incumplimientos de un 15%.

Un diagnóstico interno que Distribuciones Solio realiza sobre las entregas y ventas promedio de los productos de la compañía permitió identificar que el producto con mayor nivel de incumplimiento es Buchanan Deluxe 750 con un 29% de incumplimiento, evidenciando la necesidad de diseñar políticas de inventarios a los productos de la compañía.

Un gran número de compañías se centra en liderar con su respectivo mercado, desarrollando estrategias, como, por ejemplo, el buen manejo de los inventarios, dado que a través de este sistema de control de mercancía se permite conseguir la preferencia del cliente al momento de la compra; razón por la que la empresa siempre tendrá una mecánica disponible y permanente para ofrecer.

Ante ello, es importante determinar qué modelo de inventario deberá implementar la empresa Distribuciones Solio; sin embargo, para tomar esta decisión es importante realizar el cálculo del coeficiente de variación (ver Tabla 3), el cual consiste en hallar la razón entre la desviación estándar de la demanda de cada producto y el promedio de la demanda, la misma se calculó para cada uno de los productos con el objetivo de identificar qué tanta variabilidad existe en el comportamiento de la demanda.

Se estableció qué modelo de inventario se va a trabajar a futuro, determinístico o probabilístico, tomando en cuenta que valores de coeficiente de variación menores del 20% señalan la existencia de baja variabilidad en la demanda y por ende el uso de modelos determinísticos de políticas de inventarios y valores de coeficiente de variación de al menos del 20% indican una alta variabilidad en el comportamiento de la demanda, generando un modelo probabilístico para el diseño de la política de inventario del producto.

Tabla 3. Coeficiente de variación de la demanda por producto.

Producto	Coeficiente de Variación
Buchanan Deluxe 750	5,47
Old Parr 750	3,63
Buchanan Master	6,56
Corona	4,76
Buchanan Deluxe 1000	8,61
Antioqueño 750	3,74
Old Parr 1000	26,82
Ron Medellín 750	3,81
Ron Medellín 1000	7,10
Sello Rojo 1000	10,67
Antioqueño 1000	7,26
Miller Lite	19,26
Sello Rojo 750	8,16
Andina Lata	6,61
Coronita	11,93
Jose Cuervo 750	13,64
Heineken 250	8,84
Gatorade	4,37

Fuente: Autores (2021).

Según los argumentos precedentes, se expresa la caracterización del comportamiento de la demanda con cada uno de los productos de la empresa, Distribuciones Solio. Se llevó a cabo el análisis de la Desviación Estándar y el Coeficiente de Variación, en donde se puede observar el comportamiento de la demanda de la gran mayoría de los productos es poco variable, debido a que su coeficiente de variación es menor del 20%, determinando que sólo el producto Old Parr 1000 tiene un coeficiente de variación mayor del 20% obteniendo un 26%.

Para el cálculo de las políticas de inventarios es necesario identificar el modelo matemático adecuado, estos se dividen en dos grandes grupos como lo son los modelos determinísticos y modelos estocásticos. El comportamiento de la demanda es el parámetro que permite seleccionar el modelo matemático adecuado; cuando la demanda es poco variable (coeficiente de variación $< 20\%$) se puede utilizar políticas de inventarios determinísticas y cuando la demanda es muy variable (coeficiente de variación $\geq 20\%$) es necesario utilizar políticas de inventarios probabilísticos.

Para los productos que cuentan con un comportamiento de demanda determinística se utilizara el modelo de inventario EOQ básico, el cual nos permite saber cuál es la cantidad adecuada a solicitar, como también un stock de seguridad para permitir la continuidad del negocio, modelos matemáticos tomados de Wayne y Goldberg (2005).

Es importante tener en cuenta y definir los componentes que interactúan en las políticas de inventario como son: la demanda promedio “d” que se define como la cantidad requerida por el comportamiento de las ventas o solicitudes del cliente, “k” que se refiere al costo de preparación para ordenar un lote, “c” costo unitario de producir, “h” costo de mantener el inventario por unidad. Todos estos componentes nos llevan en conjunto al resultado de la cantidad óptima del pedido, para reabastecer los inventarios, que sería el .

El stock de seguridad r^* se calculó a partir del conocimiento del plazo de entrega el cual es de dos días, por tanto, el stock de seguridad se calculó como la estimación de la demanda durante el plazo de entrega, de esa manera se asegura un inventario mínimo que permita responder por la demanda durante el plazo de entrega.

Con respecto a los productos con baja variabilidad en su demanda, como el producto Buchanan Deluxe 750, se muestra a continuación el detalle del

cálculo de su política de inventarios, el resto de los productos se pueden visualizar en la Tabla 4.

Buchanan Deluxe 750

$$d = 77 \quad h = (0,2)(42.000) = 8.400 \quad k = \frac{828.116}{4} = 207.029$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{(2)(77)(207.029)}{8400}} = 61.44 \approx 62 \quad r^* = \frac{77}{30} = 2,56 \Rightarrow (2,56) * (2) = 5$$

(Ecuación 1)

Tabla 4. Políticas de Inventarios para los productos seleccionados.

Producto	d	h	k	Q*	r*
Buchanan Deluxe	77	\$ 8.400	\$ 207.029	62	5
Old Parr 750	73	\$ 8.000	\$ 207.029	62	5
Buchanan Master	55	\$ 13.000	\$ 207.029	42	4
Corona	75	\$ 6.960	\$ 207.029	67	5
Buchanan Deluxe	47	\$ 11.740	\$ 207.029	41	3
Antioqueño 750	140	\$ 3.900	\$ 207.029	122	9
Ron Medellín 750	85	\$ 3.800	\$ 207.029	97	6
Ron Medellín 1000	67	\$ 4.800	\$ 207.029	76	4
Sello Rojo 1000	47	\$ 5.120	\$ 207.029	62	3
Antioqueño 1000	59	\$ 4.000	\$ 207.029	78	4
Miller Lite	78	\$ 4.540	\$ 207.029	85	5
Sello Rojo 750	45	\$ 5.400	\$ 207.029	59	3
Andina Lata	45	\$ 5.520	\$ 207.029	58	3
Coronita	42	\$ 5.100	\$ 207.029	59	3
José Cuervo 750	25	\$ 6.000	\$ 207.029	42	2
Heineken 250	26	\$ 5.720	\$ 207.029	43	2
Gatorade	44	\$ 2.680	\$ 207.029	83	3

Fuente: Autores (2021).

En el caso de producto Old Parr 1000 que presentó un coeficiente de variación mayor del 20% se aplicará un modelo de inventarios para demanda probabilística. Como primer paso, se determina la distribución de probabilidad de la demanda, sigue una distribución Normal a través de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov:

Tabla 5. Prueba de Kolmogórov-Smirnov.

	Normal
DMAS	0,282172
DMENOS	0,201625
DN	0,282172
Valor-P	0,296371

Fuente: Autores (2021)

Dado que la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov arrojó un valor p mayor de 0,05 (ver Tabla 5) se concluye que la demanda sigue una distribución normal con media de 38,6 y desviación estándar de 10,3.

Para el siguiente paso, se requiere calcular la cantidad óptima a pedir Q^* y la probabilidad de que la demanda supere el stock de seguridad:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2K\mu_D}{h}} \quad Q^* = \sqrt{\frac{(2)(207.029)(38,6)}{(0,2)(109.200)}} = 27 \quad P(X \geq r^*) = \frac{hQ^*}{hQ^* + c_{LS}\mu_D}$$

$$C_{LS} = \text{perdida de venta presente} + \text{perdida de venta futura}$$

$$C_{LS} = 70.800 + (0,05)(70.800) = 74.340 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$P(X \geq r^*) = \frac{(0,2)(109.200)(27)}{(0,2)(109.200)(27) + (74.340)(38,6)} = 0,17 = 17\%$$

$$r^* = (Z_{X \geq r^*})(\sigma_X) + \mu_X \quad \mu_X = L\mu_D \quad \sigma_X = \sigma_D\sqrt{L}$$

Como el plazo de entrega está en días, se requiere convertirlo a la misma unidad de tiempo de la demanda, la cual es mensual: $(2/30) = 0,066$ meses

$$\mu_X = (0,066)(38,6) = 2,57 \quad \sigma_X = 10\sqrt{0,066} = 2,56$$

$$Z_{X \geq r^*} \Rightarrow 1 - 0,17 = 0,83 \quad \text{el valor de } Z \text{ es } = 0,9541 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$r^* = (0,9541)(2,56) + 2,57 = 5,01 \approx 5$$

Costo asociado a cada una de las políticas de inventarios de los productos

El costo de la política se define como todos aquellos valores en que incurre la empresa para la aplicación de las políticas de inventarios, una vez definido, nos permite tener un presupuesto que será utilizado en el momento de su aplicación.

Teniendo clara la política y la realización de los respectivos cálculos, se logró obtener el costo de la política de cada uno de los productos teniendo en cuenta cada uno de los costos asociados al mismo. Para el cálculo del costo de la política se valoró el comportamiento de la demanda, si el coeficiente de variación es mayor del 20% se asume una demanda probabilística, pero si el coeficiente de variación es menor del 20% se asume una demanda determinística al ser la demanda poco variable. Los productos Buchanan Deluxe 750, Old Parr 750, Buchanan Master, Corona, Buchanan Deluxe 1000, Antioqueño 750, Ron Medellín 750, Ron Medellín 1000, Sello Rojo 1000, Antioqueño 1000, Miller Lite, Sello Rojo 750, Andina Lata, Coronita, José Cuervo 750, Heineken 250 y Gatorade cuentan con un comportamiento de demanda determinística. A diferencia del producto Old Parr 1000 que cuenta con un comportamiento de demanda probabilística.

A continuación, se muestra el modelo matemático para el cálculo del costo de la política de inventarios en productos con demanda poco variable o determinística:

T = costo de política de inventario:

$$T = \frac{dk}{Q^*} + dc + \frac{hQ^*}{2} \quad (\text{Ecuación 4})$$

El cálculo detallado del costo de la política del producto Buchanan Deluxe 750 se muestra a continuación, mientras que la tabla 6 expone el costo de la política de inventarios para los productos restantes.

Buchanan Deluxe 750

$$T = \frac{(77)(207.029)}{61,44} + (77)(42.000) + \frac{(8.400)(61,44)}{2} = 3.485.022 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Tabla 5. Relación del costo de la política de inventarios.

Producto	Costo de la Política de Inventarios
Buchanan Deluxe 750	\$ 3.485.022
Old Parr 750	\$ 3.182.329
Buchanan Master	\$ 3.878.059
Corona	\$ 2.852.409
Buchanan Deluxe 1000	\$ 3.034.913
Antioqueño 750	\$ 2.968.022
Ron Medellín 750	\$ 1.798.253
Ron Medellín 1000	\$ 1.791.698
Sello Rojo 1000	\$ 1.371.359
Antioqueño 1000	\$ 1.336.807
Miller Lite	\$ 1.966.257
Sello Rojo 750	\$ 1.382.973
Andina Lata	\$ 1.397.105
Coronita	\$ 1.229.197
José Cuervo 750	\$ 883.965
Heineken 250	\$ 858.313
Gatorade	\$ 703.081

Fuente: Autores (2021).

Para el producto Old Parr 1.000 el costo de la política se llevaría a cabo luego de ser aplicada y obtener los datos que arrojan por periodos, ya que su demanda cuenta con un comportamiento probabilístico, que impide estimar a priori el costo total por faltante, durante el ciclo de análisis y el costo total del almacenamiento.

Consideraciones finales

La compañía Solio Distribuciones es una empresa dedicada a la distribución de licores, cervezas, implementos de aseo, cigarrillos, gaseosas, entre otros productos. El desarrollo de esta investigación se enfocó en proporcionar una disminución de las entregas tardías de los productos de la compañía en mención,

a partir de la definición de la política óptima de inventarios en sus productos más vendidos Buchanan Deluxe 750, Old Parr 750, Buchanan Master, Corona, Buchanan Deluxe 1000, Antioqueño 750 y Old Parr 1000, Ron Medellín 750, Ron Medellín 1000, Sello Rojo 1000, Antioqueño 1000, Miller Lite, Sello Rojo 750, Andina Lata, Coronita, José Cuervo 750, Heineken 250 y Gatorade.

En este sentido, fue pertinente desarrollar un diagnóstico detallado del promedio mensual, mínimo, máximo, desviación estándar, número de incumplimientos de los productos seleccionados. En relación con este objetivo se concluyó que el porcentaje de cumplimiento con respecto a las ventas de estos productos es muy variado, sin embargo, se identificó que, entre los productos seleccionados el que presenta mayor nivel de incumplimiento es Buchanan Deluxe 750 con un 29% y el producto que genera mayor desempeño es Andina lata con un nivel de incumplimiento de 4%.

Por otro lado, se concretó seguidamente como objetivo caracterizar la demanda con relación al comportamiento de los productos, por medio del cálculo del coeficiente de variación para las ventas de cada una de las marcas seleccionadas. Estas operaciones permitieron identificar que los productos Buchanan Deluxe 750, Old Parr 750, Buchanan Master, Corona, Buchanan Deluxe 1.000, Antioqueño 750, Ron Medellín 750, Ron Medellín 1000, Sello Rojo 1.000, Antioqueño 1000, Miller Lite, Sello Rojo 750, Andina Lata, Coronita, José Cuervo 750, Heineken 250 y Gatorade presenta una demanda determinística por que el coeficiente de variación es menor ($CV < 20$). Sin embargo, se evidenció que el único producto que presentó una excepción fue Old Parr 1.000 porque el comportamiento de su demanda es probabilístico ya que ($CV \geq 20$) el coeficiente de variación fue mayor o igual a 20.

Finalmente, se revela que la política de los inventarios para los productos será determinística a excepción del producto Old Parr 100° que manejará una política probabilística, puesto que su compartimiento fue diferente, teniendo en cuenta el coeficiente de variación, así mismo, se concluye que el costo de la política se llevaría a cabo luego de ser aplicada y obtener los datos que arrojan por periodos, ya que su demanda cuenta con un comportamiento probabilístico. Lo anterior, permitirá en un futuro la disminución de las entregas tardías de los productos de la compañía Solio Distribuciones, conllevando a un aumento en las expectativas de producción, características de rendimiento, durabilidad, capacidad de servicio, rentabilidad y otras características de competitividad.

Referencias

- Bayas, I. y Martínez, M. (2017). La gestión de inventario como factor estratégico en la administración de empresas. *Negotium: revista de ciencias gerenciales*, 13(37), 109-129.
- Garay, A. Rangel, E. Valencia, P. Vargas, G. y Rangel, P. (2016). Análisis del sistema productivo de amaranto en Temoac, Morelos, México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 23(1), 49-57.
- Mallidis, I., Vlachos, D., Yakavenka, V., & Eleni, Z. (2018). Development of a single period inventory planning model for perishable product redistribution. *Annals of Operations Research*, 1-17.
- Valencia, M., Díaz, F. y Correa, J. (2015). Planeación de inventarios con demanda dinámica. Una revisión del estado del arte. *Dyna*, 82(190), 183-191.
- Winston, W. y Goldberg, J. (2005). Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos. (Vol. 4). Editorial México. Thomson, pp. 120-121.
- Cerdán, W. & Guillén, L. (2020). Diseño de un modelo de gestión de inventarios para mejorar la disponibilidad de materiales e insumos en la empresa Dial Constructores SRL (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/24283>
- Rago, L., Ruiz, G. y Kuperman, K. (2020). Diseño de un modelo de gestión de inventario y políticas para productos alimenticios. Universidad de Norte. *Proyectos finales. Pregrado en Ingeniería Industrial*. <http://hdl.handle.net/10584/8882>
- Ortiz, C. y Ballen, J. (2021). Diseño de las políticas de abastecimiento de carne de pollo en la empresa Granja Avícola Avimar con el propósito de optimizar su nivel de servicio al cliente. Universidad Agustiniana, *Ingeniería Industrial*. <http://repositorio.uniagustiniana.edu.co/handle/123456789/1638>
- De La Cueva, J. (2020). Diseño de un modelo de gestión de inventarios aplicado en la empresa Campomaq, cantón Cayambe (Bachelor's thesis).

Paredes, H. (2020). Diseño de un sistema de control de inventarios ABC, a la Sociedad Casa Brito, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo (*Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*).

Chuquimbalqui, (2020). Implementación del control de inventarios para la mejora de la rentabilidad en la Empresa Electrical Parts Center del Distrito Chachapoyas. *Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo (484)*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/47664>

Toapanta, N. y Muquis, L. (2020). *Diseño Del Sistema De Control Interno De Inventarios Para La Empresa Calzado Pony Sa Ubicado En El Distrito Metropolitano de Quito*. Universidad Israel 2020, 101p. Editorial. Quito.

10

Estrategias para el impulso y crecimiento sostenible del turismo de naturaleza en el municipio de Ramiriquí



Laura Camila Calderón Soler

Estudiante de pregrado. Departamento de Ingeniería Ambiental. Auxiliar de investigación. Universidad Libre, Seccional Bogotá. laurac-calderons@unilibre.edu.co

Jorge Luis Ramírez Marín

Estudiante de pregrado. Departamento de Ingeniería Ambiental. Auxiliar de investigación. Universidad Libre, Seccional Bogotá. jorgel-ramirez@unilibre.edu.co

Ever Ángel Fuentes Rojas

Ingeniero Industrial. Magister en Administración de Negocios, director proyecto de Negocios Verdes, grupo de Investigación CINDES, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Industrial. ever.fuentes@unilibre.edu.co

Introducción

En Colombia el Gobierno Nacional ha contemplado el sector del turismo como una de las opciones más viables y rentables para el desarrollo sostenible del país (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2018), y esta esfera económica se ha fortalecido siempre resguardando la diversidad cultural y biológica presente.

Se ha buscado que el desarrollo del turismo de naturaleza crezca siempre de la mano con la planificación y la gestión de contribuir con el empleo y el crecimiento económico (OMT, 2021); con su reconocimiento, se ha transformado en una de las esferas económicas más importantes del país, convirtiéndose en un referente para los turistas por sus atractivos culturales y naturales. Es importante integrar las actividades productivas juntamente con el uso sostenible del patrimonio territorial, para que se dé un crecimiento exitoso del turismo de naturaleza, con el fin de beneficiar a las comunidades locales que viven de este ámbito.

Por otra parte, se debe destacar, que Colombia tiene un potencial de turismo asociado a su riqueza natural y su Biodiversidad; y, según un estudio realizado por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo; el turismo de naturaleza está teniendo una tasa de crecimiento tres veces mayor en comparación a los destinos tradicionales (MINCIT, 2012). Teniendo en cuenta que un viaje no consiste solamente en recorridos físicos por distintos destinos al lugar de residencia, sino también en recorridos interiores que involucran tanto el área intelectual, como la emocional y espiritual; lo que permite dar valor agregado, sentido y significado a la experiencia de exploración. En conclusión, se puede decir que una buena experiencia de viaje consiste en la capacidad de conectar el contexto físico con el campo interior de nuestro ser. La experiencia del visitante o turista se define como el deseo de conectarse con la esencia de vivir, el turista sueña con visitar lugares inexplorados, compartir con la comunidad local y aprender de la misma, además de buscar aportar a la conservación y o protección de un lugar (Manual ilustrado para guías de turismo de naturaleza en Colombia, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior se analiza el potencial turístico que presenta el departamento de Boyacá, donde se desarrolló la investigación, el cual representa

un aporte del PIB del sector turismo del 3,2% para el año 2018, siendo los subsectores como los hoteles y restaurantes los más representativos, generando un total de 1.821 empleos directos (Serrano, Montoya y Amado, 2021).

Ramiriquí hace parte de la provincia Boyacense de Márquez, que debe su nombre al presidente de la república José Ignacio de Márquez, quien nació en Ramiriquí. Los habitantes de Márquez se dedican a la agricultura, la ganadería y la producción de frutas, además de contar en todos sus municipios con una arquitectura religiosa que es notable y presentan diferentes estilos y magnitudes atractivas para los turistas.

El municipio colinda con Boyacá, La Ciénaga, Viracachá y Jenesano, el mayor tiempo del año presenta un clima templado-frío a excepción de septiembre, donde es cálido gracias a la época de verano. Ramiriquí es considerado un atractivo para el turista por su variedad de paisajes, siendo un lugar tranquilo y con un potencial en el sector del turismo.

El turismo de naturaleza como experiencia de viaje se puede considerar desde tres conceptos: La conservación, la comprensión, y la contemplación; y, aunque parecen tres pensamientos independientes; estos se interrelacionan entre sí para permitirle al turista adoptar de manera voluntaria hábitos de consumo sostenible, como la utilización racional del agua y la energía; ejes esenciales para su correcto desarrollo (MINCIT, 2020). Contextualizando los aspectos que interrelacionados permiten obtener un disfrute real de los lugares a través del turismo de naturaleza, se debe entender que el concepto de la contemplación se fundamenta en despertar los sentidos para descubrir la exuberancia de la naturaleza y nuestro lugar en ella. Por ejemplo; el poder escuchar el canto de las aves, sentir la brisa del mar, poder escuchar la corriente del agua en los ríos o respirar el aire puro de un bosque permiten de alguna forma que se conecten con la naturaleza y se genere un respeto y aprecio de esta.

Por otra parte, la comprensión del entorno natural se logra cuando se comprende ambiente rural en su totalidad como un ser vivo y dinámico, que necesita ser cuidado y protegido; y requiere de todas sus partes para que sus sistemas propios puedan funcionar de manera apropiada; esto, se puede considerar cuando un entorno rural es afectado por la deforestación en muchos casos por causa antrópica, que conlleva a la disminución o incluso extinción de las especies endémicas de los territorios naturales; ya que estas especies requieren de todos los elementos y seres que forman parte de su entorno para que puedan

desarrollar de manera adecuada su crecimiento, alimentación y función ecológica, entendiendo que para que cualquier sistema funcione adecuadamente, todos sus elementos y partes se deben encontrar saludables e íntegros.

Finalmente, al interiorizar y poder desarrollar la contemplación y comprensión del funcionamiento y la importancia del entorno natural como un ser vivo; se puede contribuir e incidir de manera real en la conservación de los elementos de la naturaleza que para el contexto forma parte de un sistema vivo; el cual requiere involucrarse con una motivación intrínseca; es decir, tomar el lugar como si se fuera parte de ella, y actuando en pro de la preservación de la misma adoptando y fomentando costumbres y hábitos de consumo sostenibles, priorizando la conservación de los recursos naturales esenciales para la vida misma de la naturaleza y de cada uno; por ejemplo: utilizando óptimamente y de manera racional el recurso hídrico y energético.

En consecuencia, si se logran integrar estos conceptos al desarrollo normal de la práctica turística, se logrará incidir de manera positiva y efectiva en la restauración, y preservación del entorno natural; ya que se logra transformar el enfoque y mentalidad consumidora, en una mentalidad respetuosa y consciente de la naturaleza y sus elementos.

En el documento se pretende exponer un estudio investigativo a través del cual, se diseñaron y propusieron alternativas y estrategias que permitan el impulso y crecimiento del turismo de naturaleza contemplando aspectos socioeconómicos y ambientales, el desarrollo sostenible y la preservación de los recursos naturales presentes en la zona de estudio.

Materiales y métodos

El proceso investigativo tuvo origen por intermedio de un análisis previo de las condiciones del turismo en todos sus ámbitos; es por eso, que se buscó obtener una perspectiva holística del sector en el Municipio, integrando a través de la etapa de Diagnóstico las perspectivas de la Comunidad, así como, el estado Socioambiental y Operacional actual del mismo. Lo anterior, con el objetivo de generar estrategias integrales para el impulso del crecimiento sostenible de turismo de naturaleza en el municipio de Ramiriquí.

Inicialmente, se indagó por medio de la realización de encuestas a tres grupos de interés (Turistas, Prestadores turísticos y Habitantes), los lugares más

visitados y los riesgos que allí se pudieran presentar durante las futuras visitas de campo y los recorridos del territorio. Seguido de ello, y de manera articulada con las autoridades municipales relacionadas con el sector turístico tales como la alcaldía de Ramiriquí, y el Consejo Provincial de Márquez de Turismo, se hizo un análisis a profundidad de las condiciones actuales que se estaban presentando en el sector turístico del municipio a través del uso de herramientas de análisis tales como: la matriz PEST, la matriz DOFA y la Matriz de VESTER.

Lo anterior, permitió establecer cuáles eran las necesidades de primer orden para la comunidad en cuanto a información útil y práctica para fomentar y fortalecer las políticas de prestación de servicios; así como, posibles mejoras en la oferta de productos hacia los turistas. Con esto, y buscando integrar a la comunidad con el sector; se efectuaron una serie de jornadas de sensibilización y socialización de las condiciones actuales del sector; finalmente, con el objetivo de desarrollar en los prestadores turísticos y la comunidad en general un conocimiento integral, además de nuevas herramientas que les permitiera mejorar la calidad en la prestación de sus servicios y/o elaboración de sus productos; se diseñaron y ejecutaron sesiones de capacitación y formación en temas relacionados con: la caracterización de sus productos y/o servicios, estudios de mercado, cómo dar valor agregado a sus servicios/productos turísticos, así como pautas para llevar a cabo una contabilidad básica, funcional y efectiva de sus empresas, negocios y/o emprendimientos, entre otros temas.

Más adelante, se llevó a cabo el diagnóstico de los factores geográficos con la ayuda de herramientas asociadas a Sistemas de Información geográfica, mediante una georreferenciación de los caminos recorridos definidos en zonas de trabajo, y se realizó un levantamiento de evidencias fotográficas del entorno, así como la identificación de sus componentes y elementos tales como: características y condiciones atmosféricas del territorio, y detalle de las especies de flora y de fauna presentes, con lo cual se obtuvo un amplio reconocimiento y caracterización del territorio.

Posteriormente, se realizó una caracterización del territorio más detallada con apoyo de las herramientas ofimáticas, así como, software especializado, entre los cuales estaba: Google Earth y ArcGIS. Además, se emplearon mapas cartográficos como herramienta de apoyo para llevar a cabo los recorridos en el territorio; esto con el fin de proponer una serie de alternativas para corredores ecológicos y senderos naturales.

Finalmente, de manera articulada con las autoridades municipales relacionadas con el sector turístico, así como el sector comercial; tales como la alcaldía de Ramiriquí, la comunidad interesada e involucrada en el sector, el Consejo Provincial de Márquez de Turismo y los encargados pertinentes con lo cual se formularon las estrategias para impulsar el turismo de naturaleza.

A continuación, por medio de la Figura 1: “Diagrama de etapas del Proyecto”, se expone el marco metodológico que se llevó a cabo para dar cumplimiento con el objetivo general de la Investigación.

Figura 1. Diagrama de etapas del proyecto.



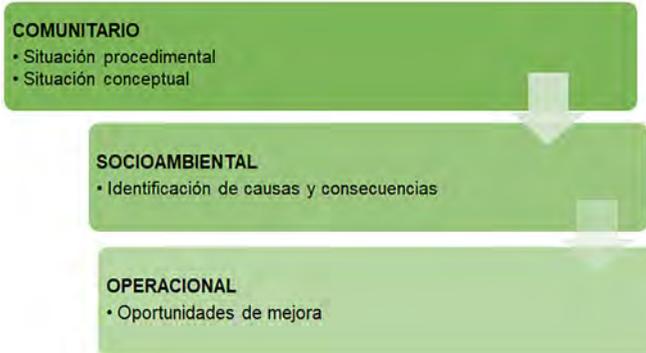
Fuente: Autores (2021).

Descripción del proceso de diagnóstico

Este proyecto se desarrolló implementando una investigación de carácter participativo en el cual su enfoque principal es: “solucionar problemas concretos que un grupo o comunidad enfrente” (Belcazar, 2003) siempre confiando en las personas que participan en ella, ya que se debe tener la capacidad para participar en el estudio, además de hacer que la población adquiera una conciencia crítica acerca de la realidad y su posible potencial.

Teniendo en cuenta las áreas que se deben abarcar para tener un concepto imparcial y objetivo, esta etapa se desarrolló con 3 énfasis; los cuáles se encuentran detallados en la Figura 2.

Figura 2. Etapa de diagnóstico.



Fuente: Autores, (2021).

Para dar un contexto más amplio a la etapa de Diagnóstico, a continuación, se expone el método que se ejecutó en cada una de las fases de la etapa, con el fin de obtener una visión holística y objetiva del Sector de Turismo de Naturaleza en el Municipio de Ramiriquí.

Diagnóstico comunitario: Se identificó la situación de la población con respecto a las temáticas del proyecto. Se diseñaron y se aplicaron encuestas con el objetivo de indagar acerca del comportamiento de grupos específicos, midiendo coberturas y condiciones de servicios, determinando los hábitos de consumo.

Las encuestas tuvieron una variedad de respuestas dependiendo del criterio que se buscaba analizar, además de contar con preguntas abiertas donde se analizó la opinión del encuestado sobre el área de estudio.

Diagnóstico socio ambiental: Se realizó con el fin de identificar la problemática del ambiente (Causas y consecuencias) para que la comunidad construya un conocimiento de su territorio.

El diagnóstico socio ambiental se ejecuta a través de la comunicación que existe con la comunidad acerca de su territorio, empleando instrumentos vivenciales, los cuales permiten identificar las problemáticas más representativas en el área de estudio. Posteriormente, se aplican herramientas de análisis las

cuales permiten abordar la influencia que tienen los encuestados, el desarrollo económico del Municipio y el desarrollo sostenible del Turismo de Naturaleza.

Diagnóstico operacional: Se llevó a cabo un análisis de metas y controles de ejecución, al considerar las oportunidades de mejora.

Al generarse la identificación de los impactos que podría llegar a tener el desarrollo del proyecto, se determina igualmente el impacto generado por los prestadores de servicios sobre los recursos naturales tales como agua, biodiversidad, y el suelo; los cuales, al ser analizados, permiten brindar información sobre el cuidado y manejo adecuado de los mismos. Además, se realiza un reconocimiento del territorio, el cual se materializa por intermedio de la ejecución de mapas que identifican el área de influencia, la caracterización de los recursos, entre otros.

Resultados

Etapa de diagnóstico

Para la etapa de Diagnóstico se debe realizar una exploración previa a la zona de estudios con el fin de reunir información de los diferentes actores involucrados (IICA,2014) ya sean turistas, organizaciones, operadores turísticos, instituciones.

Para iniciar con el Diagnóstico comunitario, el proyecto tuvo origen con el diseño, ejecución de una serie de encuestas relacionadas con el estado actual del turismo en el municipio de Ramiriquí, y fueron direccionadas a tres grupos diferentes: Turistas, prestadores turísticos y habitantes; esto, con el fin de obtener información con la cual más adelante se diseñaron estrategias para el impulso de crecimiento turístico sostenible. Los resultados fueron comparados y analizados en conjunto con las autoridades del sector turístico en el municipio; actividad que permitió generar un documento consolidado con los datos evaluados, asegurando imparcialidad y objetividad en las conclusiones determinadas en esta etapa.

Por otra parte, se buscó dar a conocer las impresiones de los grupos encuestados del trabajo ejecutado por los encuestadores a través de la caracterización del sector de turismo del municipio, con lo cual se logró ampliar la socialización de las posibles ventajas existentes en materia de lugares turísticos

y el análisis de las opiniones que hay con respecto a Ramiriquí en materia de turística relacionando prestadores turísticos, habitantes y turistas.

A continuación, se detallan las diferentes opiniones y criterios que fueron expuestos a partir de las referencias aportadas por los grupos de interés que fueron encuestados:

Habitantes: Se hace evidente la necesidad de potenciar el turismo a nivel interno y externo; para lo cual es importante tener un operador turístico, que actúe conforme a unos principios de sostenibilidad ambiental y trabajo conjunto con los habitantes de Ramiriquí que están relacionados con el sector; sumado a ello, indican que se debe potenciar el turismo incentivando a los turistas mediante la creación de planes y programas de viaje; aumentando la publicidad de los sitios con potencial turístico en diferentes medios; y que se realicen diferentes capacitaciones a los habitantes del municipio en el área de guianza turística.

Turistas: Manifiestas que el sitio turístico que tiene mayor afluencia de turistas es el Alto de la Cruz; por otra parte, hay varios lugares con potencial turístico en Ramiriquí bastante concurridos; entre los cuales se destacan: La Cueva Las Guacamayas, El restaurante campestre Los Jeroglíficos, La Cascada agua blanca y La Cueva del Diablo.

Otros lugares con potencial turístico que, aunque no fueron nombrados en mayor medida pueden llegar a convertirse en potenciales sitios turísticos de Ramiriquí son: Alto de la Senda, Parque Ecológico el Oasis, Puente y/o río Las Guayas y Termales el Arcoíris.

Prestadores turísticos: Se requiere un trabajo en equipo entre los diferentes prestadores turísticos que permita aprovechar las ventajas competitivas de cada uno y que se puedan agrupar a través de un operador turístico que permita potencializar las oportunidades que tiene el municipio. Por otro lado, se requiere que se trabaje de forma articulada con las diferentes entidades a nivel local, departamental y nacional.

Etapa de capacitación y socialización

Luego de culminar la actividad de las encuestas, se extraen una serie de datos claves e importantes; los cuales son sintetizados a través de la ejecución de herramientas de análisis tales como: Matriz PEST, Matriz DOFA y la Matriz

VESTER. A continuación, se hace la respectiva retroalimentación de los datos encontrados obteniendo la opinión de las personas interesadas en el desarrollo del proyecto y complementando el análisis de cada una, como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Información de las matrices de análisis.

Ítem	Tipo de matriz		
	Matriz Pest	Matriz DOFA	Matriz Vester
Objetivo	Identificar los factores del entorno general que afectan el proyecto a nivel Político, Económico, Social y Tecnológico, con el propósito de extraer conclusiones significativas que faciliten la toma de decisiones	Diagnosticar tanto la situación actual del proyecto a nivel interno y externo para generar una perspectiva del futuro cercano	Identificar las causas y efectos de una situación problemática
Análisis de la herramienta	<ul style="list-style-type: none"> • La importancia que tiene el desarrollo del sector turístico para el gobierno nacional • No existen programas de financiación para nuevos emprendedores • Gran parte de los destinos y/o sitios que son potencialmente atractivos tanto por sus condiciones geológicas, ecológicas y culturales son de difícil acceso para el turista • La infraestructura hotelera actual es limitante para el desarrollo del sector turístico • La inversión pública en infraestructura del turismo en muy baja 	De acuerdo con los factores de mayor incidencia e importancia registrados en la matriz DOFA; se clasifican en Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. A partir de este análisis, se realiza un cruce de las variables para generar estrategias de mejoramiento	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentra poco interés por parte de los habitantes del municipio • Falta de información sobre el turismo en el municipio • La problemática con respecto a la atención entre el turista -habitante, operador turístico-turista-cliente. • Se debe fortalecer el interés de brindar información sobre el municipio
Recomendaciones	Es importante generar la normatividad referente al turismo de naturaleza en el municipio de Ramiriquí, para que se tenga una ruta de acción para el sector en especial para los emprendimientos que surjan. Por otro lado, se deben establecer los impactos positivos y negativos se pueden presentar al potencializar el desarrollo de la actividad y que se permita preservar el ambiente sobre el contexto económico	El servicio al cliente se convierte en un pilar para el desarrollo de actividades en el sector turístico, por consiguiente, se debe generar un plan de capacitación con base en el diagnóstico realizado y potencializar las actividades que se consideren más débiles en el municipio	Impulsar el desarrollo del municipio basándose en el posible potencial ecológico de este, buscando que sean sostenibles y sustentables. Además, para el desarrollo de los corredores turísticos se recomienda: Acceso Terrestre y capacitar a los habitantes con respecto al turismo en el municipio

Fuente: Autores, (2021).

Esta etapa de capacitación y socialización se realiza con el objetivo de lograr el inicio de una comunicación entre interesados y colaboradores sobre la iniciativa de desarrollo turístico y sus avances (IICA, 2015).

Etapa de caracterización territorial

El proceso de reconocimiento del área de estudio se realizó mediante varias visitas al Municipio donde se hizo el uso de herramientas tales como GPS y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los recorridos se llevaron a cabo con el acompañamiento de habitantes con un alto conocimiento de la zona, en especial de los lugares con potencial turístico, lo cual permitió conocer una variedad de paisajes (Figura 3), para finalmente, contar con 4 opciones como posibles senderos: Alto de Cruz, Cascada Agua Blanca, La cueva y La Capilla de los Alabastros.

Al efectuar estos recorridos se encontró una variedad de alternativas que contienen un gran potencial para desarrollar estrategias enfocadas en el turismo de naturaleza, algunas de las características más evidentes de la zona son la variedad arbórea, flora y fauna, además, se debe tener en cuenta que su población se dedica a actividades agrícolas y pecuarias las cuales potencializan el Municipio a nivel sostenible.

Figura 3. Paisaje Ramiriquí.



Fuente: Autores, (2021).

Los senderos presentaron una variedad de paisajes y un gran potencial, en el Alto de la Cruz se evidencia una importancia religiosa por su costumbre de hacer el Viacrucis hacia la capilla del Alto de la Cruz (Figura 4) en la temporada de Semana Santa, además, es aprovechado como ruta de recreación y para practicar ciclismo tal como se evidencia en la Figura 5.

Figura 4. Capilla del Alto de la Cruz.



Figura 5. Paisaje Ramiriquí.



Fuente: Autores (2021).

A continuación, se evidencia la diversidad de paisajes encontrados tanto en La cascada Agua Blanca, La cueva, La capilla de los Alabastros (Figura 6 a 8):

Figura 6. Cascada Agua Blanca.



Figura 7. La Cueva.



Figura 8. Capilla de los Alabastros.



Fuente: Autores (2022).

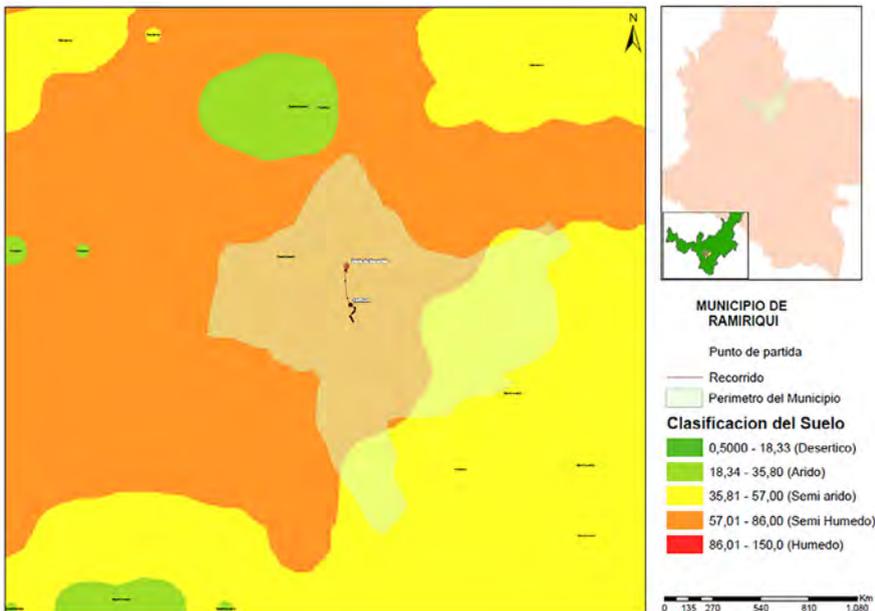
Todo lo anterior confirma la variedad de opciones que se pueden encontrar en el municipio, además de demostrar el potencial que tiene este territorio.

Etapa y elaboración de los mapas

En cada uno de los recorridos que se realizaron se recopilaron datos mediante el levantamiento de puntos con el GPS con los cuales se crearon archivos shapefiles que se compartieron en el software ARCGIS, además de hacer uso de imágenes satelitales para posteriormente presentar una variedad de mapas que ilustraban los posibles senderos.

Para materializar la caracterización del territorio se generaron distintos mapas que sintetizaban la realidad existente en los terrenos con potencial de turismo de naturaleza, además, este mapeo permitió definir los diferentes recursos y la utilización de ellos, por ejemplo, se encontró que en el territorio de los que pertenecen al sector agropecuario, el 24% son agricultores y el 76% se dedica a actividades pecuarias. Las características que se analizaron fueron tipos de prácticas y aprovechamiento del suelo, ubicación estratégica de cuerpos de agua cercanos, entre otros. A continuación, en la Figura 9 se puede observar un ejemplo de los mapas generados en el estudio.

Figura 9. Mapa de clasificación del suelo -Municipio Ramiriquí.



Fuente: Autores, (2021).

Con respecto a la elaboración de los mapas se emplearon una variedad de herramientas tales como: geovisores entre los cuales se tomaron datos y referencias del IGAC, el IDEAM, el SIG-OT, así como el SIB COLOMBIA, con la información obtenida de estos se lograron encontrar diferentes capas en relación a los componentes como el suelo, la biodiversidad, el potencial hidrológico, y las características geológicas del territorio, facilitando la identificación de los cuerpos de agua, entre los cuales se puede destacar: La Quebrada Agua blanca y Quebrada La Única. Por último, se llevó a cabo la socialización de los mapas a la comunidad con el fin de obtener la aprobación final.

Etapas de inventario de flora y fauna

En las Figuras 10 y 11, se puede observar el modelo de ficha técnica que se utilizó para llevar a cabo el levantamiento de información de las especies de flora y fauna que se encontraban al interior de los territorios donde se hicieron los recorridos, las cuales contenían datos relacionados con la taxonomía de las especies, la ubicación y el hábitat.

Figura 10. Modelo de Ficha - Inventario de Fauna.

Aves	
Dúbuia taxonóma	
Tangará Cladema	
Taxonomía	
Reino	Animalia
Phylum	Chordata
Clase	Aves
Orden	Trogoniformes
Familia	Trogonidae
Género	Dubusia
Nombre en Inglés	Buff-breasted Woodnymph
	
Tipo de Aves	Raptores
Mes de Avesión	Junio
Complejo de Paramos	
Especial: Mariposa Blanca	
Rango Altitudinal	Mínimo: 1500 m Máximo: 2800 m
Habitat	Bosques Subtropicales o Bosques húmedos tropicales de montaña
Alimentación	Se alimenta principalmente de frutos de ríos y ríos y también alimenta de gran variedad de insectos como larvas, orugas, escarabajos, polinizantes, libélulas grises, arañas, entre otros.
Descripción	Esta especie mide aproximadamente 20 centímetros y puede pesar cerca de 40 gramos. Es un ave colorada, se parecen por tener las partes inferiores desde el pecho alto hasta la garganta de color amarillo brillante. Presenta una máscara oscura sobre el ojo que se extiende al resto de la cabeza y se extiende al cuello que se pluma de nuevo, el dorso y la cola.

Figura 11. Modelo de Ficha - Inventario de Flora.

ASTERACEAE Bercht. & J. Presl, 1820 (Asteraceae ¹ y ²)	
Munozia senecoides Benth	
Taxonomía	
Reino	Plantae
Phylum	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	Munozia
Epíteto específico	senecoides
Autor	Benth.
Habito	Trepadora
	
Cordillera de los Andes	
Distribución Nacional	
Oriental, Central y Occidental	
Rango Altitudinal	Mínimo: 2000 m Máximo: 2820 m
Ubicación	Municipio: Ramiriquí Quelaima
Coordenadas	Latitud: 5°20'57"N Longitud: -73°17'08"W
Elemento Fitogeográfico	
Neotropical	
Altura	3035 metros
Descripción	Herbosa trepadora de hasta 2 m de longitud. Tallos angulosos cubiertos por indumento tomentoso, blanco-cinizo. Hojas simples, opuestas, decusadas; lámina foliar de 7,5-10 cm de largo, elíptico-obovada, sagitada, de base hastada sagitada con lóbulos de 2,5-4 cm de largo y ápice atenuado; margen dentado, glabra por el haz, cubierta por tomento blanco abundante en el envés. Pétalos de hasta 5 cm de longitud, cubiertos por indumento tomentoso.

Fuente: Autores (2021).

Fauna

Se presentan algunos datos significativos que se obtuvieron en el levantamiento del inventario, así como un breve listado de especies de fauna que se encontraban presentes en el área de estudio.

Aves: Se registraron 8 especies de aves endémicas, lo que representa el 4% del total de ejemplares de aves registradas para el macizo Mamapacha - Bijagual, cabe destacarse que la mitad de las especies registradas como endémicas se encuentran bajo alguna categoría de amenaza. Por ejemplo: *Synallaxis subpudica* (EN), *Cisthorus apolinari* (EN), *Pyrrhura calliptera* (VU) y *Rallus semiplumbeus* (EN).

Reptiles: Con respecto a esta categoría, se destaca el registro de tres ejemplares de reptiles endémicos correspondiente al 42% de las especies de reptiles reportadas, a pesar de no presentar una gran riqueza de ejemplares de reptiles de la cordillera oriental y el macizo Mamapacha - Bijagual representan zonas importantes para la conservación de especies endémicas de esta clase. Por ejemplo: *Gymnophthalmidae*, *Anadia Bogotensis*, *Rioma Striata* y *Sternocercus trachycephalus*.

Anfibios: Se lograron registrar un total de 12 ejemplares endémicos, lo que representa el 75% de las especies de anfibios para este estudio. Es importante insistir, en que este grupo representa un objeto de conservación importante para el macizo de Mamapacha - Bijagual. Por ejemplo: *Atelopus marinkellei*, *Bolitoglossa adspersa*, *Dendropsophus labialis*, *Pristimantis frater*, *Pristimantis elegans* y *Rheobates palamtus*.

Los anfibios fueron el tercer grupo de vertebrados de mayor riqueza en cuanto a ejemplares en el área protegida del macizo Mamapacha - Bijagual, para el cual se registraron las 5 familias reportadas para los páramos de Colombia.

Mamíferos: Se destaca que en el área comprendida en el hábitat de Mamapacha - Bijagual se encuentran el 68,7% de las familias reportadas para este ecosistema en Colombia. En el estudio se reportaron 4 ejemplares de mamíferos endémicos de la región, correspondiente al 9,5% del total de las especies registradas. Por ejemplo: *Rhipidomys fulviventor*, *Thomasomys laniger*, *Thomasomys niveipes* y *Cryptotis brachyonyx*.

En la Tabla 2 se presentan algunos ejemplares, por clase, de la fauna identificada y reportada en el área de estudio.

Tabla 2. Especies destacadas de fauna en la región.

Clase	Nombre Común	Nombre Científico	Hábitat
Mamíferos	Venado (Soche)	Mazama Rufina	Páramo – Bosque de Montaña
	Oso de Anteojos	Tremarctos Ornatus	Páramo – Bosque Húmedo Andino y de Montaña
	Armadillo	Dasyopus novemcinctus	Bosques de Sabana y Tropicales
Aves	Turpial Montañero	Icterus chrysater	Bosques de Sabana Tropical y Sub-Tropical
	Cometa Coliverde	Lesbia Nuna	Bosques Húmedos y de Montaña
	Rastrojero Rabilargo	Synallaxis subpudica	Bordes de los Bosques de Montaña y secundarios
Invertebrados	Alacranes	Anuroctonus Pococki	Bosques Templados – Sabana
	Escarabajo	Coleoptero	Áreas Boscosas de hasta 2750 msnm
	Mariposa	Actinote Iguaquensis	Bosques – Ribera de los Ríos
Reptiles	Salamandra	Bolitoglossa adspersa	Bosques Tropicales Húmedos
	Culebra Labrancera	Atractus Crassicaudatus	Páramos – Bosques muy Húmedos – Laderas de los Ríos
	Lagarto Collarejo	Stenocercus trachycephalus	Páramo – Bosque Tropical Seco

Fuente: Autores, (2021)

Flora

En relación con los resultados obtenidos en el levantamiento de información para el inventario de Flora, se pudo destacar algunas de las especies endémicas que habitan en la región. Por ejemplo: *Berberis Goudotii* (Uña de Gato, Espino), *Gunnera Schultesii* (Hoja de Pantano), *Bucquetia Glutinosa* (Charne) y *Paepalanthus alpinus* (Quiche de Agua).

En la Tabla 3 se presentan algunos ejemplares de las 120 especies de flora reportadas.

Tabla 3. Especies destacadas - Familias de flora.

Asteraceae (Asteráceas)		Ericaceae (Ericáceas)																																									
Taxonomía <i>Munnozia senecionidis</i>		Taxonomía <i>Disterigma alaternoides</i>																																									
<i>Munnozia senecionidis</i> Benth		<i>Disterigma alaternoides</i> (Kunth) Nied.																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Taxonomía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Reino</td><td>Plantae</td></tr> <tr><td>Phylum</td><td>Magnoliophyta</td></tr> <tr><td>Clase</td><td>Magnoliopsida</td></tr> <tr><td>Orden</td><td>Asterales</td></tr> <tr><td>Familia</td><td>Asteraceae</td></tr> <tr><td>Género</td><td>Munnozia</td></tr> <tr><td>Epíteto específico</td><td>senecionidis</td></tr> <tr><td>Autor</td><td>Benth.</td></tr> <tr><td>Habito</td><td>Trepadora</td></tr> </tbody> </table>		Taxonomía		Reino	Plantae	Phylum	Magnoliophyta	Clase	Magnoliopsida	Orden	Asterales	Familia	Asteraceae	Género	Munnozia	Epíteto específico	senecionidis	Autor	Benth.	Habito	Trepadora	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Taxonomía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Reino</td><td>Plantae</td></tr> <tr><td>Phylum</td><td>Magnoliophyta</td></tr> <tr><td>Clase</td><td>Magnoliopsida</td></tr> <tr><td>Orden</td><td>Ericales</td></tr> <tr><td>Familia</td><td>Ericaceae</td></tr> <tr><td>Género</td><td>Disterigma</td></tr> <tr><td>Epíteto específico</td><td>alaternoides</td></tr> <tr><td>Autor</td><td>(Kunth) Nied.</td></tr> <tr><td>Habito</td><td>Arbusto</td></tr> </tbody> </table>		Taxonomía		Reino	Plantae	Phylum	Magnoliophyta	Clase	Magnoliopsida	Orden	Ericales	Familia	Ericaceae	Género	Disterigma	Epíteto específico	alaternoides	Autor	(Kunth) Nied.	Habito	Arbusto
Taxonomía																																											
Reino	Plantae																																										
Phylum	Magnoliophyta																																										
Clase	Magnoliopsida																																										
Orden	Asterales																																										
Familia	Asteraceae																																										
Género	Munnozia																																										
Epíteto específico	senecionidis																																										
Autor	Benth.																																										
Habito	Trepadora																																										
Taxonomía																																											
Reino	Plantae																																										
Phylum	Magnoliophyta																																										
Clase	Magnoliopsida																																										
Orden	Ericales																																										
Familia	Ericaceae																																										
Género	Disterigma																																										
Epíteto específico	alaternoides																																										
Autor	(Kunth) Nied.																																										
Habito	Arbusto																																										
																																											
Bromeliaceae (Bromeliáceas)		Melastomataceae (Melastomáceas)																																									
Taxonomía <i>Guzmania Squarrosa</i>		Taxonomía <i>Bucquetia glutinosa</i>																																									
<i>Guzmania squarrosa</i> (Mez & Sodiro) L.B.Sm. & Pittendr.		<i>Bucquetia glutinosa</i> (L.f.) DC.																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Taxonomía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Reino</td><td>Plantae</td></tr> <tr><td>Phylum</td><td>Tracheophyta</td></tr> <tr><td>Clase</td><td>Magnoliopsida</td></tr> <tr><td>Orden</td><td>Poales</td></tr> <tr><td>Familia</td><td>Bromeliaceae</td></tr> <tr><td>Género</td><td>Guzmania</td></tr> <tr><td>Epíteto específico</td><td>squarrosa</td></tr> <tr><td>Autor</td><td>(Mez & Sodiro) L.B.Sm. &</td></tr> <tr><td>Habito</td><td>Epífita</td></tr> </tbody> </table>		Taxonomía		Reino	Plantae	Phylum	Tracheophyta	Clase	Magnoliopsida	Orden	Poales	Familia	Bromeliaceae	Género	Guzmania	Epíteto específico	squarrosa	Autor	(Mez & Sodiro) L.B.Sm. &	Habito	Epífita	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Taxonomía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Reino</td><td>Plantae</td></tr> <tr><td>Phylum</td><td>Tracheophyta</td></tr> <tr><td>Clase</td><td>Magnoliopsida</td></tr> <tr><td>Orden</td><td>Myrtales</td></tr> <tr><td>Familia</td><td>Melastomataceae</td></tr> <tr><td>Género</td><td>Bucquetia</td></tr> <tr><td>Epíteto específico</td><td>glutinosa</td></tr> <tr><td>Autor</td><td>(L.f.) DC.</td></tr> <tr><td>Habito</td><td>Arbusto</td></tr> </tbody> </table>		Taxonomía		Reino	Plantae	Phylum	Tracheophyta	Clase	Magnoliopsida	Orden	Myrtales	Familia	Melastomataceae	Género	Bucquetia	Epíteto específico	glutinosa	Autor	(L.f.) DC.	Habito	Arbusto
Taxonomía																																											
Reino	Plantae																																										
Phylum	Tracheophyta																																										
Clase	Magnoliopsida																																										
Orden	Poales																																										
Familia	Bromeliaceae																																										
Género	Guzmania																																										
Epíteto específico	squarrosa																																										
Autor	(Mez & Sodiro) L.B.Sm. &																																										
Habito	Epífita																																										
Taxonomía																																											
Reino	Plantae																																										
Phylum	Tracheophyta																																										
Clase	Magnoliopsida																																										
Orden	Myrtales																																										
Familia	Melastomataceae																																										
Género	Bucquetia																																										
Epíteto específico	glutinosa																																										
Autor	(L.f.) DC.																																										
Habito	Arbusto																																										
																																											

Fuente: Autores, (2021)

En la tabla 4 se presentan los géneros de flora con mayor cantidad de especies reportadas.

Tabla 4. Especies destacadas – Géneros de flora.

Miconia		Weinmannia																																									
Taxonomía <i>Miconia Ligustrina</i>		Taxonomía <i>Weinmannia Reticulata</i>																																									
<i>Miconia ligustrina</i> (Sm.) Triana		<i>Weinmannia reticulata</i> Ruiz & Pav.																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Taxonomía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Reino</td><td>Plantae</td></tr> <tr><td>Phylum</td><td>Tracheophyta</td></tr> <tr><td>Clase</td><td>Magnoliopsida</td></tr> <tr><td>Orden</td><td>Myrtales</td></tr> <tr><td>Familia</td><td>Melastomataceae</td></tr> <tr><td>Género</td><td>Miconia</td></tr> <tr><td>Epíteto específico</td><td>ligustrina</td></tr> <tr><td>Autor</td><td>(Sm.) Triana</td></tr> <tr><td>Habito</td><td>Arbusto</td></tr> </tbody> </table>		Taxonomía		Reino	Plantae	Phylum	Tracheophyta	Clase	Magnoliopsida	Orden	Myrtales	Familia	Melastomataceae	Género	Miconia	Epíteto específico	ligustrina	Autor	(Sm.) Triana	Habito	Arbusto	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Taxonomía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Reino</td><td>Plantae</td></tr> <tr><td>Phylum</td><td>Tracheophyta</td></tr> <tr><td>Clase</td><td>Magnoliopsida</td></tr> <tr><td>Orden</td><td>Oxalidales</td></tr> <tr><td>Familia</td><td>Cunoniaceae</td></tr> <tr><td>Género</td><td>Weinmannia</td></tr> <tr><td>Epíteto específico</td><td>reticulata</td></tr> <tr><td>Autor</td><td>Ruiz & Pav.</td></tr> <tr><td>Habito</td><td>Árbol</td></tr> </tbody> </table>		Taxonomía		Reino	Plantae	Phylum	Tracheophyta	Clase	Magnoliopsida	Orden	Oxalidales	Familia	Cunoniaceae	Género	Weinmannia	Epíteto específico	reticulata	Autor	Ruiz & Pav.	Habito	Árbol
Taxonomía																																											
Reino	Plantae																																										
Phylum	Tracheophyta																																										
Clase	Magnoliopsida																																										
Orden	Myrtales																																										
Familia	Melastomataceae																																										
Género	Miconia																																										
Epíteto específico	ligustrina																																										
Autor	(Sm.) Triana																																										
Habito	Arbusto																																										
Taxonomía																																											
Reino	Plantae																																										
Phylum	Tracheophyta																																										
Clase	Magnoliopsida																																										
Orden	Oxalidales																																										
Familia	Cunoniaceae																																										
Género	Weinmannia																																										
Epíteto específico	reticulata																																										
Autor	Ruiz & Pav.																																										
Habito	Árbol																																										
																																											

Hypericum		Gaultheria																																													
Taxonomía <i>Hypericum Goyanesii</i>		Taxonomía <i>Gaultheria Buxifolia Wild</i>																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Hypericum cf. Goyanesii Cuatrec.</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Taxonomía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Reino</td> <td>Plantae</td> </tr> <tr> <td>Phylum</td> <td>Magnoliophyta</td> </tr> <tr> <td>Clase</td> <td>Magnoliopsida</td> </tr> <tr> <td>Orden</td> <td>Theales</td> </tr> <tr> <td>Familia</td> <td>Hypericaceae</td> </tr> <tr> <td>Género</td> <td>Hypericum</td> </tr> <tr> <td>Epíteto específico</td> <td>goyanesii</td> </tr> <tr> <td>Autor</td> <td>Cuatrec.</td> </tr> <tr> <td>Habito</td> <td>Arbusto</td> </tr> </tbody> </table>		Hypericum cf. Goyanesii Cuatrec.		Taxonomía		Reino	Plantae	Phylum	Magnoliophyta	Clase	Magnoliopsida	Orden	Theales	Familia	Hypericaceae	Género	Hypericum	Epíteto específico	goyanesii	Autor	Cuatrec.	Habito	Arbusto	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Gaultheria buxifolia Wild.</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Taxonomía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Reino</td> <td>Plantae</td> </tr> <tr> <td>Phylum</td> <td>Tracheophyta</td> </tr> <tr> <td>Clase</td> <td>Magnoliopsida</td> </tr> <tr> <td>Orden</td> <td>Ericales</td> </tr> <tr> <td>Familia</td> <td>Ericaceae</td> </tr> <tr> <td>Género</td> <td>Gaultheria</td> </tr> <tr> <td>Epíteto específico</td> <td>buxifolia</td> </tr> <tr> <td>Autor</td> <td>Wild.</td> </tr> <tr> <td>Habito</td> <td>Hierba</td> </tr> </tbody> </table>		Gaultheria buxifolia Wild.		Taxonomía		Reino	Plantae	Phylum	Tracheophyta	Clase	Magnoliopsida	Orden	Ericales	Familia	Ericaceae	Género	Gaultheria	Epíteto específico	buxifolia	Autor	Wild.	Habito	Hierba
Hypericum cf. Goyanesii Cuatrec.																																															
Taxonomía																																															
Reino	Plantae																																														
Phylum	Magnoliophyta																																														
Clase	Magnoliopsida																																														
Orden	Theales																																														
Familia	Hypericaceae																																														
Género	Hypericum																																														
Epíteto específico	goyanesii																																														
Autor	Cuatrec.																																														
Habito	Arbusto																																														
Gaultheria buxifolia Wild.																																															
Taxonomía																																															
Reino	Plantae																																														
Phylum	Tracheophyta																																														
Clase	Magnoliopsida																																														
Orden	Ericales																																														
Familia	Ericaceae																																														
Género	Gaultheria																																														
Epíteto específico	buxifolia																																														
Autor	Wild.																																														
Habito	Hierba																																														
																																															

Fuente: Autores, (2021).

Finalmente, en la Tabla 5 se hace una presentación por familia de los ejemplares reportados de flora más relevantes:

Tabla 5. Especies destacadas de Flora en la Región.

Familia	Nombre Científico	Elemento Fitogeográfico	Ubicación Local	Altura
Alstroemeriaceae	Bomarea Setacea (Ruiz & Pav.) Herb.	Neotropical	Vereda Guacamayas	3235 msnm
Araceae	Anthurium Oxybelium Schott	Neotropical	Vereda Escobal	3047 msnm
Asteraceae	Espeletia Murilloi Cuatrec.	Páramo	Vereda Escobal	3047 msnm
	Munozia senecionidis Benth	Neotropical	Vereda Guacamayas	3235 msnm
Begoniaceae	Begonia Ferruginea L.f.	Norteamericano Neotropical	Vereda Guacamayas	3235 msnm
	Puya goudotiana Mez	Neotropical	Vereda Escobal	3047 msnm
Eriocaulaceae	Paepalanthus columbiensis Ruhland	Neotropical	Vereda Escobal	3047 msnm
Hypericaceae	Hypericum mexicanum L.	Cosmopolita	Vereda Guacamayas	3235 msnm
	Hypericum cf. Goyanesii Cuatrec.	Cosmopolita	Vereda Guacamayas	3235 msnm
Orchidaceae	Fernandezia lanceolata (L.O. Williams) Garay & Dunst.	Neotropical	Vereda Escobal	3047 msnm
	Epidendrum. Aff. Frutex Rchb f.	Americano	Vereda Guacamayas	3235 msnm
Poaceae	Chusquea Tesselata Munro	Neotropical Antártico	Vereda Guacamayas	3235 msnm
	Cortaderia Nitida (Kunth) Pilg.	Cosmopolita	Vereda Guacamayas	3235 msnm

Fuente: Autores, (2021)

Consideraciones finales

El potencial ecológico que está presente en el Municipio de Ramiriquí se convierte en el principal referente para emprender en el sector turístico; y con ello impulsar su economía; por lo cual, se debe tener en cuenta:

- a) Establecer acuerdos macro tipo “plan maestro” con comunidades para facilitar el desarrollo del turismo en la naturaleza de manera recurrente.
- b) Mejorar el acceso terrestre a la zona rural del municipio.
- c) Establecer vías de comunicación y concertación con las comunidades veredales, que se verán influenciados de manera directa o indirecta al desarrollarse el proyecto.
- d) Capacitar guías Turísticos formalmente.
- e) Enfocar desarrollo en destinos y/o sitios seleccionados de acuerdo con su importancia (priorización).
- f) Determinar las cargas máximas por recorrido para mitigar los impactos ambientales.
- g) Generar la normatividad referente al turismo de naturaleza en el municipio.

A nivel de las autoridades locales, se considera que un aspecto importante que se debe reforzar en el sector turístico es la legalización de los negocios por parte de los prestadores turísticos, por otro lado, se debe dar a conocer los beneficios que se podrían obtener por la legalización de los prestadores turísticos, además de considerar la información que se le brindaría a las partes interesadas para usar todas las herramientas existentes con el fin de aprovechar las oportunidades que se presentan y tener en cuenta los cambios que se pueden dar en temas como seguridad.

Referencias

Corpochivor (2016). Documento Síntesis para la declaratoria del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Páramo Mamapacha – Bijagual, jurisdicción de Corpochivor. <http://fauna.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/S%C3%ADntesis-Declaratoria-DRMI-Mamapacha-Bijagual.pdf>

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (2015). Caracterización biótica del complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha en

Jurisdicción de Corpoboyacá. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9569>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), (2015). *Guía para la formulación de planes de desarrollo turístico en territorios rurales*. <http://repiica.iica.int/docs/B3389e/B3389e.pdf>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MINCIT) (2018). Plan sectorial de turismo 2018-2022. *Turismo: el propósito que nos une*. <https://www.mincit.gov.co/CMSPages/GetFile.aspx?guid=2ca4ebd7-1acd-44f9-9978-4c826bab5013>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MINCIT) (2020). *Manual ilustrado para guías de turismo de naturaleza en Colombia*. <https://guianaturaleza.colombia.travel/manual>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (MINCIT). (2012). *Diagnóstico turismo de naturaleza en Colombia*. <https://www.colombiaproductiva.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=56e56497-881d-41f6-b23c-4df2d0685f6b>

Organización Mundial del Turismo (OMT) (2021), *Desarrollo sostenible*. de: <https://www.unwto.org/es/desarrollo-sostenible>

Portafolio (2018). *Colombia tiene gran potencial para desarrollar turismo sostenible*. <https://www.portafolio.co/economia/colombia-tiene-gran-potencial-para-desarrollar-turismo-sostenible-522527>

Serrano-Amado, A., Montoya-Restrepo, L. y Amado-Cely, N. (2021). La competitividad turística. Una aproximación desde el Departamento de Boyacá, Colombia. *Tendencias*, 22(1), 226-253. <https://doi.org/10.22267/rtend.212>

Vásquez Bernal, Jairo Alberto, Posada Arrubla, Adriana, & Laytón Coy, Pedro. (2010). Perspectiva del ecoturismo en el altiplano cundiboyacense para conformar una red local. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1), 147-156. septiembre 18, 2019. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262010000100016&lng=en&tlng=es

11

**Evaluación de las
condiciones
mecánicas para
el diseño del tren
motriz para un
vehículo de la
categoría prototipo
en la competencia
Shell Eco-marathon**



Dayron Augusto Dueñas Flórez

Estudiante (Investigador en formación) Ingeniero Mecánico, Universidad Libre

Martín Esteban Alfonso Arenas

Estudiante (Investigador en formación) Ingeniero Mecánico, Universidad Libre

Fredy Alexander Aguirre Gómez

Docente (Docente investigador) Ingeniero Mecánico, Universidad Libre

Introducción

Shell es un grupo mundial de compañías de energía y petroquímicas que utilizan tecnologías avanzadas y adoptan un enfoque innovador para ayudar a construir un futuro energético sostenible, una muestra de su búsqueda por la sostenibilidad energética es la competencia anual que patrocina, *Shell Eco-marathon*, en la que participan estudiantes de ingeniería de todo el mundo. Es una competencia para estudiantes de ingeniería en todo el mundo, se realiza en América (Estados Unidos o Brasil), otra en Europa, y una en Asia.

Todo nació en una apuesta de dos ingenieros en Francia en 1985, tratando de diseñar el vehículo más eficiente, el objetivo era usar menos combustible para ir más lejos, así se llevó a cabo la primer *Shell Eco-marathon* a gran escala.

La Shell como empresa, ha tenido una transformación, de diversificación, como la propuesta del uso hidrógeno o energía eléctrica, bajo el lema “más energía, más limpia”. Y bajo esta idea han lanzado la iniciativa “*Make the Future*”, de la cual la *Shell Eco Marathon* es una de las acciones. Año a año, estudiantes han creado vehículos, proponiendo novedosas maneras de mejorar la eficiencia en el consumo de energía. Este concurso quiere dar solución a la problemática vehicular al disminuir el consumo de energía en los vehículos; no se trata de velocidad, sino de eficiencia (Goga 2019). Esta competencia es una oportunidad para proponer un transporte eficiente en recorridos cotidianos, como lo es el desplazamiento casa-trabajo-casa, puesto que una ciudad puede llegar a ser muy congestionada por lo que el vehículo con menor consumo tiene más importancia.

Los estudiantes participantes construyen vehículos especiales que buscan la mayor eficiencia energética. Según el reglamento de la *Shell Eco-marathon*, hay dos categorías: vehículos prototipo (ver Figura 1), ultra eficientes y ligeros (generalmente tres ruedas) y concepto urbano (ver Figura 2), vehículos que tienen características similares de autos de calle (siempre cuatro ruedas).

Figura 1. Vehículo categoría prototipo.



Fuente: Estévez, R. (2013). Tomado de Eco inteligencia.

Figura 2. Vehículo categoría Concepto urbano.

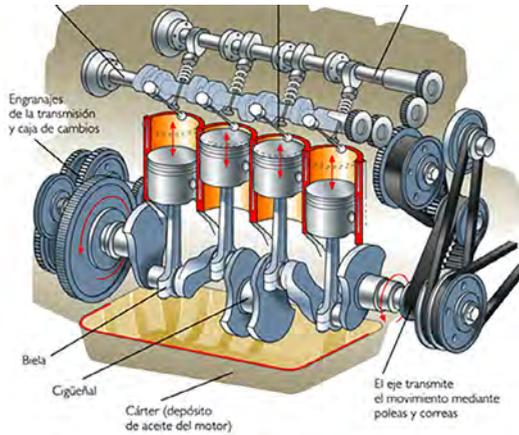


Fuente: Ermess. Tomado de 123RF.

En estas dos categorías se definieron tres sistemas de propulsión (motor de combustión interna (ver Figura 3), batería eléctrica (ver Figura 4) y pila de combustible de hidrogeno (ver Figura 5), cada categoría define la eficiencia evaluando la cantidad de energía que consume el vehículo para su funcionamiento con respecto a un recorrido o distancia, por esto cada parte del vehículo debe estar optimizada, para ello existen principalmente dos consideraciones: la aerodinámica del vehículo y el peso del vehículo.

El equipo “Lycée La Joliverie”, estableció en 2004 el récord que actualmente tiene vigencia en Europa, esto en la categoría de motor de combustión interna, alcanzó a recorrer 3.410 km con el equivalente de un solo litro de combustible

Figura 3. Motor de combustión interna.



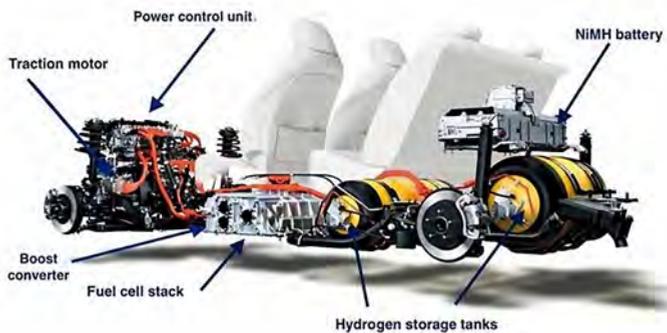
Fuente: Bauzas, R. (2014). Tecnología industrial.

Figura 4. Batería eléctrica.



Fuente: <https://tinyurl.com/yzrtu5b9>.

Figura 5. Pila de combustible de hidrógeno.

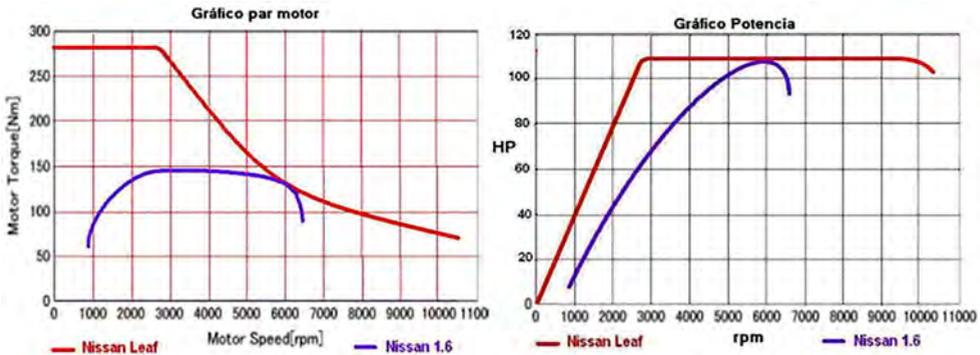


Fuente: Clavero, D. (2014). Recuperado de: Diario motor.

(López, 2019), para la batería eléctrica el actual récord hecho por el equipo español de “Cotes Baixes” ha recorrido el equivalente a 8.888 km con solo 1 litro de gasolina, y en 2005, un vehículo impulsado por hidrógeno construido por el equipo suizo “ETH Zúrich” logró un desplazamiento de 3.836 km con el equivalente de un solo litro de combustible según la información encontrada en la página oficial de la competencia 2019.

En la Figura 6 se comparan dos motores marca Nissan de 109 HP de potencia. Con la línea de color rojo el Nissan Leaf (eléctrico) y con la línea violeta el Nissan 1.6 (gasolina).

Figura 6. Comparación entre motor de combustión y motor eléctrico de 109 HP de potencia.



Fuente: Rodríguez, B. (2012). Recuperado de: Foro coches eléctricos.

En la gráfica se puede apreciar que la potencia máxima es la misma, pero en realidad el motor eléctrico es más potente en casi todas las circunstancias; hasta 1.000 rpm ofrece más del triple de potencia, hasta 2.000 rpm más del doble y aunque las curvas se van acercando hacia los 6.000 rpm, el de gasolina a 6.500 rpm y el del Leaf aún ofrece su potencia máxima hasta 9.800 rpm y gira hasta los 10.400 rpm. Además, el eléctrico es capaz de girar igual de equilibrado y con la misma fuerza (par) a 20 rpm que a 2.000 rpm y desde 0 rpm dispone ya del par máximo. (Rodríguez, 2012)

Materiales y métodos

En esta investigación se muestran aspectos relevantes en la evaluación de las condiciones mecánicas concernientes al diseño de un tren motriz, a fin de implementarlo en un vehículo de la categoría prototipo en la competencia Shell-eco marathon. Se realizó la selección de un motor que tenga un equilibrio entre

peso, potencia y consumo de energía. Como caso de estudio se seleccionó el motor ideal para un vehículo prototipo de la competencia Shell Eco-marathon. Se justificó la importancia del balance entre el peso, la potencia y el consumo de un sistema de propulsión en un vehículo, todo esto validado por la medición de la energía que se utiliza.

Resulta obvio señalar que la toma de decisiones exige disponer de un conocimiento de los antecedentes que permitan que esta se efectúe con un referente sólido, ese conjunto de antecedentes permitirá que se establezcan ventajas y desventajas que tiene cada opción así una idea o un objetivo determinado se le denomina evaluación. (Sapag 2008)

Dentro de los requerimientos de diseño el lineamiento principal es la normativa de la competencia Shell Eco-marathon versión 2021, en función de cada aspecto específico se tiene un apartado; para tener claridad de las normas y los componentes que por seguridad debe llevar el vehículo, se tiene el Artículo 9 del capítulo 2 – “seguridad”, los detalles del peso del vehículo, -lo cual es algo fundamental en los cálculos para la evaluación del tren motriz- se tiene el Artículo 20 del capítulo 2B – “Conductor y equipamiento”, en el Artículo 27 del capítulo 3 – “Propulsión y almacenamiento de energía” se plantean los niveles máximos de almacenamiento de energía según los motores permitidos (Motor de combustión, pila eléctrica, celdas de hidrogeno), para explicar los tipos de energía, las formas de suplir y manejar los combustibles, la normativa en cuanto a los julios metros, el sistema eléctrico de los vehículos y la documentación técnica que se necesita para participar se tiene en el Artículo 53 al 58 del Capítulo 4 – “Fuentes de energía”, y finalmente para las especificaciones de la normativa para la propulsión de vehículos con batería eléctrica se tiene el Artículo 67 del capítulo 4C – “Vehículos de batería eléctrica”.

Actualmente los coches de combustión interna tienen la mayor parte del parque automotor por algunas condiciones (ver figura 7), las que sobresalen son: estos autos permiten potencias considerablemente elevadas y una gran autonomía de funcionamiento, debido principalmente a que se alimentan de hidrocarburos y estos pueden ser adquiridos en cualquier estación de servicio en todo el mundo. Por el contrario, esto no pasa con las estaciones de suministro de hidrogeno. Por otra parte, los vehículos de batería eléctrica tienen una autonomía muy baja si se comparan las distancias que pueden recorrer con las horas que necesitan para su recarga de baterías.

Figura 7. Vehículos urbanos en la actualidad.

Fuente: Revista La vanguardia (2020).

El principal problema de los vehículos que emplean combustibles fósiles es que, de la energía proporcionada por el combustible usado, solamente de 2% a 3% se convierte en potencia, lo demás se convierte en calor (Álvarez, 2015). Adicionalmente un factor negativo en los motores de combustión interna es la contaminación ambiental, hablando de esta afectación en particular, puesto que producen miles de millones de toneladas de CO₂ que afectan negativamente al planeta (Omicrono el español, 2019). Aspectos adicionales para tener en cuenta son el peso y el tamaño de estos motores, ya que son en su mayoría grandes y pesados.

Cuando el vehículo está detenido y se tiene un motor eléctrico, este también se detiene, no consume energía, adicionalmente tampoco necesita de un embrague para iniciar la marcha, esto se traduce en una reducción de peso, tal como se explica en el artículo “Motor eléctrico versus motor de combustión: par, potencia y eficiencia” (Rodríguez, 2012). Entre otras cosas se afirma que, teniendo un motor eléctrico, para el inicio de la marcha lo importante es el par y no la potencia, si se le adaptara una caja de 5 marchas, el motor eléctrico, sería capaz de arrancar con toda suavidad con cualquiera de ellas (ver Figura 8).

Figura 8. Vehículo eléctrico recargando sus baterías.



Fuente: Domínguez, J. (2019). Xataka.

El automóvil debe tener un coeficiente de arrastre muy bajo, además, un peso bajo que significaría que el motor necesita menor potencia, por ende, menor energía para que el vehículo se desplace (Saffar, Duwail y Laradji 2017). Sin embargo, la carrocería del vehículo debe contener a su conductor, al motor, y todos los demás componentes que se adapten al vehículo, sin sobrepasar los límites impuestos por el reglamento de la competencia Shell Eco-marathon. Un aspecto importante para tener en cuenta es que con esta competencia se busca que el vehículo contribuya a la preservación del medio ambiente, ya que hoy en día los motores de combustión interna se convierten en un problema crítico por sus emisiones.

De forma general el diseño pretende la satisfacción de una necesidad puntual en un entorno específico, a través de un plan de trabajo. Con lo cual es necesario utilizar toda la información que enriquezca el diseño y así adquirir el conocimiento que se implementará en el desarrollo del proyecto. Partiendo de esto como cualquier plan de trabajo consta de ciertas etapas para obtener un producto final; como se mencionó anteriormente todo parte de querer cumplir una necesidad (Ashby 2005). Para poder evaluar las condiciones mecánicas para el diseño de un tren motriz a fin de implementarlo en un vehículo de la categoría prototipo en la competencia Shell Eco-marathon, se plantea el apoyo metodológico con bases de datos como: *Ambientalex.info*, *Revista Virtualpro*, *AlfaOmega*, *SciVerse*, *Acces Engineering*, entre otras;

además, recursos informáticos como el software Matlab, usado para generar simulaciones y la obtención de resultados gráficos que permitan comparar diferentes motores y justificar su selección.

Para evaluar las ventajas y desventajas de los tres sistemas de propulsión que permite el reglamento de la competencia Shell Eco-marathon, se plantea una investigación exploratoria para identificar, analizar e implementar, la mayor cantidad posible de información relacionada con los tipos de motor (Motor de combustión, motor eléctrico, celda de hidrógeno), con recursos como bases de datos y fichas técnica, se determinó la relación entre el peso, la potencia, torque, velocidad angular, velocidad lineal, entre otros. Posteriormente se continuó con una investigación descriptiva para estimar la energía consumida por cada sistema de propulsión, esta estimación haciendo uso de planteamientos teóricos usados en otras investigaciones y propuestos en diferentes recursos bibliográficos. Por último, se continuó implementado conjuntamente técnicas de investigación exploratoria e investigación descriptiva, adicionalmente, incorporando la técnica de diseño conocida como, Despliegue de la función calidad (QFD) por sus siglas en inglés (Quality Function Deployment), con esta herramienta de diseño se hizo una comparación de las tres (3) alternativas de sistemas de propulsión para seleccionar la más adecuada.

Relación potencia - peso en los vehículos

Para comprender de mejor manera esta relación, cabe aclarar algunos conceptos:

- *Par motor*: Es la fuerza con la que gira el eje del motor. Se mide en Newton/metro (Nm).
- *Régimen de giro*: Es el número de vueltas que da el eje del motor por unidad de tiempo. Se mide en revoluciones por minuto (rpm).
- *Potencia del motor*: Es la cantidad de trabajo realizada por unidad de tiempo y se obtiene de multiplicar el par por el régimen de giro. Se mide en caballos (HP) o en Kilovatios (kW), la equivalencia sería $0,745 \text{ kW} = 1 \text{ HP}$.

La relación potencia - peso es una medida del rendimiento real de cualquier motor o fuente de potencia, para calcularla se divide la potencia generada por el motor entre el peso del motor como se muestra en la Ecuación 1.

$$\text{Relacion potencia a peso} = \frac{\text{Potencia neta}(kW)}{\text{Peso motor}(Kg)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Conociendo dicha expresión es posible, con cierta aproximación, comparar el comportamiento de cada tipo de motor con base en características específicas como la potencia que produce y su cilindrada, es decir el tamaño del motor.

Consumo energético está relacionado con el poder calorífico de una sustancia o combustible se define como la cantidad de calor que este genera, por kilogramo o metro cúbico de esa sustancia, al oxidarse completamente.

El poder calorífico de una muestra de combustible se mide en una bomba calorimétrica. La muestra de combustible y un exceso de oxígeno se inflama en la bomba y tras la combustión, se mide la cantidad de calor.

¿Cómo medir la energía que entrega un combustible?

$$\text{Poder Calorífico} \left(\frac{KJ}{Kg} \right) * \text{masa} (Kg) = \text{Energia} (KJ) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Presentación de resultados

Relación potencia-peso en los vehículos

La relación potencia a peso (o potencia específica) es un cálculo aplicado habitualmente a motores y fuentes de energía móviles para realizar una comparación de rendimiento.

El motor de combustión interna necesita un radiador (ver figura 9) para reducir las altas temperaturas que se generan debido a la combustión (más partes, más peso), además, estos motores tienen un problema y es que necesitan una caja de velocidades (ver Figura 10) que adapte el giro del motor a la necesidad de las ruedas cada momento; se encontraría que no se tiene potencia o par suficiente para iniciar la marcha, o que el motor gira demasiado revolucionado y consumiendo una barbaridad de combustible para sostener una determinada velocidad (Ibáñez, 2019). Por el contrario, el motor eléctrico es muy simple, pues por defecto no necesita caja de cambios, simplemente un engranaje reductor y listo, es tan fácil como acelerar y el motor girará cada vez más rápido y las ruedas también.

Figura 9. Sistema de refrigeración (Radiador) de un vehículo de combustión interna.

Fuente: Redacción motor, (2017). El tiempo.

Figura 10. Caja de velocidades de un vehículo de combustión interna

PARTES DE UNA CAJA DE CAMBIOS MANUAL

Eje principal de transmisión

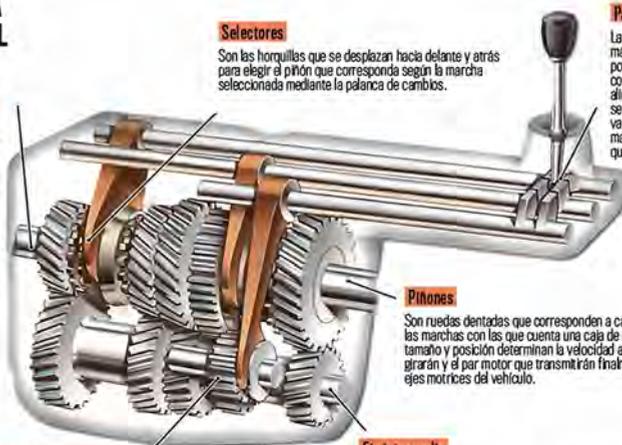
Este elemento gira cuando recibe el movimiento desde el motor, debido a la acción del embrague cuando se acopla con la caja de cambios.

Selectores

Son las horquillas que se desplazan hacia delante y atrás para elegir el piñón que corresponda según la marcha seleccionada mediante la palanca de cambios.

Palanca

La palanca de cambios es la parte más visible del conjunto. Bajo el pomo y la vera metálica, cuenta con una bola en su base que se alinea con una ranura en la barra selectora, para que la posición no varíe (y los engranajes de las marchas hagan su función) hasta que el conductor decida cambiar.



Piñón de marcha atrás

Quando se selecciona el piñón de la marcha atrás, este se impone en el tren de engranajes, con el objetivo de invertir el sentido 'normal' al que gira el eje principal.

Piñones

Son ruedas dentadas que corresponden a cada una de las marchas con las que cuenta una caja de cambios. Su tamaño y posición determinan la velocidad a la que girarán y el par motor que transmitirán finalmente al eje o ejes motrices del vehículo.

Eje intermedio

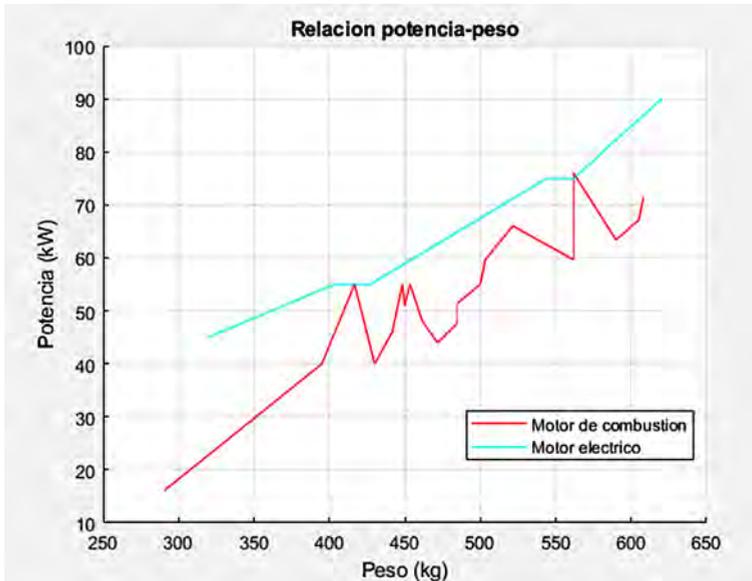
Es el elemento que transmite el movimiento desde el eje de entrada hasta el eje principal.

Fuente: Fersainz, R. (2016). Autobilid.

Para comparar la relación de potencia - peso se tomaron en cuenta datos de motores de combustión interna y motores eléctricos de diferentes pesos y potencias, esto con el fin de que, a gran escala se pueda notar la tendencia que tienen estos dos tipos de motor.

En los motores de combustión interna cabe destacar que al peso inicial del motor hay que sumarle el peso de la caja de cambios y del radiador, al final se tiene que sólo el sistema de propulsión aumenta considerablemente y por ende el peso del vehículo.

Figura 11. Comparación entre motor de combustión y motor eléctrico con respecto a la relación potencia a peso.



Fuente: Autores (2021).

Como se puede apreciar, en primera instancia la relación que tienen los motores de combustión interna es muy variable, y esto se debe a que en estos motores se puede modificar la disposición de los cilindros (en V, L, en oposición, H, entre otras) o la orientación del mismo motor, por lo que se generan cambios en las características del vehículo como por ejemplo la potencia; además 2 motores de combustión interna pueden pesar lo mismo pero el número de cilindros que cada uno tenga también genera cambios en potencia, par, consumo, entre otros.

Por otro lado, la relación en los motores eléctricos es casi lineal, esto ya que como es sabido, no necesitan generar una combustión para su funcionamiento, es decir, no tiene la necesidad de soportar altas presiones para la compresión del combustible y su explosión, por lo que no necesitan ser motores robustos o diseñados con materiales pesados y resistentes. El peso de un vehículo que sea propulsado por un motor eléctrico depende más de las baterías que este requiera que del motor, al aumentar la potencia en el motor, cambiará su dimensión y en proporción su peso, por lo que se verán datos que muestren una tendencia muy definida.

En conclusión, con este gráfico se demuestra que la relación potencia a peso de un motor eléctrico supera, siendo mejor en general, a la relación que puede llegar a tener un motor de combustión interna por todo lo anteriormente explicado.

Eficiencia energética

Por definición y análisis de variables se puede afirmar que un vehículo será más eficiente que el otro, en cuanto menos energía consume para realizar el mismo trabajo.

Hablando de motores como máquinas termodinámicas y de consumo de energía, se puede hacer una relación con la eficiencia energética. Esta es la relación entre la energía útil (o energía obtenida) y la energía consumida (o energía suministrada). También se puede definir como la relación entre el trabajo útil obtenido con el funcionamiento de la máquina y el trabajo consumido por la máquina. Cabe mencionar que, eficiencia y rendimiento son equivalentes. (Baeza, 2012)

Combustibles y autonomía

Los carburantes de origen fósil, como la gasolina y el gasóleo (diésel), tienen una capacidad energética 100 veces superior a la de las baterías de litio que alimentan los coches eléctricos. Gases como el butano y el propano superan a las pilas en 80 veces, y alcoholes como el etanol, en 60. Todos generan emisiones y no pueden ofrecer la potencia ecológica de la electricidad. Pero sí permiten autonomías muy superiores, que es, paradójicamente, el punto flaco de los coches eléctricos. (Baeza, 2012)

A simple vista pareciera indiscutible que los vehículos propulsados por combustibles son superiores a los vehículos eléctricos, pero para evaluar el rendimiento real se debe tener en cuenta qué tanto de esa energía necesita consumir el motor para su funcionamiento y qué tanta energía aprovecha de dicha combustión.

En los motores térmicos la eficiencia energética es la relación entre la energía contenida en el combustible y la energía mecánica ofrecida. Su rendimiento es muy inferior al de los motores eléctricos, ya que la combustión genera mucho calor que no es aprovechable y son necesarias muchas piezas móviles que producen pérdidas por rozamientos. La mayor parte de la energía se pierde en forma de calor, bien a través del radiador,

escape, bloque motor, entre otros. Hay muchas cifras contradictorias en cuanto a sus rendimientos reales en función de las condiciones de estudio y el tipo de motores. En general se estima un límite del 25% para los motores de gasolina y del 30% para los grandes motores diésel. (Rodríguez, 2012)

Por otra parte, el combustible de un automóvil hay que almacenarlo, y el tamaño de los 'recipientes' (depósito o baterías) determina la cantidad de energía que puede albergar un coche. Luego, la autonomía resultará de cómo aproveche el vehículo esa capacidad, en función de su mecánica, peso y aerodinámica.

El hidrógeno, el combustible limpio del futuro (Baeza, 2012), parece prometedor y sobresale por su enorme potencial energético por unidad de masa, porque es el elemento químico más ligero: en estado gaseoso, comprimido a 350 bares de presión, ofrece nada menos que 39.300 Wh/kg, y en estado líquido, 39.000 Wh/kg, pero al almacenarlo en depósitos el panorama cambia radicalmente, por su mínima energía por unidad de volumen: sólo 750 Wh/l en estado gaseoso, aunque en estado líquido gana densidad energética y sube a 2.600 Wh/l, mientras que el gasóleo entrega 10.700 Wh/l.

En la tabla 1 se presentan los valores de poder calorífico de los combustibles más comunes:

Tabla 1. Valores de poder calorífico de combustibles comunes.

Combustible	kJ/g	kcal/g	BTU/lb
Hidrógeno	141.9	33.9	61,000
Gasolina	47.0	11.3	20,000
Diesel	45.0	10.7	19,300
Etanol	29.7	7.1	12,000
Propano	49.9	11.9	21,000
Butano	49.2	11.8	21,200
Madera	15.0	3.6	6,000
Carbón (Lignito)	15.0	4.4	8,000
Carbón (antracita)	27.0	7.8	14,000
Gas natural	54.0	13.0	23,000

Fuente: Rentería, C. (2014). Instituto Tecnológico de Tijuana.

Con la ecuación 2 se puede aproximar la energía que entregan los diferentes tipos de combustible como se presenta a continuación:

Energía en 1 litro de gasolina:

$$47 \left(\frac{kJ}{g} \right) * \left(\frac{1000g}{1 kg} \right) * \left(680 \frac{kg}{m^3} \right) (1x10^{-3}m^3) = \text{Energía (KJ)}$$

$$\text{Energía} = 31960 \text{ kJ} = 31,96 \text{ MJ}$$

Energía en 1 litro de Diesel:

$$45 \left(\frac{kJ}{g} \right) * \left(\frac{1000g}{1 kg} \right) * \left(850 \frac{kg}{m^3} \right) (1x10^{-3}m^3) = \text{Energía (KJ)}$$

$$\text{Energía} = 38250 \text{ kJ} = 38,25 \text{ MJ}$$

Energía en 1 litro de hidrógeno:

$$141,86 \left(\frac{kJ}{g} \right) \left(\frac{1000g}{1 kg} \right) * \left(70,96 \frac{kg}{m^3} \right) (1x10^{-3}m^3) = \text{Energía (KJ)}$$

$$\text{Energía} = 10066 \text{ kJ} = 10,06 \text{ MJ}$$

$$141 \left(\frac{kJ}{g} \right) \left(\frac{1000g}{1 kg} \right) * \left(8,99x10^{25} \frac{kg}{m^3} \right) (1x10^{-3}m^3) = \text{Energía (KJ)}$$

$$\text{Energía} = 10005 \text{ kJ} = 10,00 \text{ MJ}$$

Un ejemplo en el que se puede aplicar esta comparación es en el Renault Fluence, el cual viene en tres versiones (Motor de gasolina, motor diésel y motor eléctrico). En las tablas 2 y 3, se presenta el consumo energético de cada versión y así mismo la equivalencia bajo las mismas unidades para poder generar una comparación exacta y resaltar la autonomía de cada una.

Tabla 2. Consumo energético (en las diferentes unidades).

	Motor Gasolina 1.6 16 v 110 CV	Motor Diesel 1.5 dCi 110 CV	Motor Eléctrico (Z.E)
Renault Fluence	7,6 l/100 km	5,7 l/100 km	14,4 kWh/100km.

Fuente: Motor pasión, (2012).

Tabla 3. Equivalencia bajo las mismas unidades (MJ/100 Km).

	Motor Gasolina 1.6 16 v 110 CV	Motor Diesel 1.5 dCi 110 CV	Motor Eléctrico (Z.E)
Renault Fluence	242,896MJ/100 km	218,025 MJ/100 km	51,84 MJ/100 km

Fuente: Motor pasión (2012).

Despliegue de la función calidad (QFD)

Se implementó el QFD, este método permite identificar necesidades, priorizar y focalizar recursos humanos y materiales (Ashby 2015); en esta investigación en particular se compararon las alternativas de motor que permite la competencia Shell Eco-marathon y se pudo justificar la elección final.

Requerimientos del cliente

Para el QFD se identificaron los requerimientos del reglamento de la competencia asumiéndolos como los del cliente (ver Tabla 4), se tiene entonces: Funcional, requerimientos que permiten hacer cambios en aspectos mecánicos propios del motor, Físico, requerimiento relacionados con el peso del sistema, Ergonomía, en cuanto a la mínima manipulación o modificación del tren motriz y a la simplicidad del mismo, Confiabilidad, requerimientos en función de la probabilidad de que los componentes no fallen en servicio y Económicos, requerimientos en cuanto a la relevancia económica de la decisión en el proceso de diseño. Como resultado, se exponen trece requerimientos los cuales abarcan todos los aspectos del reglamento.

Tabla 4. Requerimientos del cliente.

Clasificación	Requerimientos del cliente (RC)		%
Funcional	1	Menor consumo de energía	11,54%
	2	Mejor relación potencia a peso	10,26%
	3	Par máximo a menor rpm	7,69%
	4	Mayor potencia a menor rpm	7,69%
Físico	5	Que pese poco	10,26%
	6	Menor cantidad de componentes	10,26%
Ergonómicos	7	Autonomía que entrega	6,41%
	8	Fácil acceso a cada componente	3,85%
Confiabilidad	9	Menor riesgo físico químico	5,13%
	10	Vida útil prolongada	7,69%
	11	Fácil mantenimiento	6,41%
Económicos	12	Piezas y referencias asequibles en el país	5,13%
	13	Buena relación costo/beneficio	7,69%

Fuente: Autores del proyecto (2021).

Los trece requerimientos expuestos se enfrentan en una matriz de ponderación (ver Tabla 5), para determinar cuales tienen más relación entre sí y al final conocer el orden de relevancia de cada uno en función del porcentaje obtenido.

Tabla 5. Matriz de ponderación para los requerimientos del cliente.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	Ponderado	%
1	-	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	9	0,115385	11,54%
2	1	-	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	8	0,102564	10,26%
3	1	1	-	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	6	0,076923	7,69%
4	1	1	1	-	1	0	0	0	0	0	0	1	1	6	0,076923	7,69%
5	1	1	1	1	-	1	1	0	0	0	0	1	1	8	0,102564	10,26%
6	0	1	0	0	1	-	1	1	0	1	1	1	1	8	0,102564	10,26%
7	1	0	1	1	0	0	-	1	0	0	0	1	0	5	0,064103	6,41%
8	0	0	0	0	0	1	0	-	0	0	1	1	0	3	0,038462	3,85%
9	1	0	0	0	0	0	0	1	-	1	1	0	0	4	0,051282	5,13%
10	1	0	1	1	1	0	0	0	0	-	1	1	0	6	0,076923	7,69%
11	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	-	1	0	5	0,064103	6,41%
12	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	-	1	4	0,051282	5,13%
13	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	-	6	0,076923	7,69%
											Total			156	1,000000	100,00%

Fuente: Autores (2021).

Requerimientos del diseño

Se identificaron los requerimientos de diseño y se clasificaron así: Dimensiones puesto que es el aspecto en el cual se centra este proyecto, Montaje porque es una competencia en otro país por lo que la facilidad de ensamble y montaje es primordial y Numero de componentes puesto que tiene una relación en diseño y costos, como resultado de esto se exponen seis requerimientos los cuales abarcan todos los aspectos ingenieriles (ver tabla 6).

Tabla 6. Requerimientos de diseño.

Clasificación	Requerimientos de diseño (RD)		%
Dimensiones	1	Masa que desplazar	30,00%
	2	Área en el vehículo	15,00%
Montaje	3	Facilidad de ensamble	10,00%
	4	Fácil montaje en cualquier lugar	12,00%
Número de componentes	5	Fijos	18,00%
	6	Adaptables	15,00%

Fuente: Autores (2021).

Luego de generar los porcentajes a fin de conocer la relevancia de cada uno se procede a enfrentar los requerimientos del cliente con los de diseño como se muestra en la tabla 7.

La relación se evalúa entre 1 y 9, así: 9 = altamente relacionado; 3 = Relacionado y 1 = Baja relación.

Tabla 7. Matriz de requerimientos de diseño.

Matriz Requerimientos de diseño						
RC \ RD	1	2	3	4	5	6
1	9 1,038	1 0,115	1 0,115	1 0,115	1 0,115	1 0,115
2	9 0,923	1 0,103	1 0,103	1 0,103	9 0,923	9 0,923
3	9 0,692	1 0,077	1 0,077	1 0,077	1 0,077	1 0,077
4	9 0,692	1 0,077	1 0,077	3 0,231	1 0,077	1 0,077
5	9 0,923	9 0,923	1 0,103	1 0,103	9 0,923	9 0,923
6	9 0,923	9 0,923	9 0,923	9 0,923	9 0,923	9 0,923
7	3 0,192	1 0,064	1 0,064	1 0,064	1 0,064	1 0,064
8	1 0,038	9 0,346	9 0,346	9 0,346	9 0,346	9 0,346
9	1 0,051	1 0,051	9 0,462	9 0,462	1 0,051	1 0,051
10	1 0,077	1 0,077	9 0,692	9 0,692	9 0,692	9 0,692
11	1 0,064	3 0,192	9 0,577	9 0,577	9 0,577	9 0,577
12	3 0,154	1 0,051	9 0,462	9 0,462	9 0,462	9 0,462
13	9 0,692	3 0,231	9 0,692	9 0,692	9 0,692	9 0,692
TOTAL	6,46	3,23	4,69	4,85	5,92	5,92

Fuente: Autores (2021).

Matriz de comparación

A partir de la matriz de requerimientos de diseño se procede a evaluar cada motor en función de su relación con cada aspecto expuesto anteriormente (ver tabla 8), en una calificación de 1 a 5 según el grado de satisfacción como se ve a continuación:

Tabla 8. Matriz comparación requerimientos de diseño.

Matriz Requerimientos de diseño							Hidrogeno					Motor Elctrico					Combusion					
RC \ RD	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	9	0,1038	0,1115	0,1115	0,1115	0,1115																
2	9	0,923	0,103	0,103	0,103	0,923																
3	9	0,692	0,077	0,077	0,077	0,077																
4	9	0,692	0,077	0,077	0,231	0,077																
5	9	0,923	0,923	0,103	0,103	0,923																
6	9	0,923	0,923	0,923	0,923	0,923																
7	3	0,192	0,064	0,064	0,064	0,064																
8	1	0,038	0,346	0,346	0,346	0,346																
9	1	0,051	0,051	0,462	0,462	0,051																
10	1	0,077	0,077	0,692	0,692	0,692																
11	1	0,064	0,192	0,577	0,577	0,577																
12	3	0,154	0,051	0,462	0,462	0,462																
13	9	0,692	0,231	0,692	0,692	0,692																
TOTAL	6,46	3,23	4,69	4,85	5,92	5,92																

Fuente: Autores del proyecto (2021).

Tabla 9. Relaciones y grado de satisfacción.

Relaciones	9	Altamente relacionado
	3	Relacionado
	1	Baja relación
Grado de satisfacción	1	No satisface
	2	Satisface no completamente
	3	Satisface aceptablemente
	4	Satisface bien
	5	Satisface completamente

Fuente: Autores del proyecto (2021).

Consideraciones finales

A partir de los resultados presentados, se puede afirmar que al peso inicial del motor de combustión hay que sumarle el peso de un sistema de refrigeración y se requiere una caja de velocidades para maximizar el torque, en comparación con un motor eléctrico que tiene no necesita estos componentes.

Además, aunque el hidrogeno es el combustible con mayor poder calorífico, no es el combustible que mayor energía puede entregar puesto que se necesita almacenar y pierde sus propiedades en función del volumen.

Por otro lado, en la realización del QFD se evalúan todos los factores del motor que afectan tanto los requerimientos de la competencia como los requerimientos de diseño y se justifica la mejor opción para el vehículo, esto a fin de poder generar una elección justificada en cada aspecto investigado.

Este proyecto tiene elementos investigativos que permiten motivar a otros estudiantes a indagar en la generación de una movilidad sostenible con un desarrollo eficiente en la forma de transportarse, puesto que proyecta factores como planeación, diseño y desarrollo, entre otros, los cuales son de alta importancia en el desarrollo de proyectos en general.

Esta investigación aporta un avance significativo en la construcción y diseño del tren motriz, en tanto permite centrar el sistema sobre una propulsión específica y poder generar los respectivos cálculos y elecciones adicionales.

Referencias

Ashby, M.F. (2005) *Materials Selection in Mechanical Design*. Oxford. Elsevier.

Álvarez, A. Davo, R. (2015). Tipos de vehículos: combustión interna, eléctrico, híbrido. Universidad de Málaga. <https://enchufatealcampus.wordpress.com/2015/02/03/tipos-de-vehiculos-combustion-interna-electrico-hibrido/>

Baeza, M. (2012). Los combustibles más energéticos. *Blog el país, coche eléctrico*. <https://blogs.elpais.com/coche-electrico/2012/12/los-combustibles-mas-energeticos.html>

Fidalgo, R. (2018). Sabías que el motor del chiron pesa lo mismo que un caballo de carearas. *Autocasión*. <https://www.autocasion.com/actualidad/noticias/cuanto-pesa-el-motor-del-bugatti-chiron>

Ibañez. (2019). Así funciona el Koenigsegg Regenera sin caja de cambios. *motorpasión*. <https://www.motorpasion.com/tecnologia/asi-funciona-el-koenigsegg-regera-sin-caja-de-cambios>

Ibañez. (2012). Hablemos de eficiencia: coche de combustión vs coche eléctrico. *motorpasión*. <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/hablemos-de-eficiencia-coche-de-combustion-vs-coche-electrico>

- López, redondo, N. (2019). Este es el prototipo eléctrico alicantino que ha ganado el Shell Eco-Marathon 2019. *movilidad eléctrica.com*. <https://movilidadelectrica.com/este-es-el-prototipo-electrico-alicantino-que-ha-ganado-el-shell-eco-marathon-2019/>
- Omicrono el español. (2019). El gran problema de los coches eléctricos: los propios conductores. *El Español*. https://www.elespanol.com/omicrono/20190801/gran-problema-coches-electricos-propios-conductores/418208474_0.html
- Da Silva, M. et al. (2021). Optimal control of battery electric vehicle in energy efficiency competitions. National congress of mechanical engineering. Curitiba, Brazil. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/profile/Michael_Barbosa2/publication/349620359_Optimal_Control_of_Battery_Electric_Vehicle_in_Energy_Efficiency_Competitions/links/6056cc41458515e8345cf45f/Optimal-Control-of-Battery-Electric-Vehicle-in-Energy-Efficiency-Competitions.pdf
- Rodríguez, B. (2012). Motor eléctrico versus motor de combustión: par, potencia y eficiencia. *Foro coches eléctricos*. <https://forococheselectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>
- Saffar, A. Duwail, A. Laradji, M. (2017). *Shell Eco-marathon project senior final report*. University of Colorado.
- Sapag, N. Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Quinta edición. Escuela colombiana de ingeniería, MC Graw Hill. Bogotá, Colombia.
- Shell Eco-marathon. (2020). Rules and information for students' teams. Make the future. de: <https://www.shell.com/make-the-future/shell-ecomarathon.html>

12

Las cartas interactivas para restaurantes como alternativa innovadora en época de pandemia

Inglemar Leonardo Aguilar Jaramillo

Estudiante de pregrado. Programa de Ingeniería Sistemas. Semillero TI, grupo de Investigación KIBERNETICS. Universidad Libre, Seccional Barranquilla, Inglemarl-aguilari@unilibre.edu.co

David Javier Atencia Domingo

Estudiante de pregrado. Programa de Ingeniería Sistemas. Semillero TI, grupo de Investigación KIBERNETICS. Universidad Libre, Seccional Barranquilla, davidj-atenciad@unilibre.edu.co

Bryan Andrés Lindo Del Castillo

Estudiante de pregrado. Programa de Ingeniería Sistemas. Semillero TI, grupo de Investigación KIBERNETICS. Universidad Libre, Seccional Barranquilla, bryana.lindod@unilibre.edu.co

Gianluigi García Herrera

Estudiante de pregrado. Programa de Ingeniería Sistemas. Semillero TI, grupo de Investigación KIBERNETICS. Universidad Libre, Seccional Barranquilla, gianluigi-garciah@unilibre.edu.co

Diana Milena Suarez López

Ingeniera de Sistemas. Magister en Administración de Empresas e Innovación, directora del semillero TI, grupo de Investigación KIBERNETICS, Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería de Sistemas. dianam.suarezl@unilibre.edu.co



Introducción

En Colombia existe el clúster gastronómico que agrupa los diferentes negocios que brindan servicios de comidas entre los cuales se encuentran las panaderías, elaboración de comidas y platos preparados, expendio a la mesa de comidas preparadas entre otros; en ese sentido, el negocio de restaurantes ocupa el cuarto lugar (Hernández, 2017) dentro de las actividades económicas en todo el territorio colombiano. De acuerdo con la cámara de comercio en Barranquilla hay un restaurante por cada 193, lo cual equivale a unos 3.600 establecimientos de comida distribuidos en medianas, pequeñas y microempresas; con la reactivación gradual de este sector en el segundo semestre del 2020 se vendieron más de 3.221 platos preparados (La Libertad, 2020).

Para el año 2020, el sector gastronómico mantenía un pronóstico de crecimiento del 3,5% debido a un desempeño favorable de la demanda interna impulsada por un mayor dinamismo en el consumo de los hogares, y a un mejor comportamiento en la inversión (Davila, 2020). Así mismo se identificaron cuatro retos claves a los cuales el sector gastronómico se enfrentaría para el año 2020 los cuales son:

- a. **Tecnología:** juega un papel importante en la vida de las personas, por tanto, es una buena oportunidad adentrarse en este campo para optimizar los tiempos de compras y mejorar la experiencia de los usuarios en los restaurantes (Erika, 2020).
- b. **Ventas en línea:** con el creciente uso de aplicaciones, las personas han cambiado su forma habitual de comprar, optando por el mercado en línea. Por esto, los restaurantes deben adaptar su capacidad de dar respuestas a los consumidores digitales (Echeverri & Garcia, 2015).
- c. **Métodos de transporte y almacenamiento:** Es necesario implementar medios de transporte y almacenamiento que resguarden los productos, evitando la formación de microorganismos ajenos (Winterhalter, 2019).
- d. **Servicios a domicilio:** Este servicio ha tenido una apertura importante en los últimos años, por lo cual, han surgido diversas aplicaciones móviles que permiten a los usuarios ordenar desde la comodidad de su hogar u oficina. Según el diario Portafolio durante el 2020 en Colombia el 45% de servicios de comida fueron a domicilio (Pérez, 2021).

Los negocios, en este caso los restaurantes, se ven enfrentados a grandes retos; los administradores deben tener tiempo, paciencia y organización, siendo esta última catalogada como la clave principal para el éxito de cualquier negocio. (Pacheco & Conde, 2020), Los emprendimientos en el sector gastronómico tienden a fracasar por no poseer una organización sólida con cada uno de los procedimientos que se desarrollan y un plan de emergencia claro y eficaz en situaciones como el Covid-19. La pandemia evidenció la falta de planes de contingencia en circunstancias críticas, este sector no estaba preparado para hacerle frente a una situación tan compleja como esta, en consecuencia, muchos establecimientos cerraron definitivamente sus puertas y algunos optaron por reinventarse ya que las pérdidas económicas eran bastante significativas (Gómez, 2020).

Cadenas de comidas rápidas como McDonald's han implementado en algunos países, pantallas táctiles para que las personas realicen su pedido en cualquiera de las estaciones, facilitando un dispositivo que permite obtener la ubicación digital dentro del establecimiento; una vez lista la orden, esta tecnología sirve de guía para el mesero y este podrá hacer entrega del pedido de manera oportuna (Strom, 2016). De igual manera, Burger King cuenta con menús digitales, para el caso de España, tiene una cobertura del 100% en todos sus restaurantes.

Las pantallas digitales muestran las ofertas y promociones del momento, además esta compañía, comenzó a introducir hace aproximadamente un año los kioscos de pedidos: pantallas táctiles de gran tamaño que le dan la oportunidad al cliente de hacer su pedido de forma independiente e inclusive, pagar. De tal manera que, se reducen las filas al momento de hacer el pago en la caja, lo cual de cierta manera representa un apoyo para los cajeros y reducir las aglomeraciones (Jutse, 2018).

La transformación por la pandemia ha permitido la implementación y adaptación de nuevas tecnologías en los restaurantes como medida para evitar el contacto físico entre los clientes y los empleados. De acuerdo con Guillermo Henríquez Gómez, presidente de la Asociación Colombiana de la Industria Gastronómica (Acodres), cada restaurante es libre de implementar el sistema que se adapte a sus necesidades, para evitar el contacto con la carta; ya sea por medio de un código QR, una pantalla o entregar el menú vía WhatsApp necesidades (Portafolio, 2020).

Aunque por el momento no hay cifras de cuántos establecimientos han hecho esta adopción, Redeban en el año 2020 hizo una inversión que supera

los 80.000 dólares en un piloto que se implementará en 22 locales de Bogotá y en los que espera minimizar el contacto físico para garantizar el distanciamiento social y evitar el flujo de dinero en efectivo, en sus metas estaba cerrar el año 2020 con al menos 100 restaurantes y bares de toda Colombia para así poder ayudar con la reactivación de los comercios (Vargas, 2020).

Bavaria (2020) desarrolló una solución tecnológica llamada Menú Digital, la cual permite a los bares y restaurantes ingresar de manera gratuita al sitio web menú digital, colgar su menú y crear un link que permite visualizarlo de forma online. Al mismo tiempo, generar un código QR que puede ser publicado en sus redes sociales para que, en caso de contar con domicilios, los usuarios puedan escanearlo, conocer todos los platos y luego, hacer sus pedidos a través de los canales habilitados por el lugar. De igual forma, en el momento de la reapertura, los restaurantes como también los bares podrán ubicar este código QR en la entrada de los establecimientos y mesas a fin de que los clientes eviten tocar la mayor cantidad de superficies posibles durante su visita; pues el consumidor solo deberá escanear el código con su teléfono móvil y revisar el menú del lugar.

El Covid-19, ha modificado el comportamiento de las personas por esta razón el gobierno colombiano ha establecido una serie de protocolos y estrategias para reactivar el comercio (Ministerio de salud y protección social, 2020). Cabe señalar que, en las ciudades, los restaurantes abrieron sus puertas desde finales de agosto de 2020, y las alcaldías reiteraron el compromiso que deben ejercer tanto los empleados y dueños de los establecimientos, como la misma ciudadanía, para reducir los riesgos de contagio (Melgarejo, 2020).

Debido a la apertura de los restaurantes, el gobierno exige que todo procedimiento de servicio al cliente se realice con los protocolos de salud elementales, tales como: garantizar la protección permanente de los alimentos durante la exhibición, realizar la limpieza y desinfección de cualquier superficie que haya podido ser utilizada por los clientes y respetar al máximo la capacidad prevista del espacio para atender los compradores (Invima, 2020). En cuanto a los consumidores, se les recomienda, reservar una mesa antes de llegar al lugar, realizar los pagos por medios electrónicos, evitar el uso de efectivo, mantener el distanciamiento físico entre otros clientes y colaboradores (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020).

Teniendo en cuenta la situación descrita se plantea una solución a la problemática ocasionada por la crisis sanitaria que afecta principalmente a

los restaurantes de Colombia. Con este proyecto se busca el bienestar de los comensales y el personal de servicio de los restaurantes mediante herramientas tecnológicas, ya que en la actualidad diversos restaurantes cuentan con servicio de Wifi gratuito y accesible a cualquier cliente, por lo que el uso de una aplicación facilita la interacción con el cliente y del establecimiento; teniendo como valor agregado que el aplicativo facilita la gestión del pedido en su totalidad, para reducir el contacto físico y minimizar los riesgos de contraer el Covid-19.

Algunos restaurantes utilizan cartas digitales que permiten que el cliente escanee un código QR que permite visualizar una carta en formato PDF. Este prototipo, permite al administrador realizar acciones básicas como crear, editar y eliminar platos, así mismo, la capacidad de visualizar los pedidos solicitados, en curso y finalizados de forma ágil y eficaz. Por otro lado, el cliente mediante su dispositivo móvil puede visualizar el menú formulado por el administrador, escaneando un código QR asignando de forma automática la mesa, también podrá seleccionar los platos que desea agregar al carrito, realizar el pedido y evaluar su experiencia calificando al finalizar el pedido.

Materiales y métodos

La metodología implementada está enfocada al desarrollo de prototipos, para su implementación se definieron las siguientes fases:

- a. *Definición de requerimientos* (Bárcena, Cimoli, Buchaca, & Pérez, 2020): se realizaron las reuniones pertinentes con todos los miembros del proyecto para determinar las fases de desarrollo y las tecnologías a utilizar en un plan que ayude a sobrellevar la crisis de los restaurantes.

Se definieron los requisitos del proyecto según la siguiente clasificación:

- Requisitos funcionales y no funcionales.
- Requisitos del usuario y del sistema.
- Requisitos normales, esperados y emocionales.

Diseño de la solución: Para el diagramado de la solución del problema se utilizó el Lenguaje Unificado de Modelado (*Unified Modeling Language, UML*), de igual forma, durante este proceso se definieron los siguientes puntos:

- Sector a abordar.

- Nombre y enfoque del proyecto.
- Tecnologías utilizadas.
- Experiencia de usuario.

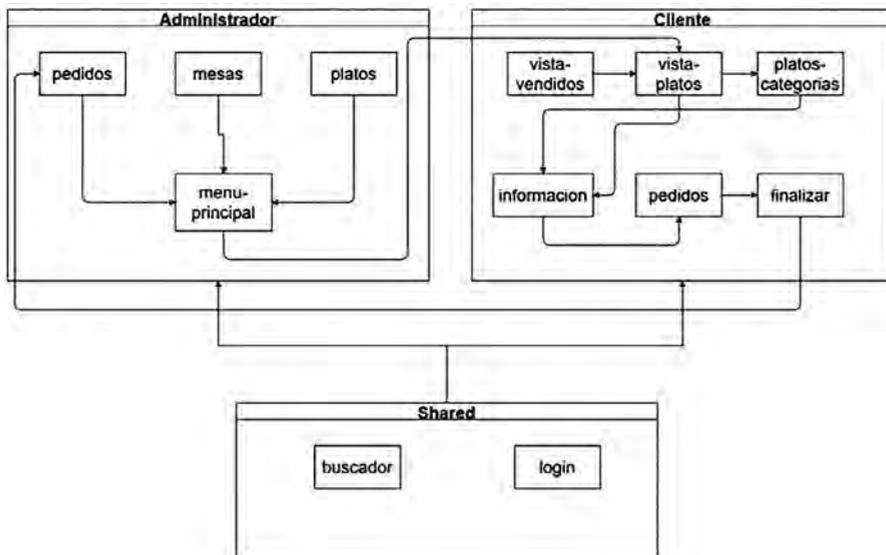
b. *Desarrollo y Pruebas*: se definieron dos tipos de pruebas (Sánchez, 2015)

- *Prueba de Caja Negra*: En la cual se concertaron las entradas y salidas del sistema, sin embargo, durante este proceso de testeo, los participantes no precisaban conocer los detalles internos del funcionamiento. Con la aplicación de esta prueba se realizaron las pertinentes correcciones del sistema, con el fin de comprobar nuevamente el correcto funcionamiento del aplicativo según los requisitos.
- *Prueba de Caja Blanca*: Esta prueba fue enfocada en las funciones internas del aplicativo, donde se comprobó cada uno de los posibles flujos de ejecución del programa, según los diferentes datos de entradas al sistema.

c. *Instalación*

En la Figura 1 se muestran los módulos y flujo de datos de la aplicación.

Figura 1. Módulos y flujo de datos de la aplicación.



Fuente: Autores (2021).

El sistema del proyecto se desarrolló a partir de dos módulos principales conectados entre sí:

- a) El módulo del administrador contiene las opciones para añadir, como también modificar los platos del menú, establecer los platos visibles para los clientes, confirmando y finalizando un pedido.
- b) El módulo del cliente contiene las opciones para visualizar los platos, clasificarlos por categorías, seleccionar el menú y la cantidad que desea llevar en su plato, también la posibilidad de realizar un nuevo pedido, y valorar el servicio prestado por el restaurante.

Este aplicativo fue probado simulando una situación con datos reales en un restaurante, en esta prueba se obtuvieron resultados favorables para el proyecto, evidenciando la automatización de la información en tiempo real, tanto del lado del cliente como del administrador.

Resultados

Las tecnologías utilizadas para la resolución del presente proyecto fueron las siguientes: la base de datos está desarrollada con MySQL Community Edition, ya que se encuentra disponible bajo la licencia GPL y cuenta con gran respaldo en todo el mundo (MySQL AB, s.f.).

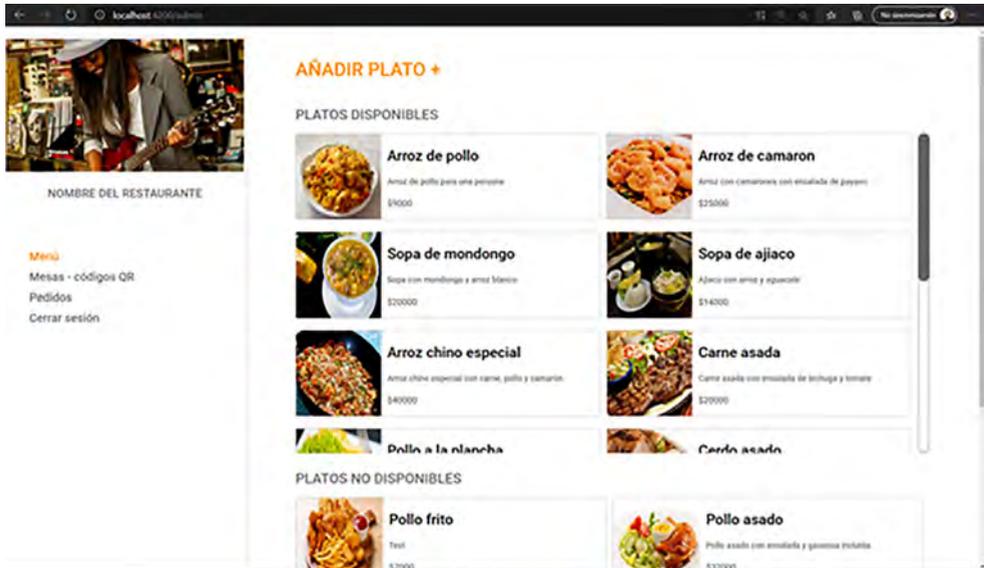
La conexión a la aplicación se realizó mediante una REST-API creada con NodeJS Express, la cual se integró con las herramientas de Google Cloud Plataform como Cloud SQL y Cloud Run que permite desplegar las aplicaciones en contenedores de alta escalabilidad en una plataforma sin servidor totalmente gestionada (Google, s.f.).

El Front-end del proyecto se realizó con el framework Angular en su versión 9, y para el sistema de control de versiones del proyecto se utilizó GIT con un repositorio alojado en Github.

Para probar el funcionamiento del prototipo se contó con el apoyo de una microempresa que no contaba con el presupuesto para mantener la nómina de los empleados; se obtuvieron los siguientes resultados.

En la Figura 2 se muestra cómo la aplicación permite al restaurante la administración de los platos ofreciendo diferentes opciones a los clientes.

Figura 2. Ambiente del aplicativo para la administración de los platos. Captura de pantalla.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se presenta una captura real de como el cliente de un restaurante vería los platos ofertados por este, ya sea listados aleatoriamente o por categorías.

Figura 3. Menú principal de la aplicación en el modo cliente.

Fuente: Autores (2021).-



En la Figura 4, se expone una captura real de lo que el cliente de un restaurante vería al seleccionar un plato.

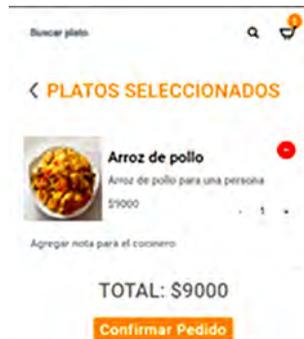
Figura 4. Descripción del plato al seleccionarlo.



Fuente: Autores (2021).

En la Figura 5 se muestra una captura de pantalla del aplicativo de como el cliente visualiza el carrito de compras.

Figura 5. Carrito de compras con los platos agregados.



Fuente: Autores (2021).

En la Figura 6 se visualiza una captura real de como el cliente de un restaurante visualiza la pantalla al finalizar el pedido satisfactoriamente.

Figura 6. Mensaje que aparece después de que el pedido ha sido confirmado por el administrador.

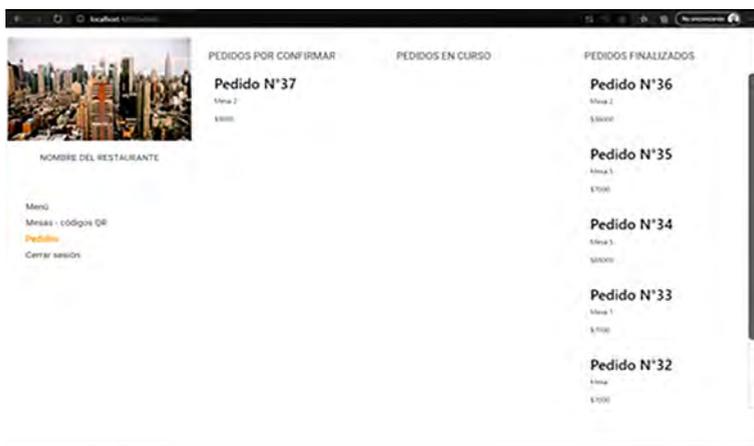


Fuente: Autores (2021).

En la Figura 7, se muestra una captura de pantalla real de como el administrador de un restaurante visualiza los pedidos previamente realizados por los clientes, estos pedidos estarían ordenados en 3 columnas:

- Por confirmar.
- En curso.
- Finalizados.

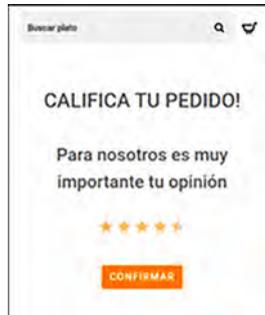
Figura 7. Administración de pedidos realizados por los clientes.



Fuente: Autores (2021).

Así mismo en la Figura 8 se evidencia una captura real de como el cliente de un restaurante visualiza la pantalla al haber pagado, pantalla en la que podrá evaluar la experiencia con el restaurante.

Figura 8. Calificación del pedido.



Fuente: Autores (2021).

Finalmente, en la Figura 9 se visualiza una pantalla el administrador del restaurante puede ver la descripción dada por un cliente en su pedido (Nombre del plato, precio, cantidad de platos y un total).

Figura 9. Información del pedido realizado por el cliente.



Fuente: Autores (2021).

Consideraciones finales

Hoy en día, las tecnologías de hardware y software permiten el desarrollo de soluciones innovadoras a muy bajo costo, esto ofrece una ventaja porque los propietarios de los restaurantes pueden adquirir la aplicación para gestionar los procesos y brindar una mejor atención a sus clientes.

Se logró desarrollar un aplicativo, el cual permitió brindar soluciones tecnológicas a los pedidos que realizan los comensales en los restaurantes, teniendo como aspecto positivo que la mayoría de estos cuentan con servicio de WIFI gratuito, por lo que el cliente simplemente podrá conectarse a internet, escanear el código QR y sin necesidad de instalar ninguna aplicación, acceder e interactuar fácilmente con el menú del restaurante. El manejo de este aplicativo pretende gestionar todo el pedido desde la web (vista de la carta, hacer un pedido, calificar un pedido y pagar un pedido), lo que al final se traduce en un menor contacto físico con otra persona y de esta manera prevenir el contagio de Covid-19.

El software utilizado, permite mejorar la experiencia del cliente con los menús ofrecidos por el restaurante, como también la experiencia del administrador al tener una herramienta que le permite seguir circulando los platos de comida sin transgredir las normas de bioseguridad y a la vez promover una estrategia publicitaria que contribuya a mejorar la economía de la empresa.

Referencias

- Bárcena, A., Cimoli, M., Buchaca, R., & Pérez, R. (2020). Informe sobre el impacto económico en América Latina y el Caribe de la enfermedad por coronavirus (COVID-19). Comisión Económica para América Latina (CEPAL). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45602/1/S2000313_es.pdf
- Bavaria. (2020) Menú digital: la nueva solución tecnológica de Bavaria para bares y restaurantes durante la emergencia sanitaria <https://www.bavaria.co/menu-digital-ayuda-a-la-carta-bavaria>
- River, D.A. (2020, enero 22). Los retos del 2020 para el sector gastronómico. La Nación. <https://www.lanacion.com.co/los-retos-del-2020-para-el-sector-gastronomico/>

- Echeverri, A. & Garcia, N. (2015). Canales de ventas por internet de las compañías en Colombia "establecimientos de comidas rápidas. [Tesis de grado Universidad Icesi. Santiago de Cali] Archivo digital. https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/79080/1/TG01157.pdf
- Erika. (2020, junio 9). Tendencias en nuevas tecnologías para restaurantes. Escuela de Marketing Gastronómico. <https://escuelamarketinggastronomico.net/tendencias-en-nuevas-tecnologias-para-restaurantes/>
- Gómez. (2020, mayo 2). Comer entre mamparas, controles de temperatura y menús en el móvil: las ideas que un hostelero está poniendo en marcha en su restaurante para la reapertura. Business Insider de <https://www.businessinsider.es/medidas-reapertura-restaurantes-comer-mamparas-631979>
- Google. (s.f.). Google Cloud. (Alphabet Inc.) <https://cloud.google.com/run?hl=es#section-1>
- Hernández, R. L. (2017). En Barranquilla hay un restaurante por cada 193 hogares *El Heraldo* <https://www.elheraldo.co/economia/en-barranquilla-hay-un-restaurante-por-cada-193-hogares-268192>.
- Invima. (2020). Medidas para restaurantes y plazoletas de comida enfocadas a la reducción del riesgo de contagio por covid-19 en Colombia.
- Juste, M.. (2018, marzo 16). Burger King España es un ejemplo de innovación en Europa. *Expansión*. <https://www.expansion.com/economia-digital/protagonistas/2018/03/16/5aa955c9e2704eb2348b4591.html>
- La Libertad (2020, septiembre 2). Más de 8 mil empleos ha jalonado el sector de restaurantes en Barranquilla. *La libertad*. <https://diariolalibertad.com/sitio/2020/09/02/mas-de-8-mil-empleos-nuevos-ha-jalonado-el-sector-de-restaurantes-en-barranquilla-2/>
- Melgarejo. (2020, agosto 25). Restaurantes en Bogotá podrán abrir de jueves a domingo. *El Tiempo*.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). Establecimientos de alimentos, bebidas y medicamentos con lineamientos por COVID-19. Bogotá.

- Ministerio de Salud y Protección Social. (2020). Resolución número 0000749. MySQL AB. (s.f.). MySQL. Obtenido de <https://www.mysql.com/products/community/>
- Pacheco, & Conde. (2020). Retos y oportunidades para el sector gastronómico: un llamado para reinventar su modelo de negocio.
- Pérez. (2021, enero 2021). En 2020, el 45% de servicios de comida fueron domicilios. Portafolio <https://www.portafolio.co/economia/aplicaciones-rappi-o-ifood-en-2020-el-45-por-ciento-de-servicios-de-comida-fueron-domicilios-548413>
- Portafolio. (2020, octubre 29). Pandemia acelera el uso de los códigos QR en la economía. Portafolio. <https://www.portafolio.co/economia/pandemia-acelera-el-uso-de-los-codigos-qr-en-el-comercio-546185>
- Revista la Barra. (2019). Campesinos, un modelo que rompe paradigmas. LA BARRA: La comunidad de negocios para restaurantes, hoteles y clubes(115), 10-12. <https://www.revistalabarra.com/ediciones/ed-115-campesinos-un-modelo-que-rompe-paradigmas/campesinos-un-modelo-que-rompe-paradigmas/>
- Sánchez. (2015). Pruebas de Software. Fundamentos y Técnicas. Madrid: universidad politécnica de madrid.
- Strom, S. (2016, noviembre 17). McDonald's Introduces Screen Ordering and Table Service. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2016/11/18/business/mcdonalds-introduces-screen-ordering-and-table-service.html>
- Vargas, P. (2020, octubre 22). Redeban lanzó el producto 'QR a la Mesa' tras llevar a cabo una inversión de US\$80.000. La Republica. <https://www.larepublica.co/finanzas/redeban-lanzo-el-producto-qr-a-la-mesa-tras-llevar-a-cabo-una-inversion-de-us80000-3077905#:~:text=Para%20contribuir%20a%20la%20reactivaci%C3%B3n,el%20pago%20desde%20el%20celular>
- Winterhalter. (2019, diciembre 9). Retos para el sector horeca en el 2020. (Winterhalter Ltd.) <https://www.winterhalter.com/mx-es/blog-winterhalter/retos-para-el-sector-horeca-en-el-2020/>

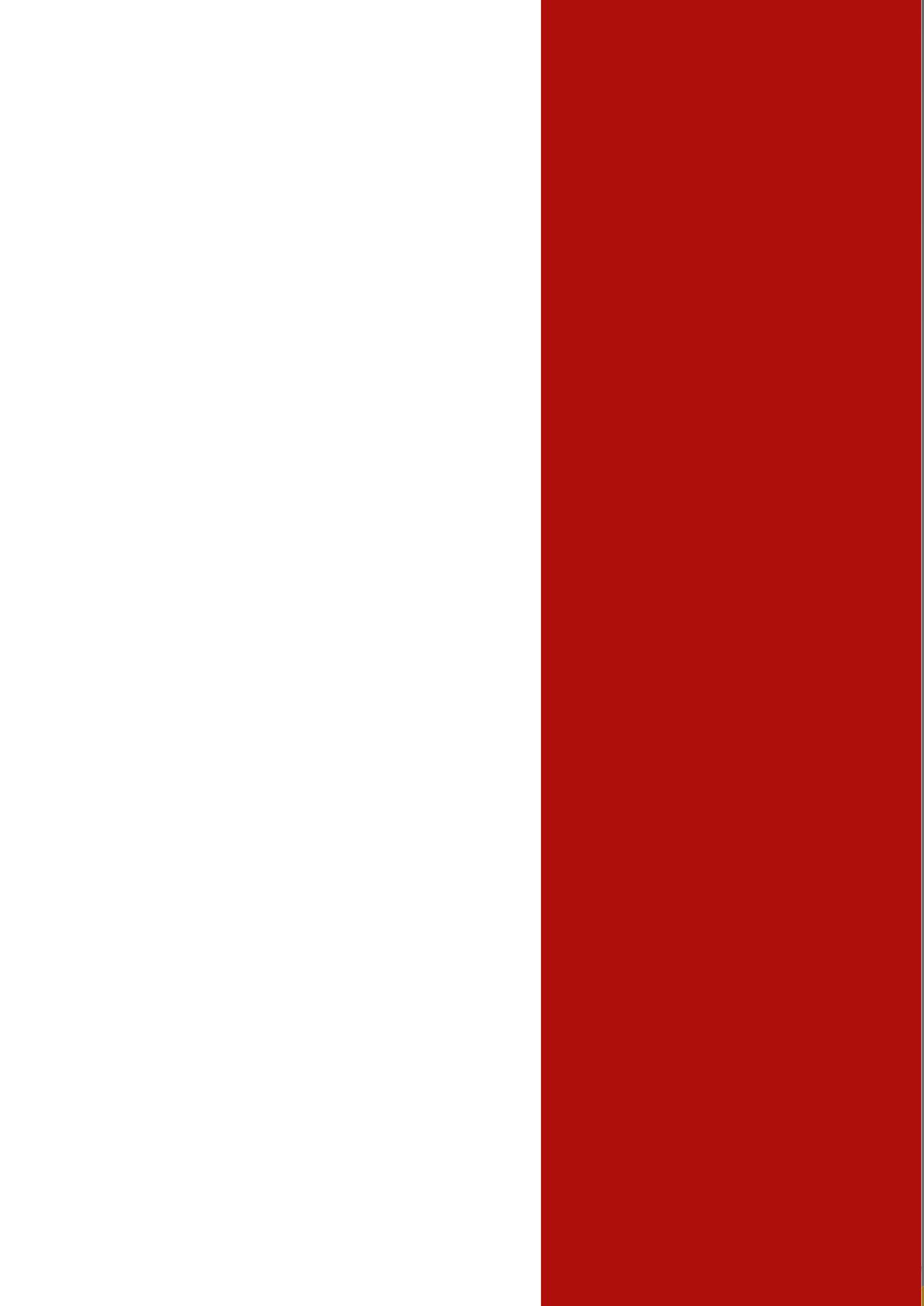
Sentidos y perspectivas de la investigación formativa en tiempos de pandemia:
caso ingeniería

Se terminó de producir en noviembre de 2022.

Para su elaboración se utilizó papel bond de 90 gramos en páginas interiores
y papel propalcote de 300 gramos para la carátula.

Las fuentes tipográficas empleadas son Nunito Sans 10,5 puntos en texto corrido,
Nunito Sans (Bold) 13 puntos en títulos y Nunito Sans (ExtraBold) 24 puntos en capítulos.







**UNIVERSIDAD
LIBRE®**
Vigilada Mineducación

En los años 2020 y 2021 el mundo enfrentó una situación inesperada; una pandemia que azotó a la población mundial y aún permanece, obligó a asumir nuevas formas de educación, de vida social y económica. La educación se vivió en confinamientos totales o parciales durante este largo período.

Para la educación superior los confinamientos totales, las cuarentenas, la alternancia y otras estrategias derivadas del cuidado de la salud, interrumpieron en lo cotidiano y la incertidumbre se apoderó de las actividades escolares, convirtiendo las otrora clases presenciales en clases on line. Esto generó nuevas dinámicas de socialización y de enseñanza aprendizaje que sin duda tienen costos y retos, hoy y a futuro. Los intercambios presenciales, el trabajo colaborativo, la investigación, los procesos de evaluación son actividades que de una u otra manera se han desarrollado en escenarios diferentes, con mediaciones y herramientas variadas y diversas.

Concretamente en el campo de la formación y de la investigación, la exigencia del uso de la modalidad virtual también debió responder a una necesidad inmediata; en aras de cumplir con metas y objetivos trazados con antelación, por lo que fue necesario recurrir al uso de esta mediación virtual para establecer comunicación y continuar con los procesos de cierre de proyectos y escritura de informes; algunos investigadores en formación enfrentaron obstáculos y retos y otros lograron aprendizajes y mejoras en sus actividades.



Es importante resaltar que este libro fue el resultado del encuentro de semilleros, realizado en noviembre del 2020, por la Facultad de Ingeniería sede Bosque Popular en la seccional de Bogotá. La invitación fue acogida por estudiantes de todas las seccionales. Los mejores trabajos de proyectos en curso y terminados, se premiaron con esta publicación.