

En este libro resultado de investigación todos los capítulos incluidos en él son producto de investigaciones desarrolladas por sus autores, y fueron arbitrados bajo el sistema doble ciego por expertos externos en el área, bajo la supervisión del Centro de Investigaciones y Desarrollo Ecuador, del equipo editorial de Heimer Corporation y del Comité Científico de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Ibagué - Espinal. Los planteamientos y argumentaciones presentadas en los capítulos del libro Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad: la sostenibilidad un camino interdisciplinario para la transformación social Volumen IV, son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, por lo tanto, los editores, las Universidades e instituciones que respaldan la obra actúan como un tercero de buena fe.

Edición: Editorial del Centro de Investigaciones y Desarrollo Ecuador CIDE-Ecuador.
© 2024 «PERSPECTIVAS INTERDISCIPLINARIAS DE LA SOSTENIBILIDAD Volumen IV»

Editor

Mario Heimer Flórez Guzmán
Mario Samuel Rodríguez Barrero
Jesús Becerra Ramírez

Autores

© Carolina Rocio Quispe-De la Cruz; © Gutember Viligran Peralta-Eugenio; © Julián René Perdomo Ramos; © Diana Maybe Miranda-Ibarra; © Ángela Yolima Cita Velandia; © Andres David Serrato Guana; © Irene González Espitia; © Carlos Jhonnatan Alarcón Murillo; © Cesar Alberto Wilches Martínez; © Mónica Espinosa Buitrago; © Alejandro Patiño Carrillo; © Bernabe Buitrago Domínguez; © Pedro Luis Cifuentes Guerrero; © Bibiana del Pilar Royero Benavides; © Jorge Armando García García; © Wilson Ricardo Pinillos Castillo; © Odair Triana Calderón; © Benjamín Andrés Manjarrés Zárate; © Diego Hernando Valbuena Montoya; © Carlos Hernán Cubillos Calderón; © Álvaro Gómez Peña; © Camilo Andrés Galindo Gallego; © Nancy Eliana Corredor Pinzón; © Angélica María González Flórez; © Aura Vetsy Múnera Monsalve; © María Paula Rodríguez Sepúlveda; © Víctor Augusto Lizcano Sandoval; © Natalia Molina Arévalo; © Karen Vanessa Marimon Sibaja; © Johny Alexis Higueta Velásquez; © Raymundo Máximo del Carmen Carranza Noriega; © Roger Hernando Peña Huaman; © Julio César Calderón Cruz; © Aracely Buitrago Mejía; © Mario Samuel Rodríguez Barrero; © Ludívia Hernández Aros; © Laura Constanza Gallego Cossio; © Daniela Alejandra Vela Ruiz; © Juliana Rodríguez Hincapié; © Diana María Guerrero Pérez; © Juanita Alexandra Agreda Bastidas; © Hugo Alfonso Santacruz Sarasty; © Camilo Navarro Bastidas; © Roiman David Rosero Guevara; © Albertina Díaz Gutiérrez; © María Teresa Valderrama; © Juan Manuel Lara Márquez; © Guillermo Edmundo Obando Navarro; © Francisco Javier Burbano González; © Jorge Andres Rey Rojas; © Jahn Carlos Gómez Yaruro; © Mauren Daniela Hernández Casilimas; © Julián Esteban Buenaventura Beltrán; © Germán Augusto Bastos Ramírez; © Mario Heimer Flórez Guzmán; © Leibniz Huxlay Flórez Guzmán; © José Alfredo Susunaga Rodríguez; © Gustavo Adolfo Rubio Rodríguez; © Mercy Liliana Borbón Hoyos.

Cuarto Volumen

Versión digital con soporte a libro impreso

ISBN: 978-9942-679-48-2



Coordinador Editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo

Portada: Diseño Víctor Julio Henao Henao, Imagen generada a partir de IA

Diagramación: Editorial CIDE Ecuador.

Revisión de estilo, gramática, ortografía y redacción: MSc. - Leibniz Huxlay Flórez Guzmán.

Editor Adjunto: Víctor Julio Henao Henao

Correo electrónico: editorial@cidecuador.org

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

VOL. IV

Volumen 4

Perspectivas interdisciplinarias de la Sostenibilidad

PERSPECTIVAS INTERDISCIPLINARIAS DE LA SOSTENIBILIDAD

LA SOSTENIBILIDAD UN CAMINO
INTERDISCIPLINAR PARA LA
TRANSFORMACIÓN SOCIAL



EDITORES

MARIO HEIMER FLÓREZ GUZMÁN

MARIO SAMUEL RODRÍGUEZ BARRERO

JESÚS BECERRA RAMÍREZ

2024

Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad

**La Sostenibilidad un Camino Interdisciplinar
para la Transformación Social**

Vol. IV

En este libro resultado de investigación todos los capítulos incluidos en él son producto de investigaciones desarrolladas por sus autores, y fueron arbitrados bajo el sistema doble ciego por expertos externos en el área, bajo la supervisión del Centro de Investigaciones y Desarrollo Ecuador, del equipo editorial de Heimer Corporation y del Comité Científico de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Ibagué - Espinal. Los planteamientos y argumentaciones presentadas en los capítulos del libro Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad: la sostenibilidad un camino interdisciplinario para la transformación social Volumen IV, son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, por lo tanto, los editores, las Universidades e instituciones que respaldan la obra actúan como un tercero de buena fe.

Edición: Editorial del Centro de Investigaciones y Desarrollo Ecuador CIDE-Ecuador.
© 2024 «PERSPECTIVAS INTERDISCIPLINARIAS DE LA SOSTENIBILIDAD Volumen IV»

Editor

Mario Heimer Flórez Guzmán
Mario Samuel Rodríguez Barrero
Jesús Becerra Ramírez

Autores

© Carolina Rocio Quispe-De la Cruz; © Gutember Viligran Peralta-Eugenio; © Julián René Perdomo Ramos; © Diana Maybe Miranda-Ibarra; © Ángela Yolima Cita Velandia; © Andres David Serrato Guana; © Irene González Espitia; © Carlos Jhonattan Alarcón Murillo; © Cesar Alberto Wilches Martínez; © Mónica Espinosa Buitrago; © Alejandro Patiño Carrillo; © Bernabe Buitrago Domínguez; © Pedro Luis Cifuentes Guerrero; © Bibiana del Pilar Royero Benavides; © Jorge Armando García García; © Wilson Ricardo Pinillos Castillo; © Odair Triana Calderón; © Benjamín Andrés Manjarrés Zárate; © Diego Hernando Valbuena Montoya; © Carlos Hernán Cubillos Calderón; © Álvaro Gómez Peña; © Camilo Andrés Galindo Gallego; © Nancy Eliana Corredor Pinzón; © Angélica María González Flórez; © Aura Vetsy Múnera Monsalve; © María Paula Rodríguez Sepúlveda; © Víctor Augusto Lizcano Sandoval; © Natalia Molina Arévalo; © Karen Vanessa Marimon Sibaja; © Johny Alexis Higueta Velásquez; © Raymundo Máximo del Carmen Carranza Noriega; © Roger Hernando Peña Huaman; © Julio César Calderón Cruz; © Aracely Buitrago Mejía; © Mario Samuel Rodríguez Barrero; © Ludivia Hernández Aros; © Laura Constanza Gallego Cossio; © Daniela Alejandra Vela Ruiz; © Juliana Rodríguez Hincapié; © Diana María Guerrero Pérez; © Juanita Alexandra Agreda Bastidas; © Hugo Alfonso Santacruz Sarasty; © Camilo Navarro Bastidas; © Roiman David Rosero Guevara; © Albertina Díaz Gutiérrez; © María Teresa Valderrama; © Juan Manuel Lara Márquez; © Guillermo Edmundo Obando Navarro; © Francisco Javier Burbano González; © Jorge Andres Rey Rojas; © Jahn Carlos Gómez Yaruro; © Mauren Daniela Hernández Casilimas; © Julián Esteban Buenaventura Beltrán; © Germán Augusto Bastos Ramírez; © Mario Heimer Flórez Guzmán; © Leibniz Huxlay Flórez Guzmán; © José Alfredo Susunaga Rodríguez; © Gustavo Adolfo Rubio Rodríguez; © Mercy Liliana Borbón Hoyos.

Cuarto Volumen

Versión digital con soporte a libro impreso
ISBN: 978-9942-679-48-2



Coordinador Editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo
Portada: Diseño Víctor Julio Henao Henao, Imagen generada a partir de IA
Diagramación: Editorial CIDE Ecuador.
Revisión de estilo, gramática, ortografía y redacción: MSc. - Leibniz Huxlay Flórez Guzmán.
Editor Adjunto: Víctor Julio Henao Henao
Correo electrónico: editorial@cidecuador.org
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Catalogación de la fuente

v.4

Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad Volumen IV / Mario Heimer Flórez Guzmán, editor. –Guayaquil (Ecuador): Fondo Editorial del Centro de Investigaciones y Desarrollo Ecuador (CIDE), 2024-. (Colección Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad). 649 páginas.

Versión Digital, ISBN: 978-9942-679-48-2

DESARROLLO SOSTENIBLE, SOSTENIBILIDAD, COMPETITIVIDAD, EMPRENDIMIENTO, INTRAEMPRENDIMIENTO, RESPONSABILIDAD SOCIAL, INVESTIGACIÓN, Guayaquil-Ecuador: Centro de Investigaciones y Desarrollo Ecuador (CIDE) y Heimer Corporation.

Disponible en:

<http://repositorio.cidecuador.org/>
<https://cidecuador.org/>

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	ESCALA DIFICULTADES EN LA REGULACIÓN EMOCIONAL (DERS - E): PROPIEDADES PSICOMÉTRICAS EN ADOLESCENTES PERUANOS	6
CAPÍTULO 2	APROVECHAMIENTO DE LA CÁSCARA DE BANANO EN LA FABRICACIÓN DE BETÚN: BENEFICIOS AMBIENTALES, ECONÓMICOS Y PARA LA SALUD	29
CAPÍTULO 3	SATISFACCIÓN CON LA VIDA FAMILIAR Y ANSIEDAD ANTE LOS EXÁMENES: DIFERENCIAS SEGÚN SEXO EN ADOLESCENTES PERUANOS	63
CAPÍTULO 4	RETOS Y OPORTUNIDADES EN EL MARCO DE LAS NIIF S1 Y S2 Y LOS REPORTES DE INFORMACIÓN. UNA VISIÓN DESDE LO MEDIOAMBIENTAL, LO SOCIAL Y LO FINANCIERO	91
CAPÍTULO 5	APLICACIÓN DE INTERNET DE LAS COSAS PARA LA SOSTENIBILIDAD DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO	143
CAPÍTULO 6	ESTRATEGIAS EFECTIVAS APLICADAS EN AMÉRICA LATINA. UN ANÁLISIS DESDE LA GERENCIA DEL TALENTO HUMANO	169
CAPÍTULO 7	LA COMPETITIVIDAD Y LA SOSTENIBILIDAD Y SU INTEGRACIÓN EN LA ESTRATEGIA EMPRESARIAL. ANÁLISIS DESDE UNA PERSPECTIVA EMPÍRICA	188
CAPÍTULO 8	TAYLORISMO Y EDUCACIÓN UNIVERSITARIA: UNA MIRADA HISTÓRICA AL ORIGEN DE UNA RELACIÓN RECÍPROCA	241
CAPÍTULO 9	DESAFÍOS PARA LA POLICÍA NACIONAL ANTE LAS EMERGENTES AMENAZAS A LA PROTECCIÓN DE PERSONAS EN COLOMBIA	274
CAPÍTULO 10	RECUPERACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DE LAS TÉCNICAS ANCESTRALES DE TINTES NATURALES USADAS EN LOS TEJIDOS TRADICIONALES DE GUANGA EN LA COMUNIDAD INDÍGENA DE LOS PASTOS	311

CAPÍTULO 11	MODELO MATEMÁTICO PARA EVALUAR LA EFICIENCIA DE INMOVILIZACIÓN DEL CADMIO EN EL SUELO EN FITOESTABILIZACIÓN Y COMPOSTAJE	347
CAPÍTULO 12	APLICACIÓN DE SOFTWARE ESPECIALIZADO PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA PRODUCTIVO Y DE ALMACENAMIENTO DE CACAO EN POLVO	399
CAPÍTULO 13	ANÁLISIS DE EMISIONES Y HUELLA DE CARBONO: ESTUDIO COMPARATIVO EN CINCO EMPRESAS DE LIMA (2022) Y UNA ENTIDAD BANCARIA (2019)	418
CAPÍTULO 14	ADAPTACIÓN DE LOS PRODUCTORES AGRÍCOLAS A LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN PARA LA APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO	434
CAPÍTULO 15	ANÁLISIS DE LOS CONJUNTOS DE DATOS APLICADOS EN EL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA DETECCIÓN DE FRAUDES EN LOS ESTADOS FINANCIEROS	459
CAPÍTULO 16	CULTIVO DE COLLA NEGRA (SMALLANTHUS PYRAMIDALIS (TRIANA) H. ROB.), COMO ALTERNATIVA DE ALIMENTACIÓN BOVINA, EN EL CENTRO INTERNACIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA LOPE SENA REGIONAL NARIÑO	492
CAPÍTULO 17	EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL TELEFÉRICO AL SITIO ARQUEOLÓGICO DE HUCHUY-QOSQO	545
CAPÍTULO 18	INTELIGENCIA ARTIFICIAL: ¿UN ALIADO PARA LA SOSTENIBILIDAD?	565
CAPÍTULO 19	TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA SEGURIDAD CIUDADANA	607
CAPÍTULO 20	ELEMENTOS MÍNIMOS DE REVISIÓN POR PARTE DEL REVISOR FISCAL EN UNA MATRIZ DE RIESGOS DE LA/FT/FPADM EN EL SECTOR DE HIDROCARBUROS	629

Escala Dificultades en la Regulación Emocional (Ders - E): Propiedades Psicométricas en Adolescentes Peruanos

Carolina Rocio Quispe-De la Cruz

Psicóloga

Mail: cquispecr1@ucvvirtual.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5485-9756>

Filiación Institucional: Universidad César Vallejo, Perú

Gutember Viligran Peralta-Eugenio

Doctorando en Educación y magíster en intervención psicológica

Docente investigador

Mail: gutemberpe@gmail.com; gperaltae@ucvvirtual.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1177-6088>

Filiación Institucional: Universidad César Vallejo, Perú

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Quispe-De la Cruz, C. R. y Peralta-Eugenio, G. V. (2024). Escala dificultades en la regulación emocional (Ders-E): propiedades psicométricas en adolescentes peruanos en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 6-28). Editorial CIDE Ecuador.

RESUMEN

La desregulación emocional, definida como la incapacidad para manejar las emociones de manera efectiva, puede causar problemas significativos en la vida cotidiana, incluyendo conflictos en relaciones sociales, aumento de la desconcentración y comportamientos disfuncionales, tales como autolesiones, abuso de sustancias y alteraciones en el estado de ánimo, que pueden llegar hasta pensamientos suicidas. Por lo tanto, es importante disponer de herramientas de medición que sean válidas y confiables en el contexto peruano para abordar esta problemática. Objetivo: Analizar las propiedades psicométricas de la Escala de dificultades en la regulación emocional DERS-E modelo de 4 factores y 24 reactivos adaptado por Marín et al. (2012). Metodología: La escala fue aplicada a la Muestra: 718 adolescentes estudiantes peruanos a través del muestreo virtual online. Resultados: Se verificó la validez del constructo a través de Análisis factorial confirmatorio, obteniendo valores óptimos ($\chi^2/gf=2.90$, RMSEA=.058; SRMR=.046, CFI=.93 y TLI=.94), la escala demostró elevada consistencia interna ($\omega = .80$ a $\omega = .93$), así también presenta equivalencia de residuos en la invarianza escalar ($\Delta CFI=.004$; $\Delta RMSEA=.000$; $\Delta SRMR=.001$) valores que posicionan al modelo como un instrumento válido y fiable para su aplicación en el contexto peruano sin diferencias de género.

Palabras clave: Desregulación emocional, propiedades psicométricas, adolescentes.

DIFFICULTIES IN EMOTIONAL REGULATION SCALE (DERS - E): PSYCHOMETRIC PROPERTIES IN PERUVIAN ADOLESCENTS

ABSTRACT

Emotional dysregulation, defined as the inability to manage emotions effectively, can cause significant problems in everyday life, including conflicts in social relationships, increased lack of concentration, and dysfunctional behaviors, such as self-harm, substance abuse, and disturbances in mood. mood, which can lead to suicidal thoughts. Therefore, it is important to have measurement tools that are valid and reliable in the Peruvian context to address this problem. Objective: Analyze the psychometric properties of the Difficulties in Emotional Regulation Scale DERS-E, a 4-factor, 24-item model adapted by Marín et al. (2012). Methodology: The scale was applied to the Sample: 718 Peruvian adolescent students through online virtual sampling. Results: The validity of the construct was verified through confirmatory factor analysis, obtaining optimal values ($\chi^2/gf=2.90$, RMSEA=.058; SRMR=.046, CFI=.93 and TLI=.94), the scale proved to be high internal consistency ($\omega = .80$ to $\omega = .93$), and also presents equivalence of residuals in scalar invariance ($\Delta CFI=.004$; $\Delta RMSEA=.000$; $\Delta SRMR=.001$) values that position the model as a valid instrument and reliable for its application in the Peruvian context without gender differences.

Keywords: Emotional dysregulation, psychometric properties, adolescents.

INTRODUCCIÓN

La regulación emocional es el proceso destinado a minimizar, intensificar y mantener una respuesta emocional (Pascual y Conejero, 2018), implica procesos extrínsecos e intrínsecos responsables de gestionar las emociones hacia el logro de objetivos (Thompson, 1994). Es una variable que despierta interés en la investigación aplicada porque se asocia con su disfuncionalidad; la desregulación emocional (Marín et al., 2012), dicha variable se conceptualiza como la incapacidad para modular las emociones, episodios de irritabilidad, patrones de impulsividad y dificultades en las relaciones interpersonales (Stoewsand et al., 2023).

Los expertos en el tema investigan cómo la desregulación emocional impacta la adolescencia, una fase esencial del desarrollo humano en la que los individuos aplican lo aprendido durante la infancia para integrarse eficazmente en su entorno social (Cabrera et al., 2020). Esta etapa está caracterizada por transformaciones en el funcionamiento biológico, cognitivo y social. Dichos cambios exponen a los adolescentes a múltiples fuentes de estrés que intensifican sus emociones, como el desempeño académico, la separación de los padres, el acoso escolar y la interacción con sus compañeros. Estas condiciones los hacen particularmente vulnerables a influencias internas y externas (Caqueo et al., 2020).

La desregulación emocional se presenta como un síntoma en individuos con Trastorno Límite de la Personalidad (TLP) y otros trastornos. Según Hervás (2011), más del 50% de los trastornos del eje I y II incluidos en el Manual Diagnóstico y Estadístico de las Enfermedades Mentales evidencian un déficit en la regulación emocional; uno de cada siete adolescentes, entre 10 y 19 años, presenta síntomas de trastornos mentales como depresión y ansiedad, los cuales se caracterizan por cambios bruscos en el estado de ánimo (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021).

Dado que los adolescentes frecuentemente adoptan conductas de riesgo, la OMS (2021) identifica el suicidio como la cuarta causa de muerte más común entre jóvenes de 15 a 19 años. Esto se debe a que la presencia de ideas y conductas autodestructivas está asociada a una falta de habilidades emocionales para gestionar experiencias de emociones negativas, dificultades para recuperarse tras eventos estresantes y la carencia de estrategias efectivas para enfrentar adversidades (Suárez et al., 2016).

La desregulación cuenta con diferentes determinaciones conceptuales, la teoría Biosocial de Linehan (1993) propone que dicha disfunción es el resultado de la interacción entre una predisposición biológica, que constituye la vulnerabilidad emocional de una persona, y un ambiente invalidante. Un niño biológicamente vulnerable que crece en un entorno que responde de manera exagerada y negativa a sus emociones, sensaciones y preferencias, le niega la oportunidad de expresarse. Frases como "deja de llorar", "¿cómo vas a tener sed si acabas de beber?", y atribuciones negativas a su personalidad, como ser llamado "llorón" o "cobarde", son ejemplos de respuestas invalidantes.

Las familias invalidantes menosprecian las preferencias de sus hijos con comentarios como "¿Qué sabrás tú?", limitando así las demandas del niño y empleando el castigo como método para corregir conductas. En este entorno, el niño no logra identificar sus emociones de manera adecuada, enfrenta dificultades para nombrarlas y, por consiguiente, para regularlas, tolerarlas y confiar en sus respuestas emocionales como manifestaciones válidas en situaciones específicas (De La Vega y Sánchez, 2013).

Gómez-Simón (2015) aborda el control de los impulsos desde una perspectiva biológica, argumentando que la desregulación emocional es una función ejecutiva del cerebro. Según este enfoque, el individuo puede inhibir emociones que son desadaptativas para optimizar su manejo. Esto está relacionado con la capacidad de establecer metas, lo que permite al individuo anticipar empáticamente situaciones y así desarrollar estrategias para corregir aspectos negativos. Linehan formula la teoría desde las siguientes áreas problemáticas del trastorno límite de la personalidad:

Gratz y Roemer (2004), basándose en los postulados de la teoría Biosocial de Linehan, propusieron tres dimensiones clave para evaluar la desregulación emocional:

1. Disfunción emocional: Esta dimensión se refiere a las dificultades para regular las emociones, lo cual se manifiesta en una alta reactividad emocional, problemas para modular los afectos y dificultades para retornar a un estado emocional neutral.

2. Disfunción interpersonal: Aquí se destacan las relaciones sociales caóticas, intensas y problemáticas, así como los esfuerzos desesperados por evitar el abandono.
3. Disfunción conductual: En esta dimensión se incluyen la impulsividad y la presencia de conductas suicidas y parasuicidas (Soloff et al., 1994).

La primera se nombró como la falta de aceptación emocional: Se refiere al déficit en aceptar e identificar las emociones, tanto negativas como positivas. La segunda es la interferencia en conductas dirigidas a metas: Ocurre cuando las emociones negativas bloquean la capacidad de completar tareas. La tercera son las dificultades en la regulación de impulsos: Esta dimensión describe la incapacidad de control personal ante situaciones adversas. La cuarta es la falta de conciencia emocional: Se caracteriza por una escasa atención a las propias emociones. La quinta es el acceso limitado a estrategias de regulación emocional: Se da cuando la persona no dispone de métodos efectivos para gestionar emociones, tanto positivas como negativas. La sexta es la falta de claridad emocional: Implica la dificultad para comprender, percibir y reconocer las propias emociones (Gratz & Roemer, 2004).

Sin embargo, Gartzia et al. (2012) sostienen que existen diferencias de género en la regulación emocional. Las mujeres tienden a experimentar sus emociones con mayor intensidad, lo que sugiere una mayor desregulación emocional en comparación con los hombres. No obstante, esta diferencia depende del entorno en el que se interactúa, y tanto hombres como mujeres tienen la capacidad de desarrollar habilidades para manejar la desregulación emocional de manera efectiva.

Aunque la utilidad clínica de evaluar las dificultades en la regulación de las emociones es reconocida, hay pocos instrumentos para este fin. La Escala de Dificultades en la Regulación Emocional (DERS) de Gratz & Roemer (2004), con 36 ítems, es una de las pocas adaptadas y validadas internacionalmente para adultos. Neumann et al. (2010) investigaron las propiedades psicométricas de la versión completa del DERS con 36 ítems en 870 adolescentes de 11 a 17 años en Ámsterdam, Países Bajos, con una edad promedio de 14.24 años y una desviación estándar de 1.60.

Los resultados del Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) indicaron un ajuste adecuado con índices CFI y TLI superiores a .90 y una RMSEA de .045, sugiriendo una estructura factorial similar a la encontrada en adultos, según Gratz & Roemer (2004). También, los coeficientes de fiabilidad resultaron aceptables, con un Alfa de Cronbach entre .72 y .87.

Gómez-Simón et al. (2014) evaluaron las propiedades psicométricas del DERS en una muestra de 642 adolescentes de 12 a 18 años en Barcelona, España. Mediante un análisis factorial exploratorio (ESEM), se identificó una estructura de seis factores con 36 ítems, mostrando adecuados índices de ajuste (CFI = 0.968, TLI = 0.966, RMSEA = 0.033) y evidenciando invarianza estricta por sexo. La fiabilidad se determinó con un Alfa de Cronbach entre .71 y .84, excepto en la subescala de conciencia, que presentó un valor de .62.

Kaufman et al. (2016) estudiaron las propiedades psicométricas de las versiones corta (DERS-18) y completa (DERS-36) de la escala en adolescentes de 12 a 20 años (n=257) y en dos grupos de estudiantes universitarios de 18 a 65 años (n=797) en Estados Unidos. La versión abreviada (DERS-18) mostró un ajuste adecuado con índices CFI de .96, TLI de .94, RMSEA de .06 y SRMR de .05, y cargas factoriales entre .73 y .93. Sin embargo, la versión completa (DERS-36) tuvo un ajuste deficiente con CFI de .85, TLI de .83, RMSEA de .08 y SRMR de .08. Los valores de Alfa para la versión abreviada oscilaron entre .78 y .91, indicando una fiabilidad adecuada.

Victor & Klonsky (2016) informaron sobre las propiedades psicométricas de la versión breve de 18 ítems (DERS-18) en cinco muestras de Estados Unidos: 1) 429 adolescentes de 13 a 17 años, 2) 167 adolescentes hospitalizados con una edad promedio de 15.61 años, 3) 160 adultos universitarios con una edad promedio de 23.28 años, 4) 163 adultos comunitarios con una edad promedio de 34.49 años, y 5) 705 adultos comunitarios con una edad promedio de 35.26 años. El análisis factorial confirmatorio validó una estructura de seis dimensiones del DERS-18 en todas las muestras. La fiabilidad mostró valores Alfa entre .87 y .92, indicando una robustez adecuada en diversas poblaciones. Gutzweiler & In-Albon (2019) evaluaron las propiedades psicométricas de la versión completa de la Escala de Dificultades en la Regulación Emocional (DERS) de 36 ítems en Suiza. La muestra constó de 324 adolescentes escolares (edad promedio de 15.15 años) y 97 adolescentes clínicos (edad promedio de 16.25 años).

El análisis factorial confirmatorio no mostró un ajuste satisfactorio para el modelo de 6 factores ($CFI < .90$, $SRMR = .069$). No obstante, un análisis factorial exploratorio reveló un modelo con un factor adicional que presentó índices de ajuste aceptables ($CFI > .95$, $RMSEA$ y $SRMR < .040$). La fiabilidad de la escala fue excelente, con un coeficiente Alfa de .91 para la muestra escolar y de .95 para la muestra clínica.

Demirpence & Sen (2023) investigaron las propiedades psicométricas de la DERS-16 en 256 adolescentes turcos de secundaria, con una edad promedio de 15.51 años. Tanto el modelo de cinco factores como el de segundo orden mostraron un ajuste aceptable ($CFI > .90$, $RMSEA$ y $SRMR < .080$), mientras que el modelo de un solo factor no fue adecuado ($CFI < .90$, $RMSEA$ y $SRMR > .080$). La consistencia interna de las dimensiones osciló entre .69 y .88, con un total de .92.

Rosharudin et al. (2023) estudiaron las propiedades psicométricas de la versión abreviada de 18 ítems (DERS-18) en 701 adolescentes malayos de 13 y 14 años. El análisis factorial confirmatorio indicó que los modelos de factores correlacionados, de segundo orden y bifactorial mostraron un ajuste aceptable (CFI y $TLI > .95$, $RMSEA < .080$), con cargas factoriales superiores a .60. El modelo bifactorial, excluyendo la subescala "conciencia", presentó el mejor índice de constructo. La confiabilidad fue adecuada, con valores Alfa entre .63 y .82 para las dimensiones y .93 para la escala total.

Sin embargo, son escasas las investigaciones en poblaciones adolescentes en versión española.

En la Ciudad de México, Marín et al. (2012) estudiaron a 455 estudiantes adolescentes, 266 hombres (49.7%) y 229 mujeres (50.3%), con una edad promedio de 16 años. Se confirmó un ajuste de modelo con 4 factores reactivos ($AFC: \chi^2 = 259.729$, $gl=230$, $p>0.05$, $NFI=.9$; $RMSEA= 0.05$), mostrando consistencia interna adecuada (α de Cronbach=0.93) y buena confiabilidad test-retest ($r=0.88$).

Marín et al. (2012) también tradujeron, adaptaron y validaron la DERS-E en población adolescente, sin replicar la estructura factorial original. A pesar de esto, con un AFC confirmaron la estructura original de 4 factores en 24 reactivos, a diferencias de edad; la DERS original fue construida para adultos, y las adaptaciones en muestras adolescentes tomaron enfoques diferentes.

Por lo tanto, considerando que la mayoría de estudios sobre las dificultades en la regulación emocional se realizaron en países de habla inglesa y la investigación de Marín et al. (2012) no ha sido replicada en adolescentes de América del Sur, se hace necesario examinar el nuevo modelo DER-E debido a las diferencias culturales de cada continente. En este contexto, la literatura sugiere priorizar la atención a las posibles diferencias transculturales en la definición del constructo psicológico a evaluar. Esto permitirá que la equivalencia en el contenido de los ítems sea práctica y no meramente textual (Pilatti et al., 2012).

Por consecuencia, el objetivo general de esta investigación es; Analizar las propiedades psicométricas de la escala de dificultades en la regulación emocional (DERS – E) en adolescentes peruanos, 2022, en relación con los objetivos específicos; a) Estimar validez basada en la estructura interna, b) Estimar la fiabilidad por medio de método de consistencia interna, c) Analizar la invarianza factorial según sexo. Los resultados de la investigación contribuyen a la comunidad en el sentido que habilitará a los profesionales de las ciencias de la salud, sociales y pedagógicas a utilizar un instrumento validado a nuestra realidad en sus evaluaciones, con el objetivo de centrarse en el progreso de sus clientes en la reducción de los síntomas.

METODOLOGÍA

DISEÑO

Según la clasificación de Ato et al. (2013) el análisis de las propiedades psicométricas de la DERS- E, corresponde al diseño instrumental.

MUESTRA

La población general seleccionada fueron adolescentes peruanos, con una muestra de 718 participantes (409 mujeres y 309 varones), quienes fueron seleccionados a través de un muestreo virtual en línea, específicamente mediante el muestreo en cadena, en el cual los primeros participantes tienen la responsabilidad de invitar a nuevos participantes (González et al., 2018). La cantidad de participantes alcanzada supera en 10 veces el número de reactivos, por lo que se considera idónea para el análisis psicométrico (Lloret et al., 2014).

INSTRUMENTOS

La Escala de Dificultades en la Regulación Emocional (DERS-E), en su versión adaptada al castellano por Marín et al. (2012), eliminó dos factores (impulsividad y estrategias) de la versión original de la DERS, que incluye seis factores y 36 ítems, propuesta por Gratz y Roemer (2004). La versión adaptada ofrece un modelo de 24 ítems y cuatro factores: falta de aceptación emocional (ítems 10, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 24); falta de dirección a metas (ítems 11, 13, 16, 17, 22, 23); falta de conciencia emocional (ítems 1, 2, 6, 7, 9); y falta de claridad emocional (ítems 3, 4, 5, 8). Esta es una medida de autoinforme, cuyo tiempo estimado de aplicación es de 10 minutos, y se puede aplicar de manera individual o grupal, con un formato de respuesta tipo Likert de cinco opciones: casi nunca (0), algunas veces (1), la mitad de veces (2), la mayoría de veces (3) y casi siempre (4). Los ítems 1, 2, 6, 7 y 9 se califican de manera inversa para calcular el puntaje global. En cuanto a sus propiedades psicométricas, la validez del modelo se evaluó mediante un análisis factorial confirmatorio (AFC; $\chi^2 = 259.72$, gl = 230, $p > 0.05$; NFI = .92; RMSEA = .01 < 0.05), mostrando un ajuste adecuado a los datos. La consistencia interna, medida a través del coeficiente Alfa de Cronbach, fue de .89 para el total de la escala. Para los factores, se obtuvieron los siguientes valores: no aceptación (9 ítems) = .85; metas (6 ítems) = .79; conciencia (5 ítems) = .71 y claridad (4 ítems) = .68, todos valores considerados adecuados.

PROCEDIMIENTO

Para la recolección de datos, se creó un formulario utilizando el programa Google Forms, el cual especificó las directrices de la investigación, tales como el objetivo, resaltando a los apoderados a través del consentimiento informado el carácter anónimo de la misma. Se respetó el derecho del menor a participar de forma voluntaria a través del asentimiento informado, donde debía seleccionar entre las opciones "deseo participar" o "no deseo participar". Acto seguido en el cuestionario virtual se presentó la información a rellenar como; los datos sociodemográficos (edad, sexo, zona de residencia), así como también las preguntas que corresponden al instrumento de medida DERS-E. La difusión se realizó a través de las plataformas de mensajería instantáneas conocidas como WhatsApp y Messenger. Posteriormente, los datos se transfirieron a un formato Excel y, para concluir, se calculó la validez y la fiabilidad utilizando SPSS 26 y R Studio.

ANÁLISIS DE DATOS

En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo de los ítems y se evaluó el supuesto estadístico de normalidad (univariada y multivariada) y la ausencia de multicolinealidad. El instrumento (DERS-24) fue analizado bajo la estructura factorial propuesta por Marín et al. (2012). Para el análisis factorial confirmatorio, se utilizó el método de máxima verosimilitud robusto (MLR), debido a la ausencia de normalidad multivariada (Brown, 2015). Como criterios aceptables, se consideraron valores de CFI y TLI $>.90$ y de RMSEA y SRMR $<.080$ (Byrne, 2016), así como cargas factoriales superiores a .50 (Kline, 2005).

Para evaluar la invarianza factorial de medida según el sexo, se realizó un análisis multigrupo mediante una estimación progresiva de cuatro fases: invarianza configuracional (ajuste en los dos grupos muestrales sin restricciones), invarianza métrica (restricción en los pesos factoriales; λ_i), invarianza escalar (restricción en los pesos factoriales e interceptos; τ_i) e invarianza estricta (restricción en los pesos factoriales, interceptos y residuos; ϵ_i). Los criterios para aceptar la invarianza en cada nivel fueron: $\Delta RMSEA <.015$, $\Delta SRMR <.030$ y $\Delta CFI <.010$ (Chen, 2007). Por último, se estimó la confiabilidad por consistencia interna con el coeficiente Omega, considerando valores aceptables $>.70$ (Campo y Oviedo, 2008).

Los software utilizados para el procesamiento de la normalidad multivariada, el AFC y la invarianza fueron R Project y RStudio, versión 4.3.2. La confiabilidad y los estadísticos descriptivos se estimaron con el software JASP, versión 18.3.

RESULTADOS

La frecuencia de respuesta de los participantes en los reactivos se concentra en "a veces", seguido de "casi nunca". En una valoración de respuesta del 0 (casi nunca) a 4 (casi siempre), las puntuaciones promedio van de 1.11 (ítem 22) a 2.21 (ítem 6); la dispersión oscila de 1.17 a 1.37. Los valores de asimetría y curtosis se ubican dentro del intervalo ± 1.5 , reflejando distribución univariada (Ferrando & Anguiano-Carrasco, 2010), no obstante, no existe presencia de normalidad multivariada (asimetría=6390.26, $p >.05$ y curtosis=65.069, $p >.05$).

Finalmente, se descarta presencia de multicolinealidad en la correlación entre ítems ($r < .90$) (Mason & Perreault, 1991).

Tabla 1
Estadísticos descriptivos

Ítem	% Respuesta					M	DE	g1	g2
	CS	AV	MTV	MAV	CS				
1	18.11	26.04	22.14	25.49	8.22	1.80	1.24	.08	-1.08
2	14.62	25.77	20.19	27.99	11.42	1.96	1.26	-.02	-1.12
3	27.58	41.09	14.07	10.58	6.69	1.28	1.17	.86	-.10
4	24.79	39.97	16.30	10.03	8.91	1.38	1.21	.78	-.30
5	18.38	40.53	15.46	15.60	10.03	1.58	1.24	.56	-.74
6	11.84	18.66	21.45	33.15	14.90	2.21	1.24	-.30	-.96
7	14.76	25.21	18.66	29.53	11.84	1.98	1.27	-.06	-1.15
8	21.17	42.48	15.88	12.81	7.66	1.43	1.18	.71	-.38
9	15.46	24.37	19.64	33.70	6.82	1.92	1.21	-.14	-1.13
10	22.01	33.98	14.07	15.46	14.48	1.66	1.36	.44	-1.06
11	26.18	38.16	18.25	9.19	8.22	1.35	1.20	.78	-.23
12	30.64	37.19	13.79	10.45	7.94	1.28	1.23	.84	-.27
13	24.79	41.64	18.94	9.33	5.29	1.29	1.10	.80	.04
14	34.68	30.36	10.58	12.67	11.70	1.36	1.37	.71	-.80
15	30.78	34.68	13.09	9.61	11.84	1.37	1.32	.77	-.57
16	16.85	38.44	18.25	14.21	12.26	1.67	1.26	.51	-.81
17	25.49	39.83	17.69	9.75	7.24	1.33	1.17	.79	-.16
18	31.89	37.74	13.23	9.75	7.38	1.23	1.21	.90	-.11
19	27.30	39.14	11.70	11.00	10.86	1.39	1.29	.78	-.51
20	29.81	35.24	12.67	11.98	10.31	1.38	1.30	.73	-.61
21	32.03	37.33	15.46	9.47	5.71	1.19	1.15	.88	-.02
22	38.86	33.29	12.40	8.50	6.96	1.11	1.21	1.01	.07
23	27.02	38.86	17.41	9.75	6.96	1.31	1.17	.80	-.16
24	26.18	38.72	15.18	10.45	9.47	1.38	1.24	.77	-.39

Nota. CS=casi siempre; AV=a veces; MTV=la mitad de las veces; MAV=la mayoría de veces; CS=casi siempre; M=media; DE=desviación estándar; g1=asimetría; g2=curtosis

ANÁLISIS FACTORIAL CONFIRMATORIO

Al estimar el análisis factorial confirmatorio basado en la estructura factorial propuesta por Marín Tejeda et al. (2012), de 24 ítems agrupados en 4 factores. Se analizan dos modelos, el unidimensional y de factores correlacionados. Los valores de ajuste no son aceptables ($\chi^2/g1 > 3$, TLI y CFI $< .90$; RMSEA y SRMR $> .080$); no obstante, el modelo de factores correlacionados presenta un ajuste aceptable ($\chi^2/g1 = 2.90$; TLI = .94; CFI = .93; RMSEA = .058 y SRMR = .046) (Bentler, 1990).

Tabla 2
Estadísticos de bondad de ajuste de los modelos estructurales del DERS-E

Modelo	χ^2 (gl)	$\chi^2/g1$	CFI	TLI	RMSEA (IC 90%)	SRMR	AIC
M1	1660.839 (252)	6.591	.812	.794	.101 [.096 - .105]	.082	48185.378
M2	712.240 (246)	2.895	.938	.931	.058 [.053 - .063]	.046	46953.842

Nota. M=unidimensional; M2=factores correlacionados

Las cargas factoriales reportadas son adecuadas con valores superiores a .50 (Kline, 2005). La consistencia interna presenta valores superiores a .70 en las dimensiones del instrumento, considerada como aceptable (Campo y Oviedo, 2008).

Tabla 3
Pesos factoriales estandarizados y confiabilidad para el modelo de factores correlacionados – DERS -E

ítem	λ			
	No aceptación	Metas	Conciencia emocional	Claridad
20	.87			
21	.71			
24	.77			
11		.55		
13		.73		
16		.69		
17		.77		
22		.75		
23		.81		
1			.69	
2			.70	
6			.54	
7			.79	
9			.76	
3				.62
4				.66

ítem	λ			
	No aceptación	Metas	Conciencia emocional	Claridad
5				.76
8				.70
ω	.93	.87	.83	.78

Nota. ω: Omega, λ; Carga factorial

ANÁLISIS DE VARIANZA

En primer lugar, se analizó el ajuste del modelo base libre de restricciones en el grupo muestral de mujeres y varones por separado. Se aprecia que el modelo factorial es similar en los dos grupos (Tabla 3). Posterior a ello, se analiza la invarianza configuracional del DERS-24 según sexo, siguiendo lo postulado por Chen (2007), informando evidencias adecuadas ($\chi^2=965.92$; CFI=.936; TLI=.929; RMSEA=.058; SRMR=.050).

Luego se analizó la invarianza métrica, donde los valores son favorables: CFI=.937; TLI=.933; RMSEA=.057; SRMR=.054. Al contrastar con el modelo configuracional, se aprecia $\Delta CFI=.001$; $\Delta RMSEA=.001$; $\Delta SRMR=.004$, índices que evidencian equivalencia en las cargas factoriales. Así también, se evaluó la invarianza escalar, con valores aceptables: CFI=.934; TLI=.932; RMSEA=.057; SRMR=.055, al comparar con la invarianza métrica, se aprecia que $\Delta CFI=.003$; $\Delta RMSEA=.000$; $\Delta SRMR=.001$, dichos índices evidencian que los interceptos son invariantes. Finalmente, se analiza la invarianza estricta, la cual presenta restricciones en las cargas factoriales, interceptos y residuos. Dicho modelo también presenta índices aceptables: CFI=.930; TLI=.931; RMSEA=.057; SRMR=.056, en el contraste con la invarianza escalar, se observa que $\Delta CFI=.004$; $\Delta RMSEA=.000$; $\Delta SRMR=.001$, denotando equivalencia en los residuos.

Tabla 4

Invarianza de medición del DERS – 24 según sexo

Modelo	χ^2 (gl)	CFI	TLI	RMSEA [IC 90%]	SRMR	$\Delta\chi^2$ (Δ gl)	ΔCFI	$\Delta RMSEA$	$\Delta SRMR$
Mujeres	494.55 (246)	.946	.939	.055 [.048; .062]	.049				
Hombres	471.76 (246)	.922	.913	.062 [.053; .070]	.056				
M1	965.92 (492)	.936	.929	.058 [.053; .064]	.050				
M2	980.76 (512)	.937	.933	.057 [.051; .062]	.054	14.84 (20)	.001	.001	.004
M3	1027.99 (532)	.934	.932	.057 [.052; .062]	.055	47.227 (20)	.003	.000	.001
M4	1076.19 (556)	.930	.931	.057 [.052; .062]	.056	48.206 (24)	.004	.000	.001

Nota. Elaboración propia

DISCUSIONES

El principal objetivo de este estudio fue analizar las propiedades psicométricas de la escala DERS-E en adolescentes peruanos, por ser un variable que actúa como factor de riesgo de padecimientos emocionales, donde la emoción tiene un efecto desadaptativo sobre la conducta y la cognición (Sánchez et al., 2022). Por ello, es necesario contar con instrumentos de medida que contribuyan a identificar el déficit de regulación de las emociones en el desarrollo y mantenimiento de conductas, problema en patologías clínicas y no clínicas (Gratz & Roemer, 2004).

Por tanto, los resultados del AFC presentados en un primer modelo de estructura unidimensional y de dos factores correlaciones no reportaron ajustes aceptables, sin embargo, en el segundo modelo basado en un factor general correlacionado en 4 factores específicos (no aceptación, metas, conciencia emocional y claridad) con 24 ítems reporta validez con índices de ajuste óptimos para su aplicación en población adolescente, resultados que se reafirman con la estructura propuesta por Marín et al. (2012) demostrando que la escala DERS -E es un instrumento válido y coherente para su aplicación. Por otro lado, los resultados hallados en la investigación se respaldan con los planteamientos de Gratz & Roemer (2004)

quienes señalan que la ausencia relativa de cualquiera de las habilidades tales como: comprender las emociones, aceptar las emociones, controlar las conductas impulsivas y tener la capacidad para utilizar las emociones en situaciones apropiadas; indicaría la presencia de la desregulación emocional.

A través del método de consistencia interna se estimó la fiabilidad de la DERS-E recurriendo al coeficiente omega por ser una medida acertada de confiabilidad considerando valores aceptables entre .70 y .90 (Campo y Oviedo, 2008), pero en algunos casos se aceptan valores que superen a .65 (Katz, 2006). En tal sentido, los resultados de los factores de la escala analizada muestran valores apropiados que van de $\omega = .80$ a $\omega = .93$. En esa misma línea, los resultados guardan semejanza con el reporte de Marín et al. (2012) en la escala global, un $\alpha = 0.93$.

Los índices de ajuste de la invarianza de la estructura factorial propuesta por Marín et al. (2012) denota ser invariante en función al sexo, según los datos hallados del modelo libre de restricciones reporta un buen ajuste ($CFI=.937$; $TLI=.933$; $RMSEA=.057$; $SRMR=.054$), al aplicar las restricciones a dicha invarianza (métrica), se acepta el supuesto al hallarse valores óptimos ($\Delta CFI=.001$; $\Delta RMSEA=.001$; $\Delta SRMR=.004$), de modo similar en invarianza escalar ($CFI=.934$; $TLI=.932$; $RMSEA=.057$; $SRMR=.055$) y estricta ($\Delta CFI=.003$; $\Delta RMSEA=.000$; $\Delta SRMR=.001$). Estos hallazgos indican que el instrumento es entendido por ambos grupos muestrales, independientemente de cómo se percibe la variable en cada grupo.

En síntesis, se indica que la Escala DERS- E analizada en población peruana, presenta evidencias de validez y confiabilidad, y se considera un instrumento efectivo para evaluar la desregulación emocional en adolescentes. Esta etapa de vida conlleva cambios tanto físicos como emocionales; por lo tanto, disponer de herramientas que faciliten el diagnóstico y permitan intervenciones tempranas es fundamental para reducir las patologías asociadas a la desregulación emocional.

En síntesis, se indica que la Escala DERS- E analizada en población peruana, presenta evidencias de validez y confiabilidad, y se considera un instrumento efectivo para evaluar la desregulación emocional en adolescentes. Esta etapa de vida conlleva cambios tanto físicos como emocionales; por lo tanto, disponer de herramientas que faciliten el diagnóstico y permitan intervenciones tempranas es

fundamental para reducir las patologías asociadas a la desregulación emocional.

El análisis que reporta este trabajo fue realizado con el fin de conocer las propiedades psicométricas del modelo más actual para medir la desregulación emocional en población adolescente hispanohablante. Para así obtener datos psicométricos válidos y precisos en el contexto peruano. Contar con un instrumento con buen nivel de presión para medir la desregulación emocional desde edades tempranas es fundamental para el profesional. Esto permite llevar a cabo una evaluación integral basada en protocolos bien documentados en la literatura científica. Además, resulta ser un apoyo esencial para la implementación de programas dirigidos a adolescentes consultantes, quienes representan un grupo de alto riesgo conductual.

Finalmente, como limitación general de la investigación, se destaca la modalidad de aplicación del instrumento, que fue realizada de manera virtual. Esto impidió abordar directamente las dudas de los participantes respecto a ítems que resultaron confusos para algunos de ellos. Así como también no se estimó las evidencias de validez convergente, por lo cual se sugiere a estudios posteriores trabajar estas evidencias con instrumentos que midan desregulación emocional con instrumentos adaptados al medio. El estudio solo se centra en analizar la consistencia interna del instrumento con base en la teoría clásica de los test, sugiriéndose realizar análisis psicométricos desde la perspectiva de la teoría de respuesta al ítem y/o análisis de redes en psicometría.

CONCLUSIONES

En un análisis general, se evaluaron las evidencias de validez de la Escala de Dificultades en la Regulación Emocional (DERS-E) en 708 adolescentes peruanos. La validez de la estructura interna se confirmó mediante AFC, con índices de ajuste aceptables para el modelo de 24 reactivos y 4 factores ($X^2/gf=2.90$; $TLI=.94$; $CFI=.93$; $RMSEA=.058$; $SRMR=.046$). La fiabilidad de la escala se verificó utilizando el coeficiente omega, con resultados válidos entre $\omega = .78$ y $\omega = .93$, conforme a los indicadores de consistencia interna. Además, se comprobó la invarianza factorial al obtener valores óptimos en todos los niveles de invarianza ($\Delta CFI<.010$; $\Delta RMSEA<.015$; $\Delta SRMR<.030$).

REFERENCIAS

- Ato, M., López, J. & Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Revista Anales de Psicología*, 29(3), 1038-1059. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-97282013000300043
- Bentler, P. M. (1990). Comparative fit indexes in structural models. *Psychological Bulletin*, 107(2), 238-246. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.107.2.238>
- Brown, T. A. (2015). *Confirmatory factor analysis for applied research* (2a ed). The Guilford Press.
- Byrne, B. M. (2016). *Structural Equation Modeling With AMOS: Basic Concepts, Applications, and Programming* (3a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315757421>
- Cabrera Gutiérrez, G., Londoño Arredondo, N. H., Arbeláez Caro, J. S., Cruz Valencia, J. D., Macías Castillo, L. Y., España Macías, A. M. (2020). Desregulación emocional y conducta disocial en una muestra de adolescente en conflicto con la ley. *Pensamiento Psicológico*, 18(1), 1-13. <https://doi.org/10.11144/Javerianacali.PPSI18-1.decd>
- Campo, A., y Oviedo, H. (2008). Propiedades psicométricas de una escala: La consistencia interna. *Revista de salud pública*, 10(5), 831-839. <https://www.redalyc.org/pdf/422/42210515.pdf>
- Caqueo, A., Mena, P., Flores, M. & Irrázaval, M. (2020). Problemas de regulación emocional y salud mental en adolescentes del norte de Chile. *Terapia psicológica*, 38(2), 203-222. <https://doi.org/10.4067/S0718-48082020000200203>
- Chen, F. F. (2007). Sensitivity of Goodness of Fit Indexes to Lack of Measurement Invariance. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 14(3), 464-504. <https://doi.org/10.1080/10705510701301834>

- De La Vega, I. y Sánchez, S. (2013). Terapia dialéctico conductual para el trastorno de personalidad límite. *Acción psicológica*, 10(1). https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1578-908X2013000100005
- Demirpence, S., & Sen, E. (2023). Reliability and validity of the brief version of the difficulties in emotion regulation scale in a sample of Turkish adolescents. *BMC Psychology*, 11(165). <https://doi.org/10.1186/s40359-023-01199-y>
- Ferrando, P. J., & Anguiano-Carrasco, C. (2010). El análisis factorial como técnica de investigación en psicología. *Papeles del Psicólogo*, 31(1), 18-33.
- Gartzia, L., Aritzeta, A., Balluerka, N., y Barberá, E. (2012). Inteligencia emocional y género: más allá de las diferencias sexuales. *Anales de psicología*, 28(2), 567-575. <https://revistas.um.es/analesps/article/view/analesps.28.2.124111>
- Gómez-Simón, I. (2015). *Dificultades específicas de la regulación emocional en adolescentes con TDAH: utilidad clínica de la escala DERS* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona]. <https://core.ac.uk/download/pdf/78535832.pdf>
- Gómez-Simón, I., Penelo, E., & de la Osa, N. (2014). Factor structure and measurement invariance of the difficulties Emotion Regulation Scale (DERS) in Spanish adolescents. *Psicothema*, 26(3), 401-408. <https://doi.org/10.7334/psicothema2013.324>
- González García, L. M., Sosa Hernández, J. de J., y Fierro Martínez, S. D. (2018). Muestreo virtual online basado en redes sociales para localización de teletrabajadores como participantes de un estudio realizado en Victoria de Durango, México. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 8(15). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6775378>
- Gratz, K. & Roemer, L. (2004). Multidimensional Assessment of Emotion Regulation and Dysregulation: Development, Factor Structure, and Initial Validation of the Difficulties in Emotion Regulation Scale. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 26(1), 41-54. <https://doi.org/10.1023/B:JOBA.0000007455.08539.94>

- Gutzweiler, R., & In-Albon, T. (2019). Überprüfung der Gütekriterien der deutschen Version der Difficulties in Emotion Regulation Scale in einer klinischen und einer Schülerstichprobe Jugendlicher. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*, 47(4), 274-286. <https://doi.org/10.1026/1616-3443/a000506>
- Hervás, G. (2011). Psicopatología de la regulación emocional: el papel de los déficits emocionales en los trastornos clínicos. *Psicología Conductual*, 19(2), 347 – 372. https://extension.uned.es/archivos_publicos/webex_actividades/5413/psicopatologiadelaregulacionemocionalpapeldelosdeficitemocionales.pdf
- Kaufman, E. A., Xia, M., Fosco, G., Yaptangco, M., Skidmore, C. R., & Crowell, S. E. (2016). The difficulties in emotion regulation scale short form (DERS-SF): Validation and Replication in adolescent and adult samples. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 38(3), 443-455. <https://doi.org/10.1007/s10862-015-9529-3>
- Kline, R. B. (2005). *Principles and practice of structural equation modeling* (3a ed.). Guilford Press.
- Linehan, M. (1993). *Manual de formación de habilidades para el tratamiento del trastorno de la personalidad límite*. The Guilford Press. <https://www.derechopenalenlared.com/libros/trastosnos-de-personalidad.pdf>
- Lloret, S., Ferreres, A., Hernández, A., & Tomás-Marco, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica revisada y actualizada. *Anales de Psicología*, 30(3), 1151–1169. <https://doi.org/10.6018/analesps.30.3.199361>
- Marín Tejeda, M., Robles García, R., González-Forteza, C., & Andrade Palos, P. (2012). Propiedades psicométricas de la escala "Dificultades en la Regulación Emocional" en español (DERS-E) para adolescentes mexicanos. *Salud Mental*, 35(6), 521-526. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33252012000600010&lng=es&nrm=iso

- Marín, M., Robles, R. González, C. y Andrade, P. (2012). Propiedades psicométricas de la escala "Dificultades en la Regulación Emocional" en español (DERS-E) para adolescentes mexicanos. *Salud Mental*. 35(6), 521-526. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33252012000600010
- Mason, C. H., & Perreault, W. D. (1991). Collinearity, Power, and Interpretation of Multiple Regression Analysis. *Journal of Marketing Research*, 28(3), 268-280. <https://doi.org/10.1177/002224379102800302>
- Neumann, A., van Lier, P. A. C., Gratz, K. L., & Koot, H. M. (2010). Multidimensional assessment of emotion regulation difficulties in adolescents using the difficulties in emotion regulation scale. *Assessment*, 17(1), 138-149. <https://doi.org/10.1177/1073191109349579>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (17 de noviembre de 2021). *Salud mental del adolescente*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/adolescent-mental-health>
- Pascual, A., y Conejero, S. (2018). Regulación emocional y afrontamiento: Aproximación conceptual y estrategias. *Revista Mexicana de Psicología*, 36(1), 74 -83. https://www.redalyc.org/journal/2430/243058940007/html/#redalyc_243058940007_ref24
- Pilatti, A., Godoy, J., y Brussino, S. (2012). Adaptación de instrumentos entre culturas, ejemplos de procedimientos seguidos para medir las expectativas hacia el alcohol en el ámbito argentino. *Trastornos Adictivos*, 14(2), 58-64. <https://www.elsevier.es/es-revista-trastornos-adictivos-182-pdf-X157509731248974X>
- Rosharudin, N. A., Muhammad, N. A., Mohd Daud, T. I., Hoesni, S. M., Yusoff, S. R., Razman M. O. I., Ali, M. M., Khairuddin, K. F., & Mohd Kari, D. N. P. (2023). Psychometric properties of the Malay version of the difficulties in emotion regulation scale-18 in Malaysian adolescents. *PLoS ONE* 18(8), e0289551. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289551>

Sánchez, M., Elizalde, M. y Salcido, L. (2022). Regulación emocional como factor protector de conductas suicidas. *Psicología y Salud*, 32(1), 49-56. <https://psicologiaysalud.uv.mx/index.php/psicysalud/article/view/2710>

Soloff, P. H., Lis, J. A., Kelly, T., Cornelius, J., & Ulrich, R. (1994). Risk factors for suicidal behavior in borderline personality disorder. *The American journal of psychiatry*, 151(9), 1316–1323. <https://doi.org/10.1176/ajp.151.9.1316>

Stoewsand, C., Pechon Carola., Quintero, J., Gagliesi, P., y Rodríguez, G. (2023). *Sumar al amor: Manual de habilidades para familiares y allegados de personas con desregulación emocional*. Ediciones Tres Olas.

Suárez, P., Restrepo, D., Caballero, C. (2016). Ideación suicida y su relación con la inteligencia emocional en universitarios colombianos. *Revista de la Universidad de Santander Salud*, 48(4), 470-478. <http://dx.doi.org/10.18273/revsal.v48n4-201600>

Thompson, R. A. (1994). Emotion regulation: A theme in search of definition. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 59, 25–52.

Victor, S. E., & Klonsky, E. D. (2016). Validation of a brief version of the difficulties in emotion regulation scale (DERS-18) in five samples. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 38(4), 582-589. <https://doi.org/10.1007/s10862-016-9547-9>

Aprovechamiento de la Cáscara de Banano en la Fabricación de Betún: Beneficios Ambientales, Económicos y para la Salud

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal la elaboración de un betún a base de cáscara de banano abundante en nutrientes y propiedades beneficiosas para la salud. La cáscara de banano es un subproducto de la industria bananera que actualmente no se aprovecha en su totalidad, generando un problema de manejo de residuos que afecta al medio ambiente. Sin embargo, gracias a los avances en la investigación y desarrollo, se ha descubierto que la cáscara de banano puede ser transformada en un valioso recurso para la producción de betún, un material empleado en diferentes sectores industriales. La cáscara de banano contiene una gran cantidad de fibras naturales, vitaminas y minerales, que le confieren propiedades adhesivas y resistencia a la corrosión, lo que la convierte en una excelente opción para la fabricación de betún. Además, su disponibilidad en grandes cantidades garantiza una producción sostenible y económicamente viable. Al utilizar la cáscara de banano como materia prima para la fabricación de betún, se contribuye a la reducción de residuos y a la conservación del medio ambiente Arévalo y Buitrago (2014). Además, se fomenta el desarrollo de la industria local, generando empleo y mejorando la calidad de vida de las comunidades bananeras. En resumen, la utilización de la cáscara de banano para la elaboración de betún representa una oportunidad única de transformar un subproducto en un recurso valioso, sostenible y económicamente viable. Gracias a sus propiedades adhesivas y resistentes, el betún a base de cáscara de banano puede ser utilizado en diferentes aplicaciones industriales, desde la construcción hasta la industria automotriz. De esta manera, se promueve un modelo de desarrollo sostenible y se contribuye al cuidado del medio ambiente (Benavides y León, 2007). La producción y comercialización de este tipo de betún podría suponer un impulso económico para las regiones productoras de banano (Romero, 2017), generando ingresos y oportunidades de negocio. Además, al utilizar un recurso que actualmente se desaprovecha, se evita la acumulación de residuos y se disminuye el impacto ambiental negativo. En cuanto a las propiedades beneficiosas para la salud, el betún a base de cáscara de banano podría contener antioxidantes naturales, que tienen propiedades antiinflamatorias y fortalecen el sistema inmunológico. En este trabajo, se utilizó un enfoque metodológico basado en la investigación experimental para llevar a cabo un exhaustivo estudio sobre el betún a base de cáscara de banano (Hernández et al., 2014), se llevaron a cabo una amplia variedad de pruebas con el propósito primordial de determinar que las propiedades del betún a base de cáscara de banano funcionan.

Julián René Perdomo Ramos

Magister en Educación

Mail: julianto82@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8695-4785>

Filiación Institucional: Escuela Militar de Suboficiales Sargento Inocencio Chinca

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Perdomo Ramos, J. R.. (2024). Aprovechamiento de la cascara de banano en la fabricación de betún: beneficios ambientales económicos y para la salud en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 29-62). Editorial CIDE Ecuador.

Esto podría tener un impacto positivo en la salud de las personas y contribuir a la prevención de enfermedades el desarrollo y uso de este tipo de betún a base de cáscara de banano es una alternativa innovadora y prometedora que puede tener un impacto positivo tanto en el ámbito económico como en el ámbito medioambiental y de la salud (Llivichuzca y Llor, 2023). Durante la realización de este trabajo se lograron obtener resultados prometedores en cuanto a la elaboración del betún a base de cáscara de banano. Se determinó que la composición química de la cáscara de banano es extremadamente rica en compuestos valiosos como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, los cuales son fundamentales para conferir las propiedades necesarias al betún. Además, se encontraron beneficios extraordinarios para la salud asociados al consumo de la cáscara de banano, como su alto contenido de fibra y antioxidantes esenciales para el organismo humano. En cuanto a la elaboración del betún, se llevó a cabo un complejo proceso de extracción de la cáscara de banano y su posterior preparación, obteniendo un producto final de altísima calidad con características y propiedades totalmente deseables. Se concluye, que teniendo en cuenta los excelentes resultados obtenidos en este estudio, se puede afirmar con seguridad que la cáscara de banano tiene el potencial de revolucionar diversas áreas de la industria. En primer lugar, la extracción de la cáscara de banano se llevó a cabo de manera altamente efectiva y eficiente, lo que permitió obtener una cantidad significativa de este valioso material. Además, el proceso de preparación del betún a partir de la cáscara de banano se llevó a cabo de manera sumamente sencilla y práctica, utilizando ingredientes fácilmente accesibles en el mercado. Esto significa que la producción de este betún es económicamente viable y sostenible. El betún obtenido a partir de la cáscara de banano ha demostrado tener características y propiedades realmente favorables.

Palabras clave: Banano, Betún, Cascara, Medio Ambiente.

USE OF BANANA PEEL IN THE MANUFACTURE OF BITUMEN: ENVIRONMENTAL, ECONOMIC AND HEALTH BENEFITS

ABSTRACT

The main objective of this work is the preparation of a bitumen based on banana peel abundant in nutrients and beneficial properties for health. Banana peel is a byproduct of the banana industry that is currently not fully utilized, generating a waste management problem that affects the environment. However, thanks to advances in research and development, it has been discovered that banana peel can be transformed into a valuable resource for the production of bitumen, a material used in different industrial sectors. Banana peel contains a large amount of natural fibers, vitamins and minerals, which give it adhesive properties and resistance to corrosion, making it an excellent option for the manufacture of bitumen. Furthermore, its availability in large quantities guarantees sustainable and economically viable production. By using banana peel as raw material for the manufacture of bitumen, we contribute to the reduction of waste and the conservation of the environment Arévalo y Buitrago (2014). In addition, the development of the local industry is encouraged, generating employment and improving the quality of life of banana communities. In summary, the use of banana peel for the production of bitumen represents a unique opportunity to transform a by-product into a valuable, sustainable and economically viable resource. Thanks to its adhesive and resistant properties, banana peel-based bitumen can be used in different industrial applications, from construction to the automotive industry. In this way, a sustainable development model is promoted and contributes to the care of the environment (Benavides y León, 2007). The production and marketing of this type of bitumen could provide an economic boost for banana-producing regions (Romero, 2017), generating income and business opportunities. Furthermore, by using a resource that is currently wasted, the accumulation of waste is avoided and the negative environmental impact is reduced. As for the beneficial health properties, banana peel-based frosting could contain natural antioxidants, which have anti-inflammatory properties and strengthen the immune system. In this work, a methodological approach based on experimental research was used to carry out an exhaustive study on banana peel-based bitumen (Hernández et al., 2014), a wide variety of tests were carried out with the primary purpose to determine that the properties of banana peel-based bitumen work. This could have a positive impact on people's health and contribute to the prevention of diseases. The development

and use of this type of banana peel-based bitumen is. an innovative and promising alternative that can have a positive impact both in the economic field and in the environmental and health fields (Llivichuzca y Llor, 2023). banana peel-based bitumen. It was determined that the chemical composition of banana peel is extremely rich in valuable compounds such as cellulose, hemicellulose and lignin, which are essential to confer the necessary properties to the bitumen. In addition, extraordinary health benefits were found associated with the consumption of banana peel, such as its high fiber content and essential antioxidants for the human body. Regarding the production of bitumen, a complex process of extraction of the banana peel and its subsequent preparation was carried out, obtaining a final product of the highest quality with totally desirable characteristics and properties. It is concluded that taking into account the excellent results obtained in this study, it can be safely stated that banana peel has the potential to revolutionize various areas of the industry. First of all, the extraction of banana peel was carried out in a highly effective and efficient manner, which made it possible to obtain a significant amount of this valuable material. In addition, the process of preparing bitumen from banana peel was It was carried out in an extremely simple and practical way, using ingredients easily accessible on the market. This means that the production of this bitumen is economically viable and sustainable. The bitumen obtained from banana peel has proven to have really favorable characteristics and properties.

Keywords: Banana, Bitumen, Peel, Environment

INTRODUCCIÓN

El manejo de residuos orgánicos es un desafío global que requiere soluciones innovadoras y sostenibles. En particular, la cáscara de banano, un subproducto ampliamente desechado de la industria bananera, ha sido subutilizado a pesar de su abundancia y su contenido en nutrientes valiosos. Esta situación no solo representa una oportunidad perdida en términos de aprovechamiento de recursos, sino que también contribuye a problemas ambientales derivados de la gestión inadecuada de estos residuos. El banano es de suma importancia en el mundo, ya que posee factores varios que contribuyen de muchas formas a mejorar la calidad de vida del ser humano, los bananos pueden ayudar a los atletas a mejorar su rendimiento, además tienen un contenido alto de fuentes energéticas como el potasio, el magnesio y vitaminas C y B6, necesarias para el metabolismo de los seres humanos (Bernacer, 2022), los bananos se cultivan en más de 135 países, con una producción mundial de más de 9 millones de hectáreas, en América Latina es donde se produce la mayor cantidad de banano colocando a Ecuador, Costa rica y Colombia como los principales productores, en Asia el principal productor es Filipinas; en África es Camerón y Côte d'Ivoire y en el caribe se destaca República Dominicana y las islas Barlovento; sin embargo, para el 2022 se reportó un aumento de producción de banano en más de 99 millones de toneladas (Arias et al., 2004). En Colombia, el cultivo de banano representa uno de los más importantes sectores agropecuarios, con un área sembrada de 378.884 hectáreas y una producción de 3.072.974 toneladas (Romero, 2017). El banano es uno de los manjares por excelencia, apetecido en la mesa, como acompañante en las comidas, por los deportistas, como fuente de recuperador de energías, entre otros; Es una fruta dulce, de fácil transporte y fácil de consumir. La cáscara es fácil de quitar y se consume su contenido, por lo general la cáscara es tirada en la naturaleza o en contenedores por ser biodegradable.

Recientes avances en investigación y desarrollo han revelado el potencial de la cáscara de banano como materia prima para la elaboración de betún, un material ampliamente utilizado en diversos sectores industriales. La cáscara de banano posee propiedades adhesivas y resistencia a la corrosión gracias a su alto contenido de fibras naturales, vitaminas y minerales, lo que la convierte en una opción viable y sostenible para la producción de betún. El alcance de este proyecto se basó en evaluar la manera de emplear la cascara de banano para la elaboración de un betún natural. El proceso empieza con la recolección de la cáscara de banano hasta la obtención

del betún ecológico. Identificando las propiedades químicas que tiene la concha o cáscara de banano y mediante un proceso artesanal obtener betún natural que brinde alta protección y brillo e impulsar una mejor forma de materializar residuos naturales para evitar la contaminación ecológica por el uso de betunes tradicionales donde su principal compuesto son hidrocarburos y elementos tóxicos, para el medio ambiente.

Este trabajo se enfocó en explorar las posibilidades de la cáscara de banano para la fabricación de betún, con el objetivo de contribuir a la reducción de residuos y fomentar un modelo de desarrollo sostenible. Además, se examina el impacto económico que esta iniciativa podría tener en las regiones productoras de banano, al ofrecer nuevas oportunidades de negocio y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales.

La cáscara de banano es un material orgánico, por tanto, su efecto y proceso con el medio es bastante rápido, los procesos de oxidación y descomposición se efectúa de manera más veloz, esta descomposición es generada por un proceso de degradación aerobia, es decir en presencia de oxígeno. Esto puede variar en diferentes objetos dependiendo de la estabilidad de las moléculas y las condiciones ambientales en donde se encuentren (Khan Academy, s.f.).

MARCO REFERENCIAL

En los últimos años, ha habido un creciente interés en el desarrollo de productos a partir de materiales renovables y sostenibles, con el fin de reducir el impacto ambiental y fomentar la economía circular. Esta tendencia se ha visto reflejada en el análisis de distintos componentes naturales, entre ellos, la cáscara de banano, la cual ha sido identificada como un material con gran potencial para su aprovechamiento (Apolo y Espinoza, 2022).

La composición química y las propiedades físicas de la cáscara de banano la convierten en un recurso valioso para diversos usos. Investigaciones científicas han demostrado que esta cáscara contiene compuestos polifenólicos y fibras naturales, los cuales poseen propiedades únicas que podrían ser empleadas en la fabricación de materiales. Uno de los principales enfoques es utilizar la cáscara de banano como agente ligante en la producción de betún (Triveño y Guzmán, 2024).

El betún es un material ampliamente utilizado en la construcción de carreteras y pavimentos. Su función principal es proporcionar durabilidad y resistencia frente a las condiciones climáticas y al tráfico vehicular. Sin embargo, su producción tradicional se basa en el uso de derivados del petróleo, lo que genera un gran impacto ambiental y contribuye al agotamiento de los recursos naturales.

Ante este contexto, surge la necesidad de investigar y desarrollar un proceso para obtener un betún a base de cáscara de banano. Esta iniciativa promete ser una alternativa promisorio y sostenible, ya que permitiría reducir la dependencia de los recursos no renovables y disminuir notablemente la huella de carbono en la producción de materiales de construcción.

El proceso de obtención del betún a base de cáscara de banano implica una serie de pasos fundamentales. En primer lugar, se debe realizar la extracción y preparación de la cáscara, eliminando cualquier impureza y garantizando su pureza. Seguidamente, se procede a la transformación de la cáscara en partículas más pequeñas, facilitando su manipulación y aprovechamiento.

Una vez obtenidas las partículas de cáscara de banano, se realiza una etapa de refinamiento y separación de los compuestos polifenólicos y las fibras naturales presentes en el material. Posteriormente, se lleva a cabo una modificación química para dotar al betún de propiedades específicas, optimizando su desempeño y durabilidad.

En paralelo, se realizan pruebas y análisis exhaustivos para evaluar las características y el comportamiento del betún a base de cáscara de banano en comparación con el betún convencional. Estos estudios abarcan aspectos como la viscosidad, la rigidez, la resistencia a la tracción y la adhesión, entre otros. Los resultados obtenidos permitirán determinar la viabilidad y el potencial de aplicación de este nuevo material en la industria.

La investigación y desarrollo de un betún a base de cáscara de banano representa un paso hacia la sostenibilidad y la economía circular. Este proyecto busca aprovechar un recurso natural disponible en grandes cantidades y darle un valor agregado, disminuyendo la dependencia de los derivados del petróleo y contribuyendo a la reducción de la huella ambiental. Además, cabe destacar que esta innovación no solo

tiene beneficios medioambientales, sino también económicos y sociales, al fomentar el desarrollo de una industria sustentable y generar empleo en la producción y aplicación de este nuevo material.

MARCO TEÓRICO

PROPIEDADES DE LA CÁSCARA DE BANANO

La cáscara de banano cuenta con una composición química extremadamente rica en nutrientes esenciales para el óptimo funcionamiento del organismo humano. Entre los múltiples componentes presentes en esta maravillosa cáscara, se destaca la abundante presencia de potasio, magnesio, vitamina C, vitamina B6 y otros elementos vitales. Estos elementos vitales y valiosos le otorgan a la cáscara de banano una infinidad de beneficios que contribuyen de manera significativa a la salud y el bienestar general de las personas (Bernacer, 2022). Uno de los beneficios más destacados de la cáscara de banano es su capacidad para regular la presión arterial y mantener un corazón sano. Gracias a su contenido de potasio, este increíble fruto ayuda a mantener los niveles de presión arterial controlados, previniendo así el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y promoviendo un sistema circulatorio saludable. Además, la cáscara de banano fortalece de manera notable el sistema inmunológico gracias a su aporte de vitamina C y otros nutrientes esenciales. Este nutriente esencial estimula la producción de células que combaten las infecciones y protegen al organismo de agentes externos dañinos para la salud. Otro aspecto destacable de la cáscara de banano es su efecto positivo en la función cerebral y la mejora de la memoria y la concentración. La vitamina B6 y otros compuestos presentes en esta increíble cubierta contribuyen a la producción de neurotransmisores clave para el buen funcionamiento del sistema nervioso central. Esto se traduce en una mejora significativa en la función cerebral, la memoria y la concentración. Incorporar la cáscara de banano en la alimentación diaria puede ser un gran aliado para mantener la mente ágil y activa y promover la salud cerebral. Además de todos estos beneficios para la salud, la cáscara de banano tiene aplicaciones industriales extraordinarias debido a su versatilidad y composición química única. Esto la convierte en un recurso invaluable para la producción de una amplia gama de productos, incluyendo la fabricación de bioplásticos, que contribuye a reducir el impacto ambiental de la industria plástica convencional (Castillo et al., 2015). Así mismo, la cáscara de banano se utiliza en la

producción de papel, brindando una alternativa sostenible frente al uso de fuentes de papel tradicionales.

López et al. (2014) afirma que:

La cáscara de banano tiene un contenido del 11.91% de humedad residual, 23.03% de hemicelulosa, 23.02% de celulosa, 29.87% de lignina y 0.78% de cenizas, además de almidón observado por tinción con lugol. El contenido de holocelulosa (hemicelulosa y celulosa) cercano al 46.05% la hace apta para la elaboración de papel y el tener una humedad menor al 20% y un contenido bajo de cenizas, la estima útil para cualquier aplicación térmica con un bajo impacto ambiental. (p. 7).

Pero eso no es todo, la cáscara de banano también es aprovechada en la industria farmacéutica debido a sus componentes químicos naturales con propiedades medicinales valiosas. Estos componentes la convierten en un ingrediente clave en la producción de diversos productos farmacéuticos. Además, el alto contenido de fibra presente en la cáscara de banano la convierte en una excelente opción para la elaboración de productos alimenticios y suplementos dietéticos. La fibra es esencial para una buena digestión y contribuye a mantener un sistema digestivo saludable y equilibrado. Incorporar la cáscara de banano en nuestra dieta puede ser una manera deliciosa y práctica de aumentar la ingesta de fibra y mejorar la salud digestiva en general (López et al., 2014).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BANANO

La cáscara de banano presenta una composición química extremadamente variada y notablemente rica en nutrientes y compuestos beneficiosos para la salud. En su estructura, se puede encontrar aproximadamente un 5% de humedad, un 11% de proteínas, un 40% de celulosa, un 25% de hemicelulosa, un 19% de lignina y un 0.25% de cenizas. Sin embargo, estas cifras son solo una pequeña parte de la historia, ya que la cáscara de banano también es un tesoro de minerales esenciales como potasio, fósforo, magnesio y calcio, que contribuyen al equilibrio y vitalidad del cuerpo humano en múltiples formas. Además, contiene una amplia variedad de oligoelementos esenciales como hierro, zinc, cobre y manganeso, que desempeñan un papel crucial en numerosas funciones biológicas (Castillo y Alexander, 2024).

Además de estos minerales valiosos, la cáscara de banano también alberga una abundancia de vitaminas del complejo B, que son fundamentales para el funcionamiento óptimo del sistema nervioso y el metabolismo general. Estas vitaminas actúan en sinergia con otros nutrientes presentes en la cáscara de banano para proporcionar un impulso duradero de energía y promover una salud óptima. Además, este superalimento natural es rico en vitamina C, un antioxidante poderoso que apoya el sistema inmunológico y ayuda a combatir enfermedades e infecciones (Castillo, 2023).

Pero eso no es todo, la cáscara de banano también es un depósito de compuestos fenólicos y flavonoides, poderosos antioxidantes con propiedades antiinflamatorias conocidas. Estos compuestos ayudan a combatir el estrés oxidativo en el cuerpo, lo que puede contribuir a la prevención de enfermedades crónicas y al envejecimiento saludable (Freire y Molina, 2023). Además, la cáscara de banano contiene compuestos como carotenoides y luteína, conocidos por su capacidad para promover la salud ocular y proteger contra la degeneración macular relacionada con la edad.

Dada su composición química única y variada, la cáscara de banano se ha convertido en un material extremadamente versátil y valioso para su uso en la elaboración de diversos productos. Desde productos de belleza, como mascarillas faciales y cremas hidratantes naturales, hasta suplementos nutricionales y productos farmacéuticos, la cáscara de banano se ha utilizado de manera innovadora para aprovechar al máximo sus propiedades beneficiosas (Chasing, 2024). Además, se ha descubierto que los extractos de cáscara de banano tienen propiedades antimicrobianas y antifúngicas, lo que los hace efectivos en el tratamiento de afecciones de la piel y problemas digestivos.

En última instancia, la cáscara de banano, una vez considerada como un simple desecho, ha demostrado ser una fuente inagotable de beneficios para el bienestar humano. Al aprovechar su diversa composición química, estamos desbloqueando todo su potencial y abriendo nuevas oportunidades en la medicina, la alimentación y la industria en general. Como sociedad, es importante reconocer el valor de este recurso natural y buscar formas innovadoras de aprovechar al máximo sus beneficios para promover una vida saludable y sostenible.

BENEFICIOS PARA LA SALUD

La cáscara de banano presenta numerosos beneficios para la salud debido a su contenido nutricional. Es una gran fuente de fibra, lo que ayuda a regular el tránsito intestinal y prevenir problemas de estreñimiento. Además, contiene altos niveles de potasio, lo cual contribuye a mantener la salud cardiovascular y controlar la presión arterial. Asimismo, posee antioxidantes como la dopamina y la luteína, que protegen al organismo contra el estrés oxidativo y el daño celular. Estos antioxidantes también son beneficiosos para la salud ocular, ya que ayudan a prevenir enfermedades como las cataratas y la degeneración macular. Adicionalmente, la cáscara de banano contiene compuestos bioactivos como la lectina, que tiene propiedades antimicrobianas y puede ayudar a fortalecer el sistema inmunológico. Con todos estos beneficios, incorporar la cáscara de banano en nuestra dieta puede ser una excelente opción para mejorar nuestra salud y bienestar (Rivadeneira, 2024).

La cáscara de banano no solo es nutritiva, sino que también es versátil en la cocina. Puede ser utilizada en diversas recetas, desde batidos y licuados hasta postres y platos salados. Por ejemplo, se puede utilizar para hacer un delicioso batido de banano y cáscara de banano, que proporcionará todos los beneficios mencionados anteriormente. También se puede agregar en rodajas a ensaladas para agregar un sabor único y textura crujiente (Malte y Rivaldo, 2024).

Además de sus beneficios nutricionales, la cáscara de banano también puede tener aplicaciones externas. Por ejemplo, se puede utilizar como un exfoliante natural para la piel, ayudando a eliminar las células muertas y dejarla suave y radiante (Chasing, 2024). También se puede utilizar como un abono orgánico para las plantas, proporcionándoles nutrientes beneficiosos para su crecimiento y desarrollo.

En resumen, la cáscara de banano es una excelente fuente de nutrientes y beneficios para la salud. Su contenido de fibra, potasio, antioxidantes y compuestos bioactivos la convierten en una opción ideal para mejorar nuestra salud intestinal, cardiovascular y ocular. Además, su versatilidad en la cocina y en el cuidado personal la hacen aún más valiosa. Así que la próxima vez que disfrutes de un banano, no deseches la cáscara, ¡aprovecha todos sus beneficios para una vida más saludable y sostenible!

USOS INDUSTRIALES

La cáscara de banano tiene múltiples aplicaciones en la industria. Una de ellas es en la fabricación de papel y cartón, ya que las fibras de la cáscara pueden ser utilizadas como materia prima para la producción de pulpa de papel. Asimismo, su resistencia y textura suave hacen que sea ideal para la fabricación de tejidos y materiales textiles en la industria textil. Además, se utiliza en la industria de alimentos como aditivo, gracias a sus propiedades espesantes y emulsionantes. También, en la industria cosmética, la cáscara de banano se utiliza como ingrediente en la elaboración de productos para el cuidado de la piel y el cabello debido a sus propiedades hidratantes y nutritivas. Todo esto demuestra la versatilidad y utilidad de la cáscara de banano en diversas áreas industriales (Betancourth et al., 2023).

Además, la cáscara de banano también tiene aplicaciones en la industria de la energía. Se ha descubierto que la cáscara de banano puede ser utilizada como biomasa para la generación de energía renovable. Esto se debe a que contiene altos niveles de celulosa y lignina (Franco y Pérez, 2023), que son componentes esenciales en la producción de biogás y biocombustibles. De esta manera, se aprovecha al máximo cada parte del banano, evitando el desperdicio y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Otra aplicación interesante de la cáscara de banano es en la fabricación de productos químicos. Se ha encontrado que contiene compuestos bioactivos que pueden ser extraídos y utilizados en la producción de medicamentos y productos farmacéuticos. Estos compuestos tienen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, lo que los hace prometedores en el tratamiento de diversas enfermedades (Carranza et al., 2022). Además, la cáscara de banano también puede ser utilizada como fuente de fibra dietética, lo que la convierte en un ingrediente saludable y nutritivo en la industria alimentaria.

En el campo de la agricultura, la cáscara de banano se puede utilizar como abono orgánico (Chasing, 2024).

Al ser rica en nutrientes como el potasio, el calcio y el fósforo, contribuye a mejorar la fertilidad del suelo y a aumentar la producción de cultivos. Además, su alto contenido de agua ayuda a mantener la humedad del suelo, lo que es beneficioso en áreas con climas secos.

También se ha encontrado que la cáscara de banano posee propiedades repelentes contra plagas y enfermedades comunes en las plantas, lo que reduce la necesidad de utilizar pesticidas químicos.

En resumen, la cáscara de banano es un recurso altamente versátil y útil en diversas áreas de la industria. Desde la fabricación de papel y textiles hasta su uso como aditivo alimentario y en la industria cosmética, la cáscara de banano demuestra ser un material valioso. Además, su aplicación en la generación de energía renovable, la producción de productos químicos y su uso en la agricultura, resalta su importancia en el ámbito medioambiental y agrícola. En definitiva, aprovechar al máximo las propiedades y beneficios de la cáscara de banano es una forma inteligente y sostenible de impulsar diferentes industrias.

IMPACTO AMBIENTAL

La cáscara de banano es un excelente material orgánico, compuesto por componentes químicos mayoritarios y minoritarios, reconocidos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, junto a cantidades menores de taninos, pectina, agua y cenizas. Al tener distintos compuestos, la degradación de la cáscara de banano es muy lenta y segrega distintas sustancias y gases en el medio ambiente (Armijos, 2023).

La composición principal incluye en su pared celular un 36 % de hemicelulosa, 30-46 % de celulosa y 18-22 % de lignina; cada una de estas tres fibras presenta especificidades en estructura, peso molecular, presencia de componentes no fibrosos, grado, etc., aunque todas ellas en menor grado que en pulpa de papel, excepto celulosa, y algunas comparten ciertos intereses con bambú y pulpa de madera (Javier, 2021). A las fibras de banano se les ha atribuido una estructura de creciente complejidad desde el exterior hacia el interior, con altos contenidos de lignina y cutina en la superficie, quedando separadas las fibras por una pasta con hemicelulosa amorfa. Indica que muestra una sensibilidad al agua superior a artículos de celulosa fabricados con pulpa, presentando también menor estabilidad térmica y muy poca resistencia al ataque de los microorganismos, por lo que el banano no reporta ventajas respecto de la celulosa procedente de los recursos reciclados. Aparece una menor concentración de otros compuestos como proteínas, ácidos grasos y sustancias derivadas del metabolismo de los vegetales como clorofila, terpenos, alcoholes grasos, zumo de cristales de oxalato, ácidos mandélicos, entre otros (Atúncar et al., 2024).

De acuerdo con el proceso de la producción de Betún a base de cáscara de banano, en cuanto al comportamiento ambiental de la preparación se observó que, en esta etapa, se generan los siguientes impactos ambientales: aire, uso de recurso natural y residual. Por lo tanto, se pudo concluir que tanto el betún como el proceso no presentan un efecto notable sobre la baja probabilidad de ocurrencia de accidentes.

Además, se analizó que durante la etapa de preparación del betún no hay suficiente reacción o emisión que genere una probable generación de CO y CO₂. Sin embargo, en la primera etapa se utilizan las cáscaras de la fruta, las cuales son descompuestas por la acción del calor y al formar parte de este proceso, se genera CO si los residuos no están bien manejados. Almacenando los residuos en un lugar seco y ventilado se permite la oxidación, alcanzándose una eficiencia del 100%. Al fundir la glicerina, sí existe una emisión muy pequeña de CO, pero corresponde a una emisión por un proceso normal (Baquero, 2022).

A pesar de que existen componentes provenientes de la cáscara de banano, la gran cantidad de este, utilizada para la elaboración de un betún, permite el uso prolongado del mismo. Los subproductos posteriores a la fabricación del betún son biodegradables y libres de cualquier químico nocivo para el ambiente, por lo que estos pueden ser liberados en su lugar de disposición (Clavijo, 2023). La aplicación del betún a base de cáscara de banano en los zapatos representa una barrera física ante agentes patógenos nocivos para la salud. Por otro lado, la incorporación de los aceites esenciales provenientes de la cáscara del banano nos ofrece los beneficios a nivel físico y emocional que estos poseen. Los aceites esenciales son absorbidos a través de la piel y se dirigen hacia la sangre y, por ende, hacia varias partes del cuerpo, contribuyendo en diferentes sistemas orgánicos. (Espin, 2021).

IMPORTANCIA DEL CUIDADO DEL CALZADO Y EL CUERO

El betún de Judea es un hidrocarburo de color oscuro, porque en general ocurre en la corteza de la tierra en mezcla con el carbón, sales minerales y otras impurezas, y es un subproducto del proceso para producir petróleo (Connan et al., 2024). Es recomendable evitar su uso, ya que se han presentado en el pasado casos como el de la Universidad de Colombia o la señora Neme que después de utilizar el betún en sus zapatos, estos liberan compuestos volátiles orgánicos (CVOC), presentando serias lesiones de salud como irritación, cefaleas, alteraciones en la visión, vómito, fatigas o embotamiento, ardor de cabeza, entre otros (Connan et al., 2024).

Es importante mencionar que la reacción descrita en los casos mencionados anteriormente es particular a la persona que reacciona y solamente ocurre con las personas susceptibles, como las descritas en los casos referidos.

El calzado juega un papel fundamentalmente importante en el uso cotidiano, ya que evita eficazmente el contacto directo con los numerosos agentes y factores altamente agresivos presentes en el medio ambiente, ejerciendo así un efectivo escudo protector sobre nuestra piel (Díaz, 2023). Su uso adecuado y constante representa un eficiente medio de defensa frente a las posibles ulceraciones cutáneas que pudieran surgir a consecuencia de la maloclusión dental, originada por la presión ejercida al caminar en determinados casos, así como frente a la proliferación de hongos y bacterias que podrían dañar nuestra dermis. Además, es importante destacar que el calzado también previene la aparición de lesiones adicionales en estas áreas ya afectadas, impidiendo, por ejemplo, la absorción de cuerpos extraños que podrían agravar aún más las condiciones cutáneas ya comprometidas. Por otro lado, no se debe subestimar la relevancia estética del calzado, ya que su apariencia influye considerablemente en la primera impresión que generamos en los demás, de tal manera que se convierte en una herramienta poderosa para juzgar el estilo y la personalidad de una persona. Dependiendo de si el calzado es elegante o informal, si sigue o no las últimas tendencias de moda, puede reflejar diferentes aspectos de la propia identidad. Desde tiempos remotos, el ser humano ha demostrado una preocupación constante por el mantenimiento y el cuidado adecuado de su calzado, siempre buscando preservar su apariencia agradable y atractiva. En este sentido, cabe mencionar que ya en las antiguas civilizaciones de Egipto y Sumeria se conocía y valoraba de manera significativa la importancia de aplicar finas capas de grasa animal u otras sustancias en el cuero de las sandalias, como una forma de mejorar su apariencia y hacerlas más llamativas y atractivas (Morán, 2024).

METODOLOGÍA

En este trabajo, se utilizó un enfoque metodológico basado en la investigación experimental para llevar a cabo un exhaustivo estudio sobre el betún a base de cáscara de banano. Para ello, se recolectaron cáscaras de banano de diferentes variedades y se separaron de la pulpa. Posteriormente, se realizó un minucioso proceso de extracción con el objetivo de obtener solamente la cáscara de banano, el cual fue utilizada como base fundamental para la elaboración y formulación del betún.

De acuerdo con (Hernández et al., 2014) el diseño experimental en el contexto de la investigación sobre la elaboración de un betún a base de cáscara de banano implica un enfoque sistemático para investigar y optimizar las variables que afectan la calidad y eficacia del betún, ya que se realizaron diferentes pruebas o experimentos mejorando en cada prueba hasta lograr el betún ideal como lo indica (Badii et al., 2017), de esta forma se inicia realizando el reciclaje de todas las cáscaras de banano para iniciar el procedimiento de la elaboración del betún, posteriormente las cáscaras son lavadas con agua, con la intención de despejar objetos extraños o que no pertenezcan a la cáscara, una vez limpiadas las cáscaras se continúa con el proceso de cocción, aproximadamente por unos durante 45 minutos, hasta que las cáscaras tomen una textura blanda, cuando ya están bien cocinadas al punto de desleírse se pasan por un filtro para separar el agua del cocimiento, se dejan reposar hasta el enfriamiento, para luego pasar a la licuadora para triturar los fragmentos que no se han deshecho en la cocción, en este punto se le agrega colorante negro u el color deseado para obtener la semejanza en el color al betún tradicional; nuevamente este compuesto se pasa por un colador o filtro que permita eliminar los grumos que quedan en ella, por último le agregamos vaselina para mantener la frescura del betún, se deja reposar por aproximadamente unas 24 horas en el envase a utilizar. De ahí inician una variedad de pruebas con el propósito primordial de determinar parámetros de suma importancia, tales como la viscosidad, la resistencia y la durabilidad del producto final obtenido (Obeso y Vega, 2021).

Figura 1

Proceso de Producción de Betún a base de cascara de Banano



Nota. se identifica la fruta de banano, la recolección y lavado de las cascara, el secado y producto final, el betún. Autoría Propia.

Además, se comparó detalladamente y en profundidad los resultados obtenidos con los de un betún convencional utilizado como referencia, con la finalidad de evaluar de manera precisa y acertada el desempeño excepcional del betún a base de cáscara de banano. El análisis comparativo permitió evidenciar las

ventajas y beneficios que ofrece el betún a base de cáscara de banano en términos de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Tabla 1

Comparativo entre el Betún a Base de Cascara de Banano y Betún Tradicional

Aspecto	Betún a base de cáscara de banano	Betún convencional (derivado del petróleo)
Materia prima	Cáscara de banano (residuo agrícola reutilizado)	Derivados del petróleo (recursos no renovables)
Proceso de producción	Requiere procesos de recolección, limpieza, cocción y mezcla de ingredientes naturales (Hernández et al., 2014)	Proceso industrial basado en la refinación de petróleo
Composición química	Rica en celulosa, hemicelulosa, lignina, fibra y antioxidantes (Armijos, 2023)	Compuestos químicos derivados del petróleo, parafinas, y tintes
Propiedades físicas	Textura suave y cremosa, fácil de aplicar, color customizable (Badii et al., 2017)	Textura densa, grasosa, aplicación uniforme, color oscuro estándar
Propiedades mecánicas	Alta resistencia y durabilidad; mantiene la flexibilidad del cuero, buena impermeabilidad (Obeso y Vega, 2021)	Buena impermeabilidad, resistencia estándar pero menor flexibilidad del cuero a largo plazo
Impacto ambiental	Sustancialmente bajo; aprovecha un desecho agrícola y reduce la huella de carbono (Maliza, 2023)	Alto; derivado de recursos fósiles, asociado con emisiones de gases de efecto invernadero
Seguridad para el usuario	Totalmente natural; no genera reacciones alérgicas ni efectos adversos en la piel (Cabrera et al., 2022)	Puede contener químicos que irriten la piel o sean tóxicos en ciertas exposiciones

Aspecto	Betún a base de cáscara de banano	Betún convencional (derivado del petróleo)
Durabilidad del producto	Mantiene el brillo y la protección durante más tiempo; probado en condiciones adversas (Obeso & Vega, 2021)	Mantiene el brillo durante un tiempo moderado; puede requerir reaplicaciones frecuentes
Costo de producción	Relativamente bajo, ya que utiliza residuos agrícolas y requiere menos energía en su fabricación (Cabrera et al., 2022)	Alto, debido al costo del petróleo y los procesos industriales involucrados
Sostenibilidad	Alta; promueve la economía circular y reduce los residuos (Hernández et al., 2014)	Baja; depende de recursos no renovables y genera más residuos ambientales
Aplicaciones adicionales	Potencial para uso en la industria automotriz, construcción y tecnología (Cabrera et al., 2022)	Usos limitados al cuidado de calzado y productos de cuero

Nota. Comparativo detallado entre el betún a base de cáscara de banano y un betún convencional, se pueden evaluaron varios aspectos claves, incluyendo las propiedades físicas, químicas y mecánicas, así como su impacto en términos de sostenibilidad y costo. Autoría Propia.

El betún de cáscara de banano destaca por su composición natural y sostenible, que proporciona una textura más suave y fácil de aplicar. En contraste, el betún convencional está compuesto por parafinas y productos derivados del petróleo, que aunque efectivos, no ofrecen los beneficios adicionales de la cáscara de banano como su capacidad para nutrir y proteger las fibras del cuero; En términos de durabilidad y resistencia, el betún a base de cáscara de banano ofrece una mayor flexibilidad y protección de las superficies de cuero a lo largo del tiempo, mientras que el betún convencional tiende a perder efectividad con el uso repetido y puede requerir aplicaciones más frecuentes; Uno de los mayores beneficios del betún de cáscara de banano es su bajo impacto ambiental, ya que reutiliza un desecho agrícola y reduce las emisiones de carbono, en comparación con el betún convencional que está asociado con altos niveles de contaminación y depende de recursos no renovables y el proceso de producción del betún de cáscara de banano es más económico, debido a la disponibilidad y bajo costo de la materia prima. En contraste, el betún convencional presenta un costo de producción más alto, relacionado con la dependencia de productos petrolíferos y procesos industriales intensivos.

Esta metodología innovadora y precisa permitió obtener información objetiva y confiable sobre las características y potencialidades verdaderamente prometedoras del betún a base de cáscara de banano. De esta manera, se ha logrado demostrar la viabilidad y efectividad del uso de este material como una alternativa sostenible altamente recomendable en la industria.

Para poder llegar a este resultado se realizaron dos pruebas iniciales:

La primera se realizó el mismo proceso de selección, lavado, cocci3n de las cáscaras, enfriamiento, licuado y colado de los grumos para dejar solamente una crema viscosa de color blanquizca como resultado del proceso, el betún se coloca en los envases seleccionados, este resultado se probó en cinco pares de botas con buenos resultados, de protección y brillo; sin embargo, al cabo de cinco días, la crema "Betún" inicia a cambiar de color y produce un olor de materia en descomposición, esto indicaba que le hacía falta el colorante y un componente que permitiera mantener su frescura.

En la segunda prueba se realizó el mismo proceso hasta llegar a la licuadora, donde le agregamos colorante, y glicerina, la cual previene la reseque3dad del betún al mantener su humedad. Esto asegura que la mezcla no se vuelva rígida con el tiempo y conserve su textura maleable, a su vez permite que la aplicación del betún sobre las superficies de cuero logre que se extienda de manera uniforme.

APLICACIÓN DEL BETÚN DE CÁSCARA DE BANANO EN ZAPATOS Y ARTÍCULOS DE CUERO

Prender bien la superficie sobre la que se va a aplicar el producto con el betún de cáscara de banano empleando un cepillo o cepilladora de zapatos de alta calidad. Es importante asegurarse de que el cepillo esté en perfectas condiciones para lograr resultados óptimos. Coloque una generosa cantidad del betún de cáscara de banano sobre un paño limpio, suave y libre de cualquier tipo de impurezas. Vierta la menor cantidad posible, aunque suficiente, para cubrir completamente el área a tratar. Con movimientos circulares, aplique firmemente el producto, asegurándose de cubrir cada centímetro de la superficie.

Esto garantizará que el betún penetre profundamente en el cuero y realce su brillo natural. Para aquellas superficies de cuero que estén secas o resacas, se recomienda realizar un paso adicional antes de aplicar el betún.

Aplicar una capa de crema humectante sobre el cuero y dejar que se absorba durante unos minutos. Esto ayudará a restaurar la humedad perdida y preparará el cuero para recibir el betún de cáscara de banano. Es importante tener en cuenta que, debido a que el betún de cáscara de banano es un producto completamente natural, no ocasionará ningún daño o reacción alérgica en la piel. Esto lo convierte en una opción segura y confiable para proteger y mejorar la apariencia de sus zapatos de cuero. Para obtener resultados óptimos, se recomienda aplicar inicialmente tres capas del producto. Cada capa debe tener un periodo de secado de 24 horas para permitir que el betún de cáscara de plátano se absorba completamente en las fibras del cuero. Este proceso garantiza que el cuero esté impregnado con las propiedades nutritivas y protectoras del betún, asegurando así una mayor durabilidad y resistencia. Al finalizar el proceso de aplicación, asegúrese de secar cuidadosamente la superficie con un paño limpio y suave. Esto permitirá que el brillo del lustre repelepolvos del betún de cáscara de banano se destaque y brinde un aspecto impecable a sus zapatos de cuero. Con estos simples pasos y el uso del betún de cáscara de banano, podrá mantener sus zapatos de cuero en excelente estado y disfrutar de su apariencia brillante y protegida durante mucho tiempo.

Pasados 20, 30, 40 días según sea el caso, usted puede medir el comportamiento de la superficie del cuero. Si tiene algo de suciedad, debe ser muy poca. Sin embargo, para evitar que lo poco que exista cause alguna molestia visual, debe limpiar rápidamente con un paño seco. Proceda entonces con el cuarto mantenimiento con el mismo procedimiento. Este periodo es el que permitirá que el betún y especialmente la cáscara de banano realicen la absorción, hidratación, lubricación e impermeabilización de las fibras del cuero.

Mantener el betún en un lugar fresco y seco, tapado, para evitar que adquiera polvillo o pierda aceite por la acción del aire. Si bien la descomposición de la cáscara compostada, impregnada con grasa animal, no emana ácido de potasio diluido como solución nutritiva del cuero, al contrario, ayuda a mantener la flexibilidad, impide la alteración natural de las pieles, estimula el uso de esta valiosa materia prima, provoca ahorro económico por compra de productos sintéticos y atenta contra la economía de países industrialmente desarrollados. A fin de comparar el betún casero con otros betunes existentes en el mercado, se prepararán productos de igual calidad, en cantidad de 100 g así: betún marrón, pastoso, a base de costras de árboles frutales; betún transparente o incoloro, líquido, que se obtiene a base

de resina de pinos; betún sintético excelente a base de parafina y alcanfor y betún casero para obtener un resultado aproximado anotado en las características respectivas.

Apenas veinte días después de preparado, el betún sintético todavía es un producto de excelente movilidad y brillantez, después de tres meses de almacenamiento, ha perdido movilidad y brillo. El betún transparente se obtiene calentando alcanfor con aguardiente de caña; este producto al almacenarlo adquiere olor penetrante y es capaz de opacar y saponificar superficies teñidas con anilina, como se nota en las costuras de algunos zapatos principalmente de color claro. Al mes de preparado se nota diferente movimiento entre capas.

RESULTADOS

Durante la realización de este trabajo se lograron obtener resultados prometedores en cuanto a la elaboración del betún a base de cáscara de banano. Se determinó que la composición química de la cáscara de banano es extremadamente rica en compuestos valiosos como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, los cuales son fundamentales para conferir las propiedades necesarias al betún (Armijos, 2023). Además, se encontraron beneficios extraordinarios para la salud asociados al consumo de la cáscara de banano, como su alto contenido de fibra y antioxidantes esenciales para el organismo humano. En cuanto a la elaboración del betún, se llevó a cabo un complejo proceso de extracción de la cáscara de banano y su posterior preparación, obteniendo un producto final de altísima calidad con características y propiedades totalmente deseables.

Finalmente, se identificaron y exploraron detalladamente diversas aplicaciones potenciales para el betún a base de cáscara de banano, en áreas tan diversas como la construcción, la industria automotriz, la tecnología e incluso la medicina (Cabrera et al., 2022). Estos impresionantes resultados demuestran indudablemente el inmenso potencial de aprovechar este desecho agrícola para la producción de un material extremadamente útil y sostenible, capaz de marcar una diferencia significativa en la sociedad y en el cuidado del medio ambiente. Además, se realizaron pruebas adicionales para evaluar la resistencia del betún y se comprobó que tiene una durabilidad excepcional incluso en condiciones climáticas adversas. También se llevaron a cabo investigaciones exhaustivas para mejorar la eficiencia

en el proceso de producción y reducir los costos, lo que ha permitido aumentar la viabilidad económica de este innovador material.

Asimismo, se realizaron estudios para evaluar el impacto medioambiental de utilizar el betún a base de cáscara de banano en comparación con los materiales convencionales. Los resultados revelaron una disminución significativa en la emisión de gases de efecto invernadero y en el consumo de energía durante la producción (Maliza, 2023). Esto ofrece una alternativa sostenible y amigable con el medio ambiente en comparación con los productos tradicionales derivados del petróleo. Además, se llevó a cabo una evaluación de ciclo de vida para analizar la sostenibilidad a largo plazo del betún a base de cáscara de banano, mostrando cómo su utilización contribuye a la reducción de residuos en vertederos y a la conservación de los recursos naturales.

DISCUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran el alto potencial de la cáscara de banano como materia prima para la elaboración de betún, lo que subraya la viabilidad de convertir un residuo agrícola en un producto útil y sostenible. La composición química de la cáscara, rica en celulosa, hemicelulosa y lignina, proporciona las características necesarias para crear un betún que exhibe propiedades físicas y mecánicas comparables, e incluso superiores, a las de los betunes comerciales (Armijos, 2023). Esto posiciona al betún a base de cáscara de banano como una alternativa prometedora en actores como el cuidado de calzado y cuero. En términos de eficacia del producto, las pruebas revelaron que el betún de cáscara de banano ofrece una excelente durabilidad, resistencia y capacidad de impermeabilización, lo que sugiere un rendimiento adecuado incluso en condiciones climáticas adversas (Cabrera et al., 2022). Este comportamiento superior puede estar relacionado con las propiedades naturales de los compuestos presentes en la cáscara de banano, en particular su capacidad para nutrir y proteger las fibras del cuero.

El análisis comparativo realizado entre el betún de cáscara de banano y los betunes tradicionales indica que el primero no solo es competitivo, sino que además presenta ventajas en términos de sostenibilidad, seguridad y ausencia de efectos adversos en la piel (Badii et al., 2017). Esta cualidad lo hace especialmente adecuado para su aplicación en productos sensibles como calzado de cuero, sin riesgos de reacciones

alérgicas, lo que constituye un importante avance en la creación de productos amigables con el usuario.

Uno de los puntos más destacables del estudio fue la evaluación medioambiental. Los resultados indican que el uso de cáscaras de banano para la producción de betún reduce significativamente la huella ecológica, tanto en términos de emisiones de gases de efecto invernadero como en el uso de energía, en comparación con los betunes derivados de petróleo (Maliza, 2023). Esto respalda la hipótesis inicial de que este producto ofrece una alternativa más sostenible y responsable frente a los productos sintéticos del mercado.

A pesar de los resultados prometedores, es importante considerar las limitaciones del estudio. La optimización del proceso de producción aún debe abordarse para reducir costos y mejorar la eficiencia a escala industrial (Obeso y Vega, 2021). Además, sería útil ampliar las investigaciones sobre la durabilidad del betún de cáscara de banano en diferentes condiciones ambientales y aplicaciones más allá del cuero, como en la industria automotriz o la construcción, tal como se sugirió en los resultados.

Finalmente, este estudio representa una importante contribución al concepto de economía circular al reutilizar residuos orgánicos para la creación de productos útiles. No solo se genera valor económico al aprovechar desechos que de otra forma serían descartados, sino que también se promueve la conservación de recursos y la reducción de impactos ambientales negativos, alineándose con los principios de sostenibilidad y reducción de desechos (Hernández et al., 2014).

En resumen, la investigación abre nuevas perspectivas para el desarrollo de productos ecológicos y sostenibles, aunque se requieren estudios adicionales para perfeccionar los métodos de producción y evaluar su aplicación a mayor escala.

CONCLUSIONES

- El estudio ha demostrado que la cáscara de banano es una materia prima viable para la producción de betún, ofreciendo una alternativa sostenible frente a los productos convencionales derivados del petróleo. Las pruebas realizadas evidencian que este betún cumple con las propiedades necesarias para aplicaciones en productos de cuero, como la impermeabilización, nutrición y protección de las fibras del material.
- El estudio reveló que el betún a base de cáscara de banano es una opción altamente prometedora tanto desde el punto de vista económico como desde el medioambiental. Los resultados obtenidos demuestran que este material tiene un amplio potencial de aplicación en diversas industrias y puede contribuir significativamente a la sostenibilidad y al cuidado del medio ambiente. Es imperativo continuar investigando y desarrollando esta innovadora solución para maximizar sus beneficios y promover su adopción a gran escala. La utilización de los recursos naturales de manera más eficiente es fundamental para garantizar un futuro más sostenible y reducir nuestra dependencia de los recursos no renovables. El betún a base de cáscara de banano representa un paso importante hacia ese objetivo y su implementación exitosa puede marcar un hito en la manera en que utilizamos los desechos agrícolas y reducimos nuestro impacto en el planeta.
- Este estudio ha contribuido significativamente al conocimiento y comprensión de las propiedades y potencialidades del betún a base de cáscara de banano. Los resultados obtenidos respaldan la idea de que este material puede ser utilizado de manera efectiva en la industria de la protección del calzado y el cuero, brindando beneficios tanto económicos como ambientales. Esta investigación sienta las bases para futuros estudios y aplicaciones prácticas del betún a base de cáscara de banano, consolidándose como una alternativa sostenible y prometedora en el campo de la ingeniería. La utilización de dicha sustancia derivada de las cáscaras de banano ha abierto las puertas a nuevas posibilidades en la industria, ya que se ha demostrado que posee propiedades adherentes y cohesivas mejoradas en comparación con el betún convencional. Esto implica que su uso puede mejorar la calidad y durabilidad de las superficies que lo contienen, lo que a su vez lleva a reducir costos de mantenimiento a largo plazo.

Por otro lado, este estudio ha revelado que el betún a base de cáscara de banano presenta propiedades resistentes a las altas temperaturas, lo que lo convierte en una opción viable para su uso en zonas con climas extremos. Además, se ha observado que el betún a base de cáscara de banano tiene un menor impacto ambiental en comparación con el betún convencional, ya que su producción requiere una menor cantidad de energía y recursos naturales. Estos hallazgos respaldan la idea de que el uso de esta alternativa sostenible puede contribuir a la reducción de la huella de carbono por parte de las industrias.

- La elaboración del betún a partir de residuos de cáscara de banano representa un ejemplo concreto de economía circular, al reutilizar desechos agrícolas para la creación de un producto útil y comercializable. Este enfoque contribuye a la reducción de residuos orgánicos y minimiza el impacto ambiental asociado a la producción de betunes convencionales.
- En comparación con los betunes tradicionales, el producto elaborado a partir de cáscara de banano mostró un mejor rendimiento en términos de flexibilidad, resistencia y durabilidad. Además, el análisis comparativo reveló que, debido a su composición natural, el betún de cáscara de banano es seguro para el usuario, sin causar reacciones alérgicas o irritación en la piel.
- Si bien los resultados son prometedores, se recomienda continuar investigando para optimizar el proceso de producción a escala industrial y evaluar el rendimiento del betún en diferentes aplicaciones y condiciones climáticas. Además, estudios sobre su vida útil y conservación a largo plazo serían beneficiosos para asegurar su competitividad en el mercado.

REFERENCIAS

- Apolo Cuenca, J. S. y Espinoza Quizhpe, L. A. (2022). *Obtención de nanofibras de celulosa a partir del raquis de banano aplicado a la remoción de azul de metileno*. Universidad Técnica de Machala. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/19967>
- Arévalo Villar, P. A. y Buitrago Castrillón, D. (2014). *Manejo de vertimientos generados por una industria de betunes mediante procesos de precipitación química con bentonita* [tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/949/
- Arias, P., Dankers, C., Liu, P., & Pilkauskas, P. (2004). *La economía mundial del banano 1985-2002*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://www.fao.org/3/y5102s/y5102s00.htm>
- Armijos Hurtado, A. A. (2023). *Diseño de un proceso industrial para la obtención de un plástico biodegradable a partir de la cáscara de banano (Musa paradisiaca) para la empresa ROLDEG SA* [Tesis de pregrado, Universidad de Espoch]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20364>
- Atúncar Vilela, W. B., Gonzáles Mora, H. E., Arango, P., Cárdenas-Oscanoa, A. J. (2024). Elaboración de papel con fibra virgen y reciclada reforzada con celulosa nanofibrilada de *Guadua angustifolia*. *Colombia Forestal*, 27(2). <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2024.2.a20917>
- Badii, M. H., Castillo, R. M., Wong, A., & Villalpando, P. (2017). Diseños experimentales e investigación científica. *InnOvaciOnes De NegOciOs*, 4(8), 5-16. <https://doi.org/10.29105/rinn4.8-5>
- Baquero Castro, P. N. (2022). *Estudio de las posibles soluciones para mitigar los impactos ambientales generados por la explotación de arenas bituminosas, en Athabasca, Canadá* [tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8955>

- Benavides, H. O. y León, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. IDEAM–Meteo/008-2007 Nota Técnica del Ideam.
- Bernacer, R. (9 de septiembre de 2022) *Nada en la información nutricional del plátano (ni la banana) señala que engorda*. Nutriendo. <https://www.academianutricionydietetica.org/saber-comprar/valor-nutricional-platano-engorda/>
- Betancourth, K., Melo, M., & Malte, A. (2023). *Creación de bioplástico a partir de almidón de la cáscara de plátano a escala laboratorio* [Tesis de pregrado, Universidad Mariana]. <https://repositorio.umariana.edu.co/handle/20.500.14112/28269#page=1>
- Cabrera Mori, E. J., Díaz Queypo, R. E., Huamán Pecho, T., Machado Kaizen, S. B., & Otoy Novoa, G. D. (2022). *Producción y comercialización de betún a base de cascara de plátano* [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/e4235fde-ab3c-478e-b294-b391518160a9>
- Carranza, N., Aneli, L., y Saavedra Castillo, E. T. (2022). *Dosis y tiempo óptimo de contacto de la cáscara de plátano en la remoción de zinc en aguas del río San Lorenzo, Shorey* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31485>
- Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Núñez, N., & Peñaloza, S. (2015). Bioplástico a base de la cáscara del plátano. *Revista de Iniciación Científica*, 1(1), 34-37. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/346/html>
- Castillo, V. y Alexander, L. (2024). *Caracterización de pectina de cáscara de banano musa paradisiaca como una alternativa de agente coadyuvante* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Bolívar]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16347>

- Castillo-Castañeda, Y. A. (2023). *Remoción de nitrógeno y fósforo en un humedal artificial utilizando biomasa de cáscara de plátano* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/36d70412-eee8-4283-8ba2-0f33802b2187>
- Chasing Sandoval, A. Y. (2024). *Propuesta de alimento balanceado a partir de cascarilla de cacao y cáscara de plátano destinado al ganado porcino-etapa crecimiento* [Trabajo de integración curricular, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/9d252da1-8e80-418d-b018-1eae4f26d2bb>
- Clavijo Moreno, P. V. (2023). *Cáscara de plátanos y bananos como alternativa sostenible para la sustitución del plástico sintético en el Departamento del Meta* [tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. <https://repositorio.usta.edu.co/handle/11634/51640>
- Connan, J., Borrell, F., Vardi, J., Wolff, S., Ortiz, S. M., Engel, M., Gley, R., & Zumberge, A. (2024). Geochemical analysis of bituminous samples from the Pre-Pottery Neolithic B site of Nahal Efe (Northern Negev, Israel): Earliest evidence in the region and an example of alteration of the Dead Sea bitumen. *Organic Geochemistry*, 195, 104844. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2024.104844>
- Díaz Zazo, M. P. (2023). *Prevención de riesgos laborales*. [Versión Kindle]. Google Books. https://books.google.com.co/books/about/Prevenci%C3%B3n_de_riesgos_laborales_Segurid.html?id=rOk9CQAAQBAJ&redir_esc=y
- Espin Bedón, M. S. (2021). *Valoración de la cáscara de musa paradisiaca (plátano) residual, para la obtención de una lámina de plástico biodegradable para el uso en alimentos* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4588718>
- Franco Toquiantzi, C. L. y Pérez Pérez, A. N. (2023). *Viabilidad de la cáscara de rambután (Neptelium lappaceum) para la formulación de harinas compuestas* [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4993?locale-attribute=en>

- Freire Herrera, A. B. y Molina Cevallos, G. G. (2023). *Caracterización fisicoquímica de la cáscara de banano variedad gros michel (musa acuminata, aaa group)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22263>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, P. (2014). Definición del alcance de la investigación que se realizará: exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo en R. Hernández-Sampieri, C. Fernández-Collado y P. Baptista-Lucio (Eds.), *Metodología de la Investigación* (6 ed., pp. 88-101). McGraw-Hill.
- Javier Astete, R. E. (2021). *Validación de la metodología para la determinación de Lignina celulosa y Hemicelulosa por espectroscopia infrarroja en árboles* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_6cd9e98b2f9a30b181d01f4ad86388e8
- Khan Academy. (s.f.). *Fermentación y respiración anaeróbica*. Khan Academy. Recuperado el 9 de octubre de 2024. <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/cellular-respiration-ap/a/fermentation-and-anaerobic-respiration>
- Llivichuzca Toledo, A. F., y Llor Muñiz, J. M. (2023). *Diagnóstico socioeconómico de los pequeños productores de banano del sector San José de la parroquia La Esperanza, cantón Quevedo, Los Ríos Ecuador*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6659>
- López Giraldo, J., Cuarán Cuarán, J. C., Arenas García, L. V., & Flórez-Pardo, Luz-M. (2014). Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico. *Revista colombiana de investigaciones agroindustriales*, 1(1), 7-21. https://www.researchgate.net/publication/320221203_Usos_potenciales_de_la_cascara_de_banano_elaboracion_de_un_bioplastico
- López Giraldo, J.; Cuarán Curán, J. C.; Arenas García, L. V.; Flórez Pardo, L. M. (2014). Usos potenciales de la cáscara de plátano: producción de un bioplástico. *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 1(1), 7-21. <https://doi.org/10.23850/24220582.109>

- Maliza Sisa, E. R. (2023). *Consumo de energías renovables y emisión de gases de efecto invernadero en la economía ecuatoriana* [tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/39697>
- Malte, P. y Rivaldo, B. (2024). *Evaluación de la estabilidad del colorante natural extraído de cáscara de plátano rojo (Musa acuminata) para aplicación en la industria alimentaria* (Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi). <https://repositorio.upec.edu.ec/items/04825ad5-38a8-4f5d-8ac9-4a065b90fc3a>
- Morán Cabezas, C. A. (2024). *Curtición de pieles caprinas con la utilización de tres niveles de castaño (castanea sativa) para elaboración de calzado* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/22737>
- Morán Cabezas, C. A. (2024). *Curtición de pieles caprinas con la utilización de tres niveles de castaño (castanea sativa) para elaboración de calzado* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/22737>
- Obeso Roman, B. y Vega Villareal, E. (2021). *Remoción de plomo mediante el uso de polvo de Cáscara de Musa Paradisiaca (Banano), a nivel de laboratorio* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75133>
- Rivadeneira Barcia, C. S. (2024). *Elaboración de recubrimientos comestibles a base de cáscara de plátano (Musa paradisiaca spp) para la conservación de frutas y hortalizas* [Tesis doctoral, Universidad de Extremadura]. https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/19054/1/TDUEX_2023_Rivadeneira_Barcia.pdf
- Romero Agudelo, R. D. (2017). *Estrategia conjunta para mejorar los procesos de emprendimiento y manejo agronómico del cultivo de plátano (Musa paradisiaca) variedad hartón en el municipio de Mesetas – Meta* (Tesis de pregrado, Universidad de La Salle, Bogotá).

Triveño Checya, R. J. y Guzmán Serrano, S. R. (2024). *Capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales de la harina de plátano Clon hartón común en estado inmaduro* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios).

Satisfacción con la Vida Familiar y Ansiedad ante los Exámenes: Diferencias Según Sexo en Adolescentes Peruanos

RESUMEN

Objetivo: El estudio pretendió explicar la ansiedad ante los exámenes a partir de la funcionalidad familiar, conociendo las diferencias según sexo a través de modelos SEM y análisis de redes.

Metodología: en una muestra de 444 adolescentes peruanos de ambos sexos, con edades entre los 14 y 17 años. El estudio se clasifica como predictivo simple a través de la asociación de variables.

Resultados: Los hallazgos muestran diferencias de efecto pequeño según el sexo en las dos variables estudiadas ($t = 3.26^{**}$, $d = .31$ a -4.62^{***} , $d = .44$), donde los varones perciben mejor funcionalidad familiar y las mujeres muestran mayor ansiedad. Los modelos estructurales propuestos presentan buen ajuste (CFI y TLI $> .95$, RMSEA y SRMR $< .080$). En el grupo muestral de mujeres, la funcionalidad familiar tiene efecto negativo sobre la ansiedad ante los exámenes ($\beta = -.35$, $R^2 = .12$) y en los varones el efecto es menor ($\beta = -.28$, $R^2 = .08$). Estos hallazgos dan apertura al desarrollo de otros estudios que pretendan explicar la ansiedad ante los exámenes a partir de variables implicadas en el grupo primario de apoyo. En cuanto al análisis por redes, se reporta consistencia en la red de mujeres y hombres, donde la satisfacción con la vida familiar tiene mayor influencia sobre la preocupación y emocionalidad en la red de mujeres.

Palabras clave: Funcionalidad familiar, ansiedad ante los exámenes, preocupación, emocionalidad, adolescentes.

Diana Maybe Miranda-Ibarra

Licenciada en Psicología

Mail: dmirandai@ucvvirtual.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7692-9735>

Filiación Institucional: Universidad César Vallejo, Perú

Gutember Viligran Peralta-Eugenio

Doctorando en Educación y magíster en intervención psicológica

Docente investigador

Mail: gutemberpe@gmail.com, gperaltae@ucvvirtual.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1177-6088>

Filiación Institucional: Universidad César Vallejo, Perú

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Miranda-Ibarra, D. M. y Peralta-Eugenio, G. V. (2024). Satisfacción con la vida familiar y ansiedad ante los exámenes: diferencias según sexo en adolescentes peruanos en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 63-90). Editorial CIDE Ecuador.

SATISFACTION WITH FAMILY LIFE AND EXAM ANXIETY: GENDER DIFFERENCES IN ADOLESCENTS

ABSTRACT

Objective: The study aimed to explain test anxiety on the basis of family functionality, in addition to finding out the differences according to sex.

Methodology: in a sample of 444 Peruvian adolescents of both sexes, aged between 14 and 17 years. The study is classified as simple predictive through the association of variables.

Results: The findings show small effect differences according to sex in the two variables studied ($t = 3.26^{**}$, $d = .31$ to -4.62^{***} , $d = .44$), where males perceive better family functionality and females show greater anxiety. The proposed structural models show good fit (CFI and TLI $> .95$, RMSEA and SRMR $< .080$). In the female sample group, family functionality has a negative effect on test anxiety ($\beta = -.35$, $R^2 = .12$) and in males the effect is smaller ($\beta = -.28$, $R^2 = .08$). These findings open the door to the development of other studies that seek to explain test anxiety based on variables involved in the primary support group. As for the analysis by networks, consistency is reported in the network of women and men, where satisfaction with family life has a greater influence on worry and emotionality in the network of women.

INTRODUCCIÓN

La familia desempeña un papel crucial en el desarrollo de cada individuo, actuando como el principal vínculo emocional y socializador, especialmente en la adolescencia. Es en este entorno donde los jóvenes encuentran la capacidad de desarrollar su identidad, junto con la seguridad y adaptación necesarias para la vida en sociedad, logrando así un estado de salud favorable (Olson et al., 1979).

En los últimos años, ha habido un aumento significativo en los niveles de ansiedad entre los adolescentes, abarcando desde niveles moderados hasta severos (Lohiya et al., 2021). En este contexto, 5 de cada 10 jóvenes de entre 15 y 24 años reportan sentirse ansiosos (13%), una situación que se ve exacerbada por problemas familiares y la falta de comunicación y compromiso por parte de los padres para garantizar su bienestar. En China, el 46.7% de los adolescentes experimenta ansiedad ante los exámenes entre los 10 y 19 años, y a menudo perciben insatisfacción familiar (Caiyun et al., 2023). En Perú, 3 de cada 10 niños y adolescentes, de edades comprendidas entre 6 y 17 años, presentan desequilibrio en su salud mental, con un 33.2% y 29.6% atribuido a padres ansiosos y familias disfuncionales, mientras que los índices de divorcio y conflictos no resueltos continúan incrementándose (González et al., 2021; UNICEF, 2020).

Diversas circunstancias contribuyen a sentimientos de soledad durante los exámenes, lo cual afecta las competencias individuales y las expectativas de padres y docentes, creando una percepción de que todas las pruebas deben ser aprobadas para evitar el fracaso, debido a que el ser humano aprende por medio de dos factores externos e internos, de eso depende la autoeficacia (creencia en la propia capacidad), que predecirá el desempeño en las habilidades y en lo personal (Bandura, 2000; Looker & Gregson, 1998; Misra & Castillo, 2004; Nabarro & Ilizarbe, 2020). El aula, como entorno educativo y social, genera angustia significativa en muchos estudiantes, especialmente en contextos disfuncionales, debido a la falta de apoyo psicológico y la disminución en la calidad de vida, manifestando el aumento de la ansiedad (Brock et al., 2024). Esta dinámica resulta en un desequilibrio emocional para ambos, padre e hijo (Arozena, 2022; Ruíz et al., 2020), donde la ausencia de conexión y la inflexibilidad dentro de la familia fomentan la inseguridad (Olson et al., 1979).

Por el contrario, provenientes de familias funcionales buscan soluciones y generan cambios, porque sus necesidades primarias son cubiertas (autonomía, confianza, autoestima, etc.) (Linehan & Koerner 1993; Olson et al., 1979; Tueros, 2018), de ese modo, la familia al ser el eje de mayor influencia aporta de manera directa o indirecta los elementos biopsicosociales (raíces para el desenvolvimiento biológico, psicológico y social) (Bronfenbrenner, 1986; Garibay, 2013; Losada et al., 2019; Morris et al., 2017); los padres son el reflejo de las competencias sociales en los menores (Espinosa et al., 2020). En un estudio de Alemania, analizaron las demandas familiares (DF) y la satisfacción con la vida familiar (SVF) durante la pandemia de COVID-19, con un total de $n = 1.042$ participantes. Según los resultados, comprobaron que el estado de la interacción y el estado de los padres es predictor en los cambios de estas variables a lo largo del tiempo, en promedio, las DF y la SVF aumentaron durante ese tiempo, sobre todo en hijos menores (Rudolph y Zacher, 2021).

La ansiedad frente a los exámenes se manifiesta cuando los estudiantes se preocupan por posibles resultados desfavorables en las pruebas de aptitud (Sarason & Sarason, 1990; Zeidner, 1998). Estos estudiantes perciben las evaluaciones como una amenaza a su individualidad (Spielberger & Vagg, 1995). La ansiedad comprende dos componentes principales: el primero es cognitivo, que surge tras experimentar ansiedad e incluye expectativas negativas, pensamientos irracionales y una preocupación excesiva por uno mismo, la situación y sus posibles consecuencias; el segundo componente es emocional y está relacionado principalmente con reacciones fisiológicas y afectivas posteriores a la ansiedad, como sentimientos de malestar, desagrado e intranquilidad (Liebert & Morris, 1967). La ansiedad es una reacción que acompaña a las personas a lo largo de su aprendizaje, pero en el contexto de los exámenes, se manifiesta como una respuesta de afectividad e irritabilidad ante las pruebas de aptitud, ocasionando cambios tanto fisiológicos como psicológicos (Spielberger, 1980a).

Según postula Bronfenbrenner (1979), el ambiente cercano (familia) es la influencia inmediata que implica en la conducta humana (la función psicológica de las personas), entendida como la interacción entre el entorno próximo y la persona, que permite el desarrollo de la conducta humana debido al intercambio de experiencia (Lewin, 1936).

El postulado del ambiente "Ecológico" considera la interacción progresiva, adaptada al hombre como ser activo y su entorno inmediato (que también suele cambiar). La familia juega un papel fundamental, expresando de forma inmediata conductas, roles y contextos cotidianos (Bronfenbrenner, 1979).

El funcionamiento familiar tiene que ver con el futuro comportamiento de los individuos, como vertiente emocional en el desarrollo humano, antepuesta por influencia familiar, a su vez, existen otros ambientes importantes como hospitales, escuelas, situación laboral, etc., que afectan de manera directa e indirecta tanto a los padres como a los menores (Bronfenbrenner, 1986).

Este sistema impacta directamente en la proximidad y el contacto con la figura de apego, activándose cuando dicho contacto disminuye o se percibe una amenaza en la relación con esa persona significativa para el individuo. De este modo, los modelos a seguir influyen en aspectos como el afrontamiento de situaciones, la regulación emocional y la resolución de problemas, reflejando el papel central de la figura de apego en estos procesos (Bowlby, 1969).

En un estudio desarrollado en China con adolescentes, se informa que el 46.7% padece ansiedad, lo cual está asociado con diversas variables, entre ellas la satisfacción familiar (Caiyun et al., 2023). En Brasil, un análisis de la ansiedad ante los exámenes en adolescentes, las evidencias denotan índices elevados, con diferencias significativas según el sexo, donde las mujeres perciben más ansiedad que los varones (Arozena, 2022). En España, al evaluar este tipo de ansiedad, se sugiere que las mujeres muestran mayor respuesta fisiológica y cognitiva de ansiedad que los varones (Torrano et al., 2017). En Perú, al comprobar la correlación de ansiedad y funcionalidad familiar, se comprueba que los adolescentes con mayor ansiedad provienen de hogares con baja funcionalidad familiar, a su vez, son las mujeres que padece mayor ansiedad que los varones (García y García, 2021; Pampamallco y Matalinares, 2021).

En un metaanálisis compararon 46 trabajos empíricos (1980 – 2017, con un total $N = 11,772$), para identificar diferencias de género en la satisfacción con la vida (SV) en niños y adolescentes de ambos sexos. Se identificó que la SV se mantiene invariante en los grupos de género, sin embargo, se encontró una diferencia leve en favor de los niños y adolescentes varones (Chen et al., 2020).

En cuanto a las aplicaciones prácticas, los resultados obtenidos proporcionan información valiosa para que los estudiantes puedan profundizar en las variables estudiadas. Esta investigación resulta significativa debido a la escasez de estudios que exploren ambas variables dentro de la población seleccionada, lo que permite identificar características relevantes relacionadas con la problemática actual. De ese modo, el estudio contribuye en la proporción de información, con los resultados hallados, para su intervención posterior desde la evidencia científica, que suma a la literatura existente, en que la satisfacción familiar y la salud mental, lleven una estrecha relación, por el carácter influyente la correspondencia satisfactoria en la familia (Sánchez et al., 2020).

Las investigaciones previas manifiestan una prevalencia alta alrededor del mundo, sin embargo, en el país peruano permanece desatendida esa área de investigación, por tanto, tiene como objetivo analizar cómo la satisfacción con la vida familiar tiene efecto sobre ansiedad ante los exámenes, estableciendo diferencias según sexo tanto el modelo SEM como en el análisis de redes en las variables estudiadas.

METODOLOGÍA

DISEÑO DEL ESTUDIO

La investigación se ubica en los estudios predictivos simples, donde se asocian dos variables a partir de un predictor y una variable criterio (Ato et al., 2013).

PARTICIPANTES

Los participantes encuestados fueron un total de 444 estudiantes de educación básica regular de secundaria de Perú, las edades fueron de 14 a 17 años ($M=14.98$; $DS=.920$), el 46.6% mujeres y 53.4% varones. El proceso de muestreo fue no probabilístico por conveniencia. Los grados a los que se les suministró los instrumentos fueron de tercero a quinto, se retiraron los protocolos de los estudiantes con algún tipo de discapacidad que impida el correcto llenado de los cuestionarios.

PROCEDIMIENTO Y CONSIDERACIONES ÉTICAS

La encuesta fue mediante un formato de preguntas o ítems diseñado para contener el asentimiento informado y los dos instrumentos principales de medición del estudio (Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación [SINEACE], 2020; Useche et al., 2019). Particularmente, el asentimiento informado expresaba la participación voluntaria en la investigación, la confidencialidad (edad, sexo y la fecha de aplicación) e información de contacto de la autora; dicho documento fue firmado por los tutores responsables de los educandos. El proceso de recolección de datos fue desarrollado en agosto (del 8 al 18) del 2023 en Chimbote-Perú. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la facultad de Psicología de la Universidad Cesar Vallejo, con código PID 047/6-2023-II.

INSTRUMENTOS

Satisfacción con la vida familiar (SWFLS): Zabriskie & McCormick (2003) reemplazaron "vida" por "vida familiar", en los 5 ítems originales del cuestionario diseñado por Diener et al. (1985), evalúa el cumplimiento parcial o total en la función de criar a los hijos, el cubrir las necesidades, integración familiar, capacidad reflexiva, seguridad, entre otros, (Olson et al., 1979). La SWFLS está compuesta por 5 ítems, de tipo Likert, con siete alternativas de respuesta que muestran el nivel de acuerdo del participante (totalmente en desacuerdo =1 y totalmente de acuerdo =7). La SWFLS es de una sola dimensión latente (unidimensional) se puede aplicar de manera grupal o individual. Las propiedades psicométricas fueron desarrolladas en una muestra de 804 estudiantes de nivel primario y secundario, y se obtuvieron resultados apropiados del análisis de fiabilidad ($\alpha = 0.84$; $\omega = 0.84$), además se evidencia buen ajuste de la estructura unidimensional de la escala: $\chi^2 = 3.49$; $df = 5$; $p = 0.63$; $CFI = 1$; $RMSEA = 0$ ($IC=90\%$ 0, 0.007) y $SRMR = 0.007$ (Caycho et al., 2018; Zabriskie & Ward, 2013).

El Inventario de autoevaluación de ansiedad ante los exámenes (IDASE), validado por Aliaga et al. (2001) a partir del inventario original de Bauermeister et al. (1983), evalúa la respuesta de los individuos en términos de afectividad e irritabilidad ante estímulos percibidos como amenazantes, provocando cambios fisiológicos y psicológicos. Durante los exámenes, las preocupaciones y pensamientos irracionales afectan la concentración, atención y rendimiento (Spielberger, 1980b; Spielberger y Vagg, 1995). El inventario consta de 20 ítems distribuidos en dos factores: Emocionalidad (10 ítems) y Preocupación (10 ítems), utilizando una escala tipo Likert de 1 (Casi nunca) a 4 (Casi siempre).

Las propiedades psicométricas muestran un buen ajuste en sus cargas factoriales (GFI = .93, SRMR = .055, NFI = .78, CFI = .78, IFI = .77). La fiabilidad de las dimensiones es adecuada, con un α = .843 y un intervalo de confianza del 95% entre .813 y .872.

ANÁLISIS DE DATOS

Luego de aplicar los instrumentos se hizo un barrido de los datos, como retirar valores atípicos que puedan perjudicar los análisis a los que fueron sometidos los datos (Ventura-León et al., 2023). Previo al análisis comparativo y predictivo se estimaron las evidencias de validez y fiabilidad de los instrumentos. Del IDASE se retiró un ítem por poseer pesos factoriales inferiores a .50 (Kline, 2015), luego se comprobó que tanto el IDASE reespecificado con el instrumento de funcionalidad familiar tuvieran buen ajuste (CFI, TLI > .95 y RMSEA < .08) (Byrne, 2016); junto a ello se analizó la confiabilidad siendo la adecuada por ser superior a .70 (Campo-Arias & Oviedo, 2008). Se procedió analizar la comparación de las puntuaciones según sexo bajo los criterios de la significancia estadística y en especial de magnitud de la diferencia (Cohen, 1988). Finalmente, se estimaron los modelos predictivos con ecuaciones estructurales (SEM) siguiendo el criterio de Bentler (1990) (CFI, TLI > .95 y RMSEA < .08, SRMR<.06), analizándose las regresiones y varianza explicada. El análisis se realizó en el Software R Project V4.4.1 y en la interfaz de RStudio V5796.4.2.0.

También se analizaron las variables mediante redes en el Software de libre acceso JASP V0.18.3.0, para comprender de manera óptima los datos, que hacen énfasis en la estimación, estabilidad, inferencia y comparación de redes. Se realizó una valoración a través del método *Partial Correlation*, en conjugación con una matriz no paramétrica. Esta conjugación se estila usar en ítems ordinales (Isvoranu & Epskamp, 2021). En lo que se refiere a centralidad, se realizó con Expected Influence (EI), ya que es considerado como el indicador de centralidad más pertinente en ocasiones cuando la red muestra bordes negativos (Robinaugh et al., 2016). También se realizó un examen de robustez de la red con la técnica de remuestreo no paramétrico, apoyándose en el enfoque *Case Bootstrap* y completando mil interacciones. Finalmente, se hizo una contrastación entre dos redes, una de mujeres y otra de hombres.

Se optó por esta metodología, al acceder a las aproximaciones teóricas y metodológicas que señalen lo más fundamental en estudiar las relaciones, enlaces o contactos entre los actores, a diferencia de otras metodologías que terminan su rigor científico en únicos fines de evidenciar su literatura que defiende sus hallazgos en sus hipótesis.

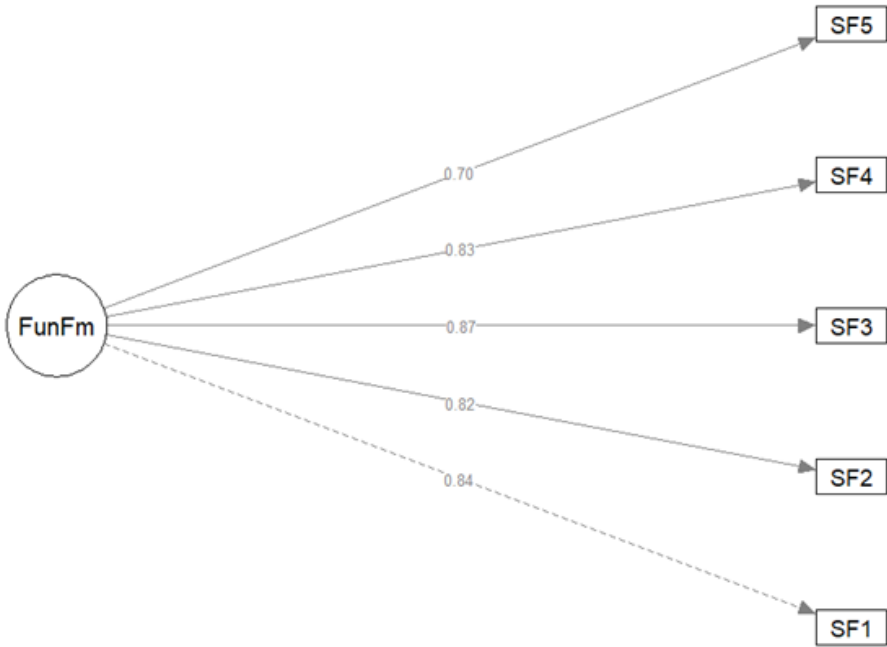
RESULTADOS

EVIDENCIAS DE VALIDEZ Y FIABILIDAD

La estructura factorial unidimensional de la Escala de Funcionalidad Familiar (CFI=1.000, TLI=.999, RMSEA=.037, $\lambda \geq .70$), además de una fiabilidad aceptable (ω =.886) (Figura 1). Así mismo, se comprueba la estructura factorial del Inventario de Ansiedad ante los Exámenes (IDASE) (CFI=.996, TLI=.995, RMSEA=.039, λ .50) con fiabilidad de .876 y .878 para cada dimensión (Figura 2).

Figura 1

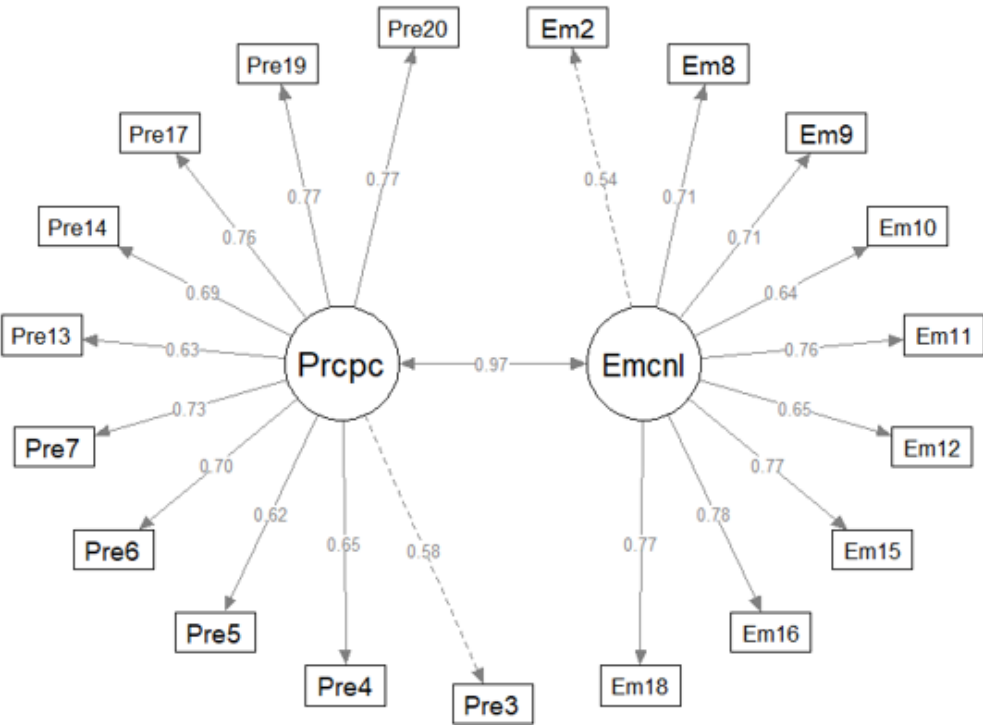
Estructura factorial de la escala de funcionalidad familiar



Nota. Elaboración propia

Figura 2

Estructura factorial del inventario de ansiedad ante los exámenes



Nota. Elaboración propia

ANÁLISIS DESCRIPTIVO COMPARATIVO

Se compararon las puntuaciones según sexo, observándose diferencias estadísticamente significativas en todas las variables de estudio ($t=3.26^*$ a $t=-4.62^{***}$), con un tamaño de efecto pequeño según la d de Cohen ($d=.31$ a $-.44$). La percepción de mejor funcionalidad familiar es para los varones ($M=24.40$) respecto a las mujeres ($M=21.50$); no obstante, son las mujeres quienes se muestran más ansiosas ($M=22.50$ y 23.80) en contraste a los varones ($M=19.90$ y 21.60).

Tabla 1

Diferencias según sexo de las variables de estudio

Variable	Muestra (n=444)		Mujeres (n=207)		Hombres (n=237)		t	p	d
	M	DE	M	DE	M	DE			
Funcionalidad familiar	23.06	6.85	21.50	6.93	24.40	6.49	-4.62	< .001	-.44
Emocionalidad	21.10	6.33	22.50	6.57	19.90	5.87	4.42	< .001	.42
Preocupación	22.62	6.96	23.80	7.16	21.60	6.64	3.26	.001	.31

Nota. $p<.05^*$; $p<.01^{**}$; $p<.001^{***}$

MODELOS PREDICTIVOS

Se ha pretendido explicar la ansiedad ante los exámenes a partir de la funcionalidad familiar. Por lo cual, se propone tres modelos: el de la muestra total, grupo muestral de varones y grupo muestral de mujeres. En los tres modelos hay buen ajuste ($X^2/gl<3$, RMSEA y SRMR<.080, CFI y TLI>.95), permitiendo así analizar el efecto predictivo de la funcionalidad familiar en la ansiedad ante los exámenes. En la muestra total y en el grupo muestral de mujeres la funcionalidad familiar tiene un efecto negativo ($\beta=-.35$) y explica a la variable criterio en un 12% ($R^2=.12$) (Figura 3 y 4), en el grupo muestral de hombres la funcionalidad familiar también tiene un efecto negativo ($\beta=-.28$) explicando en un 8% ($R^2=.08$) a la ansiedad ante los exámenes (Figura 5).

Tabla 2

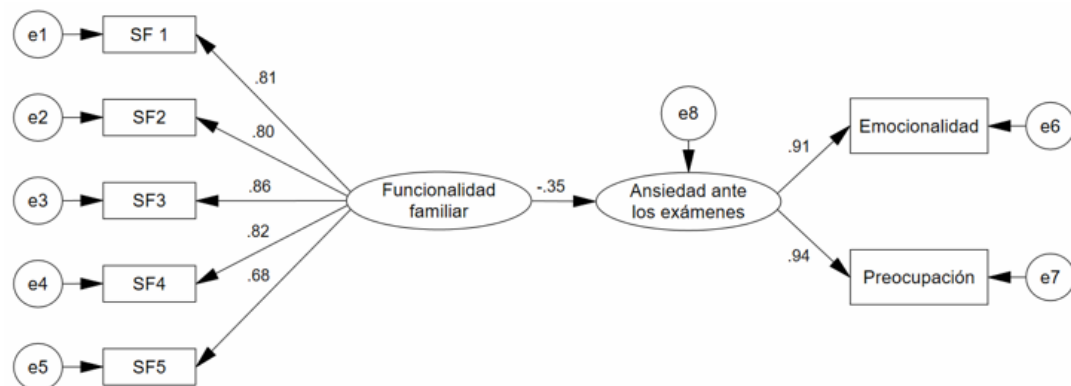
Índices de ajuste de los modelos

Modelo	Ajuste absoluto			Ajuste comparativo	
	X^2/gl	RMSEA [IC 90%]	SRMR	CFI	TLI
Muestra Total	2.353	.055 [.03 - .081]	.046	.991	.985
Mujeres	1.911	.067 [.024 - .106]	.049	.986	.978
Hombres	1.928	.063 [.023 - .099]	.067	.988	.980

Nota. Elaboración propia

Figura 3

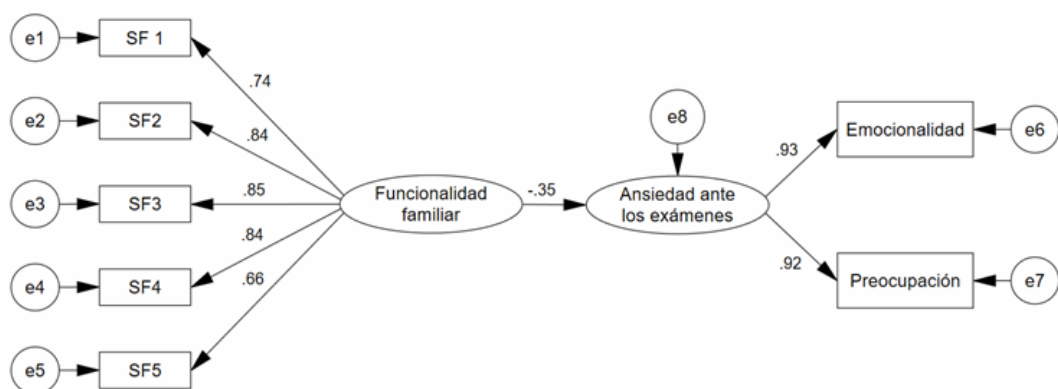
Modelo predictivo de la funcionalidad familiar en la ansiedad ante los exámenes en la muestra total



Nota. Elaboración propia

Figura 4

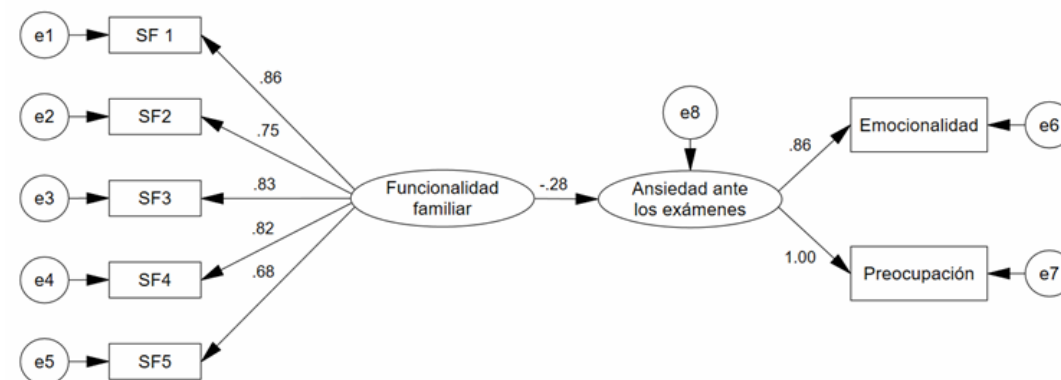
Modelo predictivo de la funcionalidad familiar en la ansiedad ante los exámenes en mujeres



Nota. Elaboración propia

Figura 5

Modelo predictivo de la funcionalidad familiar en la ansiedad ante los exámenes en hombres



Nota. Elaboración propia

ANÁLISIS DE REDES

ESTIMACIÓN DE RED Y CENTRALIDAD

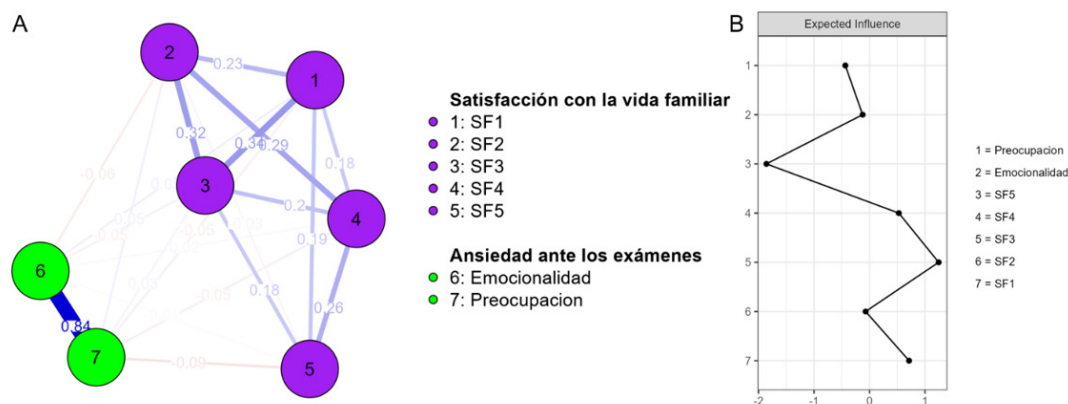
En la matriz se visualiza las interconexiones entre los reactivos de satisfacción con la vida familiar (SF1, SF2, SF3, SF4, SF5) y ansiedad ante los exámenes (emocionalidad y preocupación). Dentro del dominio de satisfacción con la vida familiar, es notable apreciar las relaciones entre SF3 y SF2 ($r = 0.32$), así como entre SF1 y SF3 ($r = 0.36$). En cuanto a los reactivos de ansiedad ante los exámenes, la relación entre preocupación y emocionalidad es significativa ($r = 0.84$). Al analizar las interconexiones entre satisfacción con la vida familiar y la ansiedad antes los exámenes, se encontró que SF5 y preocupación presentan una asociación de -0.09 y SF2 y emocionalidad presenta una relación de -0.63 . Además, entre los reactivos de la ansiedad ante los exámenes se halló relación significativa ($r = 0.84$). Estas interconexiones sugieren relaciones sustanciales entre los diferentes dominios evaluados en la matriz.

En cuanto a la *expected influence*, el ítem SF3 presenta un resultado positivo significativo de 1.246, mientras que SF5 muestra un valor negativo notable de -1.858 . Estos valores de *expected influence* son esenciales, ya que representan la influencia

o conectividad esperada de un ítem específico dentro de la red. Un valor elevado sugiere una influencia o conexión predominante, mientras que los valores bajos señalan una menor incidencia o enlace.

Figura 6

Estimación de la red e índices de centralidad



Nota. Elaboración propia

ESTABILIDAD Y EXACTITUD DE LA RED

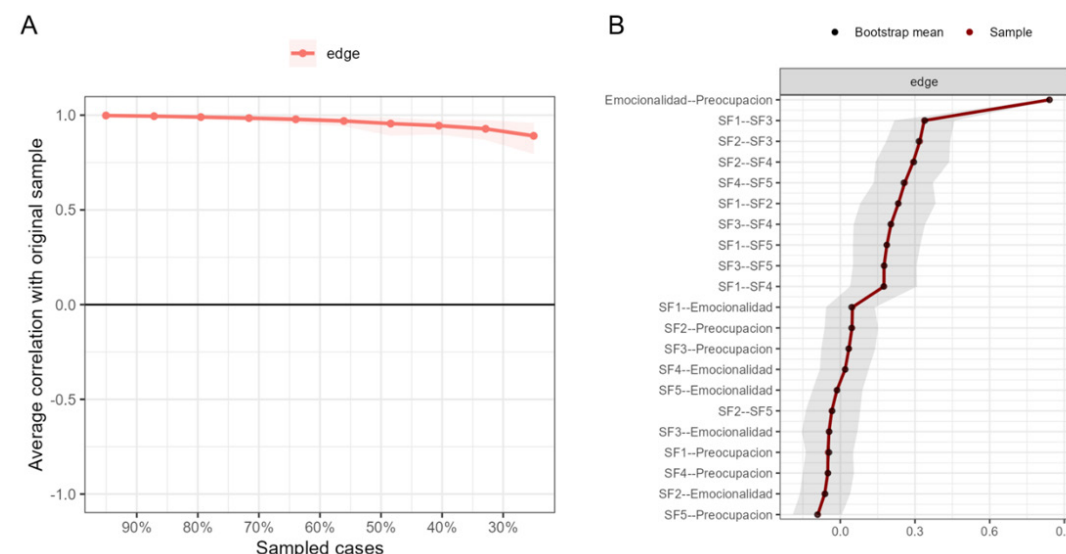
El análisis de estabilidad y exactitud de la red proporcionan una visión clara sobre la robustez y precisión de las conexiones entre las variables medidas. La Figura 7A destaca la estabilidad de las aristas mediante el uso de remuestreo Bootstrap, mostrando una correlación promedio con la muestra original que permanece notablemente alta. Esta se reduce ligeramente, desde cerca de 1.0 con el 90% de los casos muestreados, hasta aproximadamente 0.9 al utilizar solo el 30% de la muestra. Tal estabilidad en las conexiones sugiere que la red es altamente robusta frente a variaciones en el tamaño de la muestra, consolidando la fiabilidad del modelo.

De otro lado, la Figura 7.b de exactitud de las aristas revela que las diferencias entre los valores originales y los obtenidos a través del remuestreo son generalmente pequeñas, oscilando alrededor de 0.0 y alcanzando un máximo cercano a 0.9. Las conexiones más exactas se observan entre las variables Emocionalidad y Preocupación, así como entre SF1 y SF3, indicando una alta precisión en la estimación de estas relaciones.

A pesar de las pequeñas diferencias, las mayores inexactitudes se registran en aristas menos robustas, como las que involucran SF1 y Preocupación, aunque estas diferencias siguen siendo relativamente mínimas. Por tanto, la combinación de la estabilidad y exactitud resalta la eficacia del modelo de red utilizado, ofreciendo confianza en su aplicación para futuras investigaciones en el ámbito psicológico.

Figura 7

Estabilidad de la red



Nota. Elaboración propia

COMPARACIONES

En el análisis comparativo según el sexo, se observa una notable similitud en la estructura general de las interacciones, aunque con diferencias específicas que destacan la importancia del contexto de género en las variables evaluadas. Las redes para mujeres y hombres muestran que la conexión entre Preocupación y Emocionalidad es consistentemente la más fuerte, con coeficientes de 0.83 y 0.85 respectivamente. Esta conexión sugiere una fuerte interdependencia entre estos dos aspectos de ansiedad ante los exámenes, subrayando su papel central en ambos grupos.

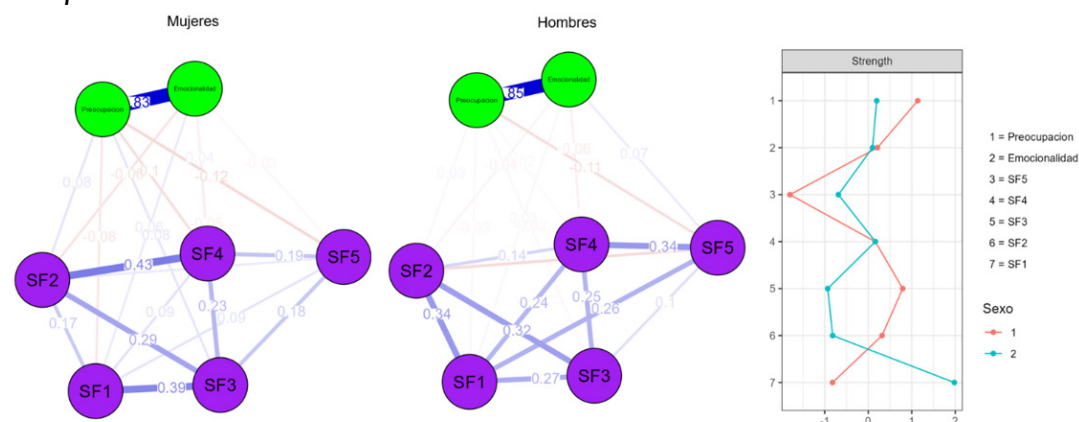
En la red de las mujeres, la variable SF3 muestra una conexión significativa con

SF5 ($r = 0.23$), lo que indica que las mujeres experimentan una relación más pronunciada entre estas dimensiones de la satisfacción con la vida familiar. Además, las conexiones entre SF2 y SF4 ($r = 0.43$) son más fuertes en las mujeres que en los hombres, sugiriendo que ciertos aspectos de la funcionalidad familiar son particularmente relevantes para las mujeres en este contexto. En la red de los hombres, se destaca una interacción robusta entre SF1 y SF3 (0.34), lo que sugiere que, para los hombres, la satisfacción con la vida familiar se ve influenciada de manera diferente, enfatizando la diversidad en las dinámicas familiares. Además, las conexiones de SF1 con SF4 y SF5 son más débiles en comparación con las mujeres, reflejando una diferencia en cómo se perciben y manejan las relaciones familiares.

Las matrices de pesos y medidas de centralidad confirman estos patrones. Para las mujeres, Preocupación presenta una elevada fuerza (1.137) y un valor notable de influencia esperada, indicando que esta variable es un nodo crítico en la red femenina. En los hombres, SF1 y SF2 muestran valores de influencia esperada más elevados (1.980 y 0.194 respectivamente), lo que sugiere que estos elementos de la satisfacción familiar son más influyentes en la red masculina.

Figura 8

Comparaciones de las redes acorde al sexo



Nota. Elaboración propia

DISCUSIONES

La comparación de las puntuaciones según sexo, evidencian diferencias estadísticamente significativas en todas las variables de estudio ($t=3.26^*$ a $t=-4.62^{***}$), con un tamaño de efecto pequeño según la d de Cohen ($d = .31$ a $-.44$). Los varones perciben una mejor funcionalidad familiar ($M = 24.40$) en comparación con las mujeres ($M = 21.50$). Por su parte, las mujeres reportan niveles más altos de ansiedad ($M = 22.50$ y 23.80) que los varones ($M = 19.90$ y 21.60), lo que coincide con los hallazgos de Arozena (2022), donde se reportan diferencias significativas en función del sexo, siendo las mujeres quienes perciben más ansiedad. Además, Tobar y Lara (2023) señalan que la funcionalidad familiar adecuada es un factor clave para el desarrollo emocional del adolescente, ya que le brinda confianza para expresar y manejar sus emociones. En contraste, una menor funcionalidad familiar genera distorsiones emocionales recurrentes, especialmente en las mujeres (Galarraga & Pérez, 2018). Sin embargo, contradice a un metaanálisis que indica algunas trayectorias más negativas para los hombres (Lavner y Bradbury, 2010).

Debido a que, en la muestra total y en el grupo muestral de mujeres la funcionalidad familiar tiene un efecto negativo ($\beta = -.35$) y explica a la variable criterio en un 12% ($R^2 = .12$) en relación con sus dos dimensiones; emocionalidad y preocupación, en el grupo muestral de hombres la funcionalidad familiar también tiene un efecto negativo ($\beta = -.28$) explicándose un 8% ($R^2 = .08$) a la ansiedad ante los exámenes, el estudio de Torrano et al. (2017), coincide que las mujeres interpretan de mayor significado la funcionalidad familiar, por lo mismo que muestran mayor respuesta fisiológica y cognitiva de ansiedad que los varones, manifestándose cambios fisiológicos y psicológicos (Spielberger, 1980b), resultó de efecto predictivo la funcionalidad familiar en la ansiedad ante los exámenes, de acuerdo, a Caiyun et al. (2023), la baja funcionalidad familiar (maltrato emocional y físico entre padres e hijos); se relaciona significativamente con la ansiedad ante los exámenes, a su vez, el convivir en una familia con baja funcionalidad lleva a experimentar niveles elevados de emocionalidad y preocupación (Olson et al., 1979).

En los efectos, se evidencia que la función familiar tiende a explicarse como un efecto directo negativo sobre la ansiedad ante los exámenes ($r = -.33$), la familia al

ser el eje de mayor influencia aporta de manera directa en los elementos biopsicosociales (Bronfenbrenner, 1986; Garibay, 2013); ya que los padres son el reflejo de las competencias sociales en los menores (Espinosa et al., 2020).

En cuanto al ajuste global, en los tres modelos existe buen ajuste ($X^2/df < 3$, RMSEA y SRMR $< .080$, CFI y TLI $> .95$), las evidencias estadísticas de los modelos se ajustan a los datos de la muestra, por lo tanto, el modelo es óptimo para su respectivo análisis (Browne & Cudeck, 1993; Hu & Bentler, 1998; Hu & Bentler, 1999; MacCallum et al., 1996; Tabachnick & Fidell, 2007; Tabachnick & Fidell, 2014).

El estudio tiene como aporte la explicación de la ansiedad a partir de la funcionalidad familiar a través establecimiento de modelos estructurales (SEM), además se identifica cómo perciben las mujeres y los varones la funcionalidad y la ansiedad ante los exámenes, tanto desde correlaciones lineales simples y a través de análisis de redes, en coincidencia, con un metaanálisis en las diferencias de género en la satisfacción de las relaciones, las mujeres están ligeramente menos satisfechas que los hombres (Jackson et al., 2014). Así también, se precisa en qué grupo muestral tiene mayor repercusión la funcionalidad familiar sobre la ansiedad ante los exámenes. Dando apertura al desarrollo de otros estudios que pretendan corroborar y/o robustecer los hallazgos. Por ende, los resultados resaltan la relevancia de considerar el sexo como un factor modulador en la evaluación de la satisfacción familiar y la ansiedad ante los exámenes en comparación con un metaanálisis de Chen et al. (2020). Las diferencias observadas entre las redes de mujeres y hombres subrayan la necesidad de enfoques diferenciados al abordar las dinámicas familiares y emocionales en contextos educativos y psicológicos, proporcionando un enfoque más matizado y efectivo en intervenciones futuras. Este análisis no solo amplía nuestra comprensión de las complejas relaciones entre estas variables, sino que también enfatiza la importancia de una perspectiva de género en la investigación psicológica.

El estudio debido a su naturaleza cuantitativa presenta una serie de limitaciones.

Como primera limitación es la medición de percepciones a través de autoinforme de los participantes en un momento determinado, lo cual puede generar cierto sesgo en la medida de las variables de estudio, siendo necesario robustecer la pesquisa con otro tipo de medida como la cualitativa y/o a lo largo del tiempo con

medidas longitudinales. Otra limitación es el análisis de una sola variable para explicar la ansiedad ante los exámenes y con instrumento de tamizaje, siendo necesario que futuros estudios analicen otras variables relacionadas con el grupo primario de apoyo como: estilos de crianza, satisfacción con la vida familiar, clima social familiar, entre otros. Así también, una tercera limitación no se realizó la invarianza del modelo explicativo, impidiendo conocer si dicho modelo se ajusta de manera similar en los diversos grupos muestrales como edad y género, sugiriéndose que al replicar el estudio se haga dicho análisis para ampliar el conocimiento del modelo. Una cuarta limitación, la aplicación de los instrumentos fue solo en un distrito de Perú (Chimbote) y a través de un muestreo no probabilístico, lo cual impide la extrapolación de los hallazgos, por lo que se recomienda replicar el estudio en diversos contextos del Perú.

CONCLUSIONES

Las puntuaciones, según sexo, se diferencian estadística y significativamente en todas las variables de estudio ($t=3.26^*$ a $t=-4.62^*$), con un tamaño de efecto pequeño según la d de Cohen ($d=.31$ a $-.44$). La funcionalidad familiar en el grupo muestral de las mujeres presenta un efecto negativo con un efecto mediano ($\beta=-.35$) y explica a la variable criterio en un 12% ($R^2=.12$) y en el grupo muestral de los varones tiene un efecto negativo ($\beta=-.28$) explicándose un 8% ($R^2=.08$) a la ansiedad ante los exámenes, en sus dos dimensiones en ambos grupos. Finalmente, en el análisis de redes se reporta consistencia en la red de mujeres y hombres, donde la satisfacción con la vida familiar tiene más influencia sobre la preocupación y emocionalidad ante los exámenes en la red de mujeres.

REFERENCIAS

- Aliaga, J., Ponce, C., Bernaola, E., y Pecho, J. (2001). Características psicométricas del inventario de autoevaluación de la ansiedad ante exámenes (IDASE). *Paradigmas. Revista Psicológica de Actualización Profesional*, 2(3-4), 11-29. <https://www.researchgate.net/publication/320775162>
- Arozena, N. B. (2022). *Ansiedad ante los exámenes en adolescentes de primero y sexto año de una escuela secundaria de la ciudad de Paraná* [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica Argentina]. Repositorio Institucional UCA. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/15974>
- Ato, M., López, J. & Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Annals of Psychology*, 29(3), 1038-1059. <https://doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
- Bandura, A. (2000). Ejercicio de la agencia humana a través de la eficacia colectiva. *Direcciones Actuales en Ciencias Psicológicas*, 9(3), 75-78. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00064>
- Bauermeister, J., Collazos, J., & Spielberger, C. (1983). The construction and validation of the Spanish form of the Test Anxiety Inventory: Inventario de Autoevaluación sobre Exámenes (IDASE) en C. D. Spielberger & R. Díaz-Guerrero (Eds.), *Cross-cultural anxiety 2* (pp. 67-85). McGraw-Hill. <https://psycnet.apa.org/record/1984-16327-001>
- Bentler, P. M. (1990). Comparative fit indexes in structural models. *Psychological Bulletin*, 107(2), 238-246. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.107.2.238>
- Bowlby, J. (1969). *Attachment and loss*. Basic Books. https://mindsplain.com/wp-content/uploads/2020/08/ATTACHMENT_AND_LOSS_VOLUME_I_ATTACHMENT.pdf
- Bronfenbrenner, U. (1979). *The ecology of human development*. Harvard University Press. <https://www.hup.harvard.edu/books/9780674224575>

- Bronfenbrenner, U. (1986). Ecology of the family as a context for human development: Research perspectives. *Developmental Psychology*, 22(6), 723-742. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.22.6.723>
- Browne, M., & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model. En K. A. Bollen & J. S. Long (Eds.), *Testing structural equation models* (136-162). Sage. <https://psycnet.apa.org/record/1993-97481-000>
- Byrne, B. M. (2016). *Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programming* (3.a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315757421>
- Caiyun, C., Liu, P., Wu, F., Wang, H., Chen, S., Zhang, Y., Huang, W., Wang, Y., & Chen, Q. (2023). Factors associated with test anxiety among adolescents in Shenzhen, China. *Journal of Affective Disorders*, 323, 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2022.11.048>
- Campo-Arias, A., & Oviedo, H. C. (2008). Propiedades psicométricas de una escala: La consistencia interna. *Revista de Salud Pública*, 10(5), 831-839.
- Caycho, T., Ventura, J., Barboza, M., Reyes, M., Arias, W., García, C., Cabrera, I., Ayala, J., Morgado, K., y Huamani, J. (2018). Validez e invarianza factorial de una medida breve de Satisfacción con la Vida Familiar. *Universitas Psychologica*, 17(5), 1-17. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy17-5.vifm>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2.a ed.). Lawrence Erlbaum Associates Publishers. <https://www.utstat.toronto.edu/~brunner/oldclass/378f16/readings/CohenPower.pdf>
- Chen, X., Cai, Z., He, J. & Fan, X. (2020). Gender differences in life satisfaction among children and adolescents: A meta-analysis. *Journal of Happiness Studies*, 21, 2279-2307. <https://doi.org/10.1007/s10902-019-00169-9>
- Diener, E., Emmons, R., Larsen, R., & Griffin, S. (1985). The Satisfaction with Life Scale. *Journal of Personality Assessment*, 49(1), 71-75. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4901_13

- Espinosa, A., Mendoza, M., y Villalba, H. (2020). Prácticas parentales en la regulación emocional de adolescentes. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, 23(1), 400. <https://www.iztacala.unam.mx/carreras/psicologia/psiclin/vol23num1/Vol23No1Art19.pdf>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) (2020). *La salud mental de niñas, niños y adolescentes en el contexto de la Covid-19*. [Archivo pdf]. <https://www.unicef.org/peru/media/10616/file/Salud%20menta%20en%20contexto%20COVID19.pdf>
- Galarraga, C., y Pérez T. (2018). Homicidio y disfuncionalidad familiar. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 34(2), 1-10. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=89045>
- García, D., y García, C. (2021). Funcionamiento familiar y ansiedad estado-rasgo en adolescentes. *Journal of Neuroscience and Public Health*, 1(1), 19-26. <https://doi.org/10.46363/jnph.v1i1.3>
- Garibay, S. (2013). *Enfoque sistémico*. Una introducción a la psicoterapia familiar (2.a ed.). Manual Moderno.
- González, F., Pinzón, M., Pineda, B., Del Carmen, C., Valenzuela, E., Herrera, N., y Rubio, M. (2021). Respuesta con enfoque de derechos de la niñez frente a la pandemia por COVID-19 en Chile, Colombia y Perú. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 45, 151. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.151>
- Hu, L., & Bentler, P. (1998). Fit indices in covariance structure modeling: Sensitivity to underparameterized model misspecification. *Psychological Methods*, 3(4), 424-453. <http://dx.doi.org/10.1037/1082-989X.3.4.424>
- Hu, L., & Bentler, P. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1-55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>

- Isvoranu, A. M., & Epskamp, S. (2021). Continuous and ordered categorical data in network psychometrics: Which estimation method to choose? Deriving guidelines for applied researchers. *PsyArXiv*. <https://doi.org/https://doi.org/10.31234/osf.io/mbycn>
- Jackson, J., Miller, R., Oka, M. & Henry, R. (2014). Gender differences in marital satisfaction: A meta-analysis. *Journal of Marriage and Family*, 76(1), 105–129. <https://doi.org/10.1111/jomf.12077>
- Kline, R. B. (2015). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling* (4.a ed.). Guilford Publications. <https://www.guilford.com/books/Principles-and-Practice-of-Structural-Equation-Modeling/Rex-Kline/9781462551910>
- Lavner, J., Bradbury, T. & Karney, B. (2012). Incremental change or initial differences? Testing two models of marital deterioration. *Journal of Family Psychology*, 26(4), 606–616. <https://doi.org/10.1037/a0029052>
- Lewin, K. (1936). Some social-psychological differences between the United States and Germany. *Character & Personality*, 4, 265–293. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1936.tb02034.x>
- Liebert, R., & Morris, L. (1967). Cognitive and emotional components of test anxiety: A distinction and some initial data. *Psychological Reports*, 20(3), 975–978. <https://doi.org/10.2466/pr0.1967.20.3.975>
- Linehan, M., & Koerner, K. (1993). A behavioral theory of borderline personality disorder en J. Paris (Ed.), *Borderline personality disorder: Etiology and treatment* (pp. 103-121). American Psychiatric Press.
- Lohiya, N., Kajale, N., Lohiya, N., Khadilkar, A., Khadilkar, V., Gondhalekar, K., & Agarkhedkar, S. (2021). Test anxiety among school-going children and adolescents, factors affecting and impact on quality of life: A multicenter study. *Indian Journal of Pediatrics*, 88(9), 892–898. <https://doi.org/10.1007/s12098-021-03676-x>

Looker, T., & Gregson, O. (1998). *Superar el estrés*. Pirámide.

Losada, A., Caronello, T., y Estévez, P. (2019). Estilos parentales y Autorregulación Emocional Infantil Estudio de revisión narrativa de la literatura. *Revista REDES*, (40) 11–28. <https://www.researchgate.net/profile/Analia-Losada/publication/340006194>

MacCallum, R., Browne, M., & Sugawara, H. (1996). Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling. *Psychological Methods*, 1(2), 130–149. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.1.2.130>

Misra, R., & Castillo, L. G. (2004). Estrés académico entre los estudiantes universitarios: Comparación de Estudiantes Americanos e Internacionales. *Revista Internacional de Gestión del Estrés*, 11(2), 132–148. <https://doi.org/10.1037/1072-5245.11.2.132>

Morris, A., Criss, M., Silk, J., & Houltberg, B. (2017). The impact of parenting on emotion regulation during childhood and adolescence. *Child Development Perspectives* 11(1), 1–6. <https://doi.org/10.1111/cdep.12238>

Nabarro, F., & Ilizarbe, R. (2020). Procrastinación académica y ansiedad frente a los exámenes en estudiantes de 3 a 5 del nivel secundario en colegios de Lima. *Revista Científica de Ciencias de la Salud*, 13(1), 79-87. <https://doi.org/10.17162/rccs.v13i1.1350>

Olson, D. H., Sprenkle, D. H. & Russell, C. (1979). Circumplex model of marital and family systems: I. Cohesion and adaptability dimensions, family types, and clinical applications. *Family Process*, 18(1), 3-28. <https://doi.org/10.1111/j.1545-5300.1979.00003.x>

Pampamallco, M. y Matalinares, M. (2021). Ansiedad según género, edad y grado de estudios en adolescentes de San Martín de Porres, Lima. *Socialium*, 6(1), 48-64. <https://doi.org/10.26490/uncp.sl.2022.6.1.1106>

Robinaugh, D. J., Millner, A. J., & McNally, R. J. (2016). Identifying highly influential nodes in the complicated grief network. *Journal of Abnormal Psychology*, 125(6), 747–757. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27505622/>

Rudolph, C. & Zacher, H. (2021). Family demands and satisfaction with family life during the COVID-19 pandemic. *Couple and Family Psychology: Research and Practice*, 10(4), 249–259. <https://doi.org/10.1037/cfp0000170>

Ruiz, C., Jiménez, F., García, M., Flores, L., y Trejo, H. (2020). Factores del ambiente familiar predictores de depresión en adolescentes escolares: análisis por sexo. *Revista Digital Internacional de Psicología y Ciencia Social*, 6(1), 104–122. <https://doi.org/10.22402/j.rdi.2020.197.104-122>

Sarason, I., & Sarason, B. (1990). Test Anxiety en H. Leitenberg (Ed), *Handbook of Social and Evaluation Anxiety* (pp. 475–495). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-2504-6_16

Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación (SINEACE). (2020). *Guía para la elaboración y aplicación de encuestas*. <https://repositorio.sineace.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12982/6431/Gu%C3%ADa%20para%20elaboraci%C3%B3n%20y%20aplicaci%C3%B3n%20de%20encuestas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Spielberger, C. D., & Vagg, P. R. (1995). Test Anxiety: A Transactional Process Model en C. D. Spielberger, & P. R. Vagg (Eds.), *Test Anxiety: Theory, Assessment and Treatment* (pp. 3-14). Taylor & Francis. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1209640>

Spielberger, C. (1980a). *Tensión y ansiedad*. Editorial Tierra Firme. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UDELAS.084290/Details>

Spielberger, C. (1980b). *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory*. Consulting Psychologists Press. https://www.researchgate.net/publication/235361542_Manual_for_the_State-Trait_Anxiety_Inventory_Form_Y1_-_Y2

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using multivariate statistics*. Allyn & Bacon/Pearson Education.

Tabachnick, B., & Fidell, L. (2014). *Using multivariate statistics* (7th ed.). Pearson. <https://www.pearsonhighered.com/assets/preface/0/1/3/4/0134790545.pdf>

Tobar, A., y Lara, R. (2023). Funcionamiento familiar y su relación con la regulación emocional en adolescentes de la ciudad de Ambato. *Revista Ecos de la Academia*, 9(17), 83-101. <https://doi.org/10.53358/ecosacademia.v9i17.835>

Torrano, R., Ortigosa, J., Riquelme, A., y López, J. (2017). Evaluación de la ansiedad ante los exámenes en estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria. *Revista de Psicología Clínica con Niños y Adolescentes*, 4(2), 103-110. <https://www.redalyc.org/pdf/4771/477152556002.pdf>

Tueros, Y. (2018). Satisfacción familiar y calidad de vida en adolescentes de una institución educativa de San Juan de Miraflores. *Revistas de la Universidad Autónoma del Perú*. 3(1), 38-58. <https://core.ac.uk/download/pdf/328019922.pdf>

Useche, M., Artigas, W., Queipo, B., y Perozo, E. (2019). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos*. Universidad de La Guajira. https://www.researchgate.net/publication/344256464_Tecnicas_e_instrumentos_de_recoleccion_de_datos_Cuali-Cuantitativos

Ventura-León, J., Peña-Calero, B. N., & Burga-León, A. (2023). The effect of normality and outliers on bivariate correlation coefficients in psychology: A Monte Carlo simulation. *The Journal of General Psychology*, 150(4), 405-422. <https://doi.org/10.1080/00221309.2022.2094310>

Zabriskie, R., & McCormick, B. (2003). Parent and child perspectives of family leisure involvement and satisfaction with family life. *Journal of Leisure Research*, 35(2), 163-189. <https://doi.org/10.1080/00222216.2003.11949989>

Zabriskie, R., & Ward P. (2013). Satisfaction with Family Life Scale. *Marriage and Family Review*, 49(5), 446-463. <https://doi.org/10.1080/01494929.2013.768321>

Zeidner, M. (1998). *Ansiedad de prueba: El estado del arte*. Prensa Plenum.

Retos y Oportunidades en el Marco de las Niif S1 y S2 y los Reportes de Información.

Una visión desde lo Medioambiental,
lo Social y lo Financiero

Ángela Yolima Cita Velandia

MBA con especialidad en Gestión Integrada de la Calidad, Seguridad y Medio ambiente,
Contadora Publica

Mail: aycita@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5636-0107>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000664782

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Andrés David Serrato Guana

Magister en Economía y Finanzas, Especialista en Finanzas y Contador Público

Mail: adserrato@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9021-0869>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000040086

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Irene González Espitia

Magíster en Humanidades, Especialista en Revisoría Fiscal y Contador Público.

Mail: igonzaleze@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2294-5158>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000137189

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Carlos Jhonnatan Alarcón Murillo

Especialista en Evaluación de Impacto Ambiental, Ingeniero Ambiental

Mail: cjaralcon@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9950-5946>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000137189

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Cesar Alberto Wilches Martínez

Magister en Educación, Especialista en Gestión y Finanzas Públicas,
Contador Público

Mail: cwilches@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1341-8660>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000778150

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Cita Velandia, Á. Y., Serrato Guana, A. D., González Espitia, I., Alarcón Murillo, C. J., & Wilches Martínez, C. A. (2024). Retos y oportunidades en el marco de las NIIF S1 y S2 y los reportes de información: una visión desde lo medioambiental, lo social y lo financiero en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 91-142). Editorial CIDE Ecuador.

RESUMEN

El capítulo tiene como objetivo determinar los retos y oportunidades, que, en el marco de las NIIF sobre sostenibilidad, enfrentan las organizaciones, particularmente las PyMES; y cómo desde los reportes de información, que, para la fecha, las grandes empresas entregan, dan una mirada desde lo ambiental, lo social y lo financiero. Para lograr lo descrito, se parte del concepto de sostenibilidad empresarial, seguido por el concepto de calidad, para que posteriormente en la década de los años 70, surgiera la conciencia ambiental, basada en algunos eventos de contaminación que afectaron la salud pública; es por ello por lo que el impacto ambiental causado por las actividades incorpora estos objetivos ambientales, en el desarrollo del negocio de la organización. De igual forma se revisa el concepto de contabilidad ambiental, que permite construir una descripción de cómo los modelos de gestión deben informar desde lo financiero, para reconocer y medir, y cómo se evoluciona para que organismos internacionales como la ONU, incorporara programas y estrategias para consolidar la relación entre medio ambiente y desarrollo, dándole paso al Sistema de Contabilidad Ambiental y Económico (SCAE). Por otro lado, se da una mirada al contexto internacional de las normas de sostenibilidad, en armonía con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), cuya finalidad es proporcionar a los inversores y otras partes interesadas, datos coherentes y comparables sobre el desempeño ESG, de las empresas que cotizan en los mercados financieros, para de esta forma, comunicar de manera efectiva, cómo gestionan los riesgos y oportunidades relacionados con la sostenibilidad en las organizaciones. Para ello, se revisan las Normas Internacionales de Información Financiera de Sostenibilidad, la NIIF S1 y la NIIF S2, emitidas por el Consejo ISSB en junio de 2023, estableciendo un nuevo estándar en la presentación de informes corporativos a nivel internacional. Otro criterio observado, son los estándares GRI, cuyas guías son diseñadas para informar al público los impactos ambientales, económicos y sociales. Se destaca, igualmente, el concepto de materialidad, establecido en las NIIF, por lo cual, se requiere que una entidad, revele información material sobre riesgos y oportunidades relacionados con la sostenibilidad.

La metodología que se propone es un enfoque cualitativo a partir del paradigma interpretativo. El alcance de la investigación es descriptivo, siendo objeto de estudio las NIIF S1 y S2, desde los reportes de información y la educación contable para la sostenibilidad. Inicialmente, se realizó una búsqueda documental sobre investiga-

ciones previas, relacionadas con la contabilidad ambiental y los informes de sostenibilidad. Así mismo sobre documentos de instituciones internacionales y grandes firmas relacionadas con la contabilidad y el aseguramiento de la información que han analizado y explicado el alcance de las NIIF S1 y NIIF S2. Se utilizaron las bases de datos especializadas, relacionando los términos de sostenibilidad, educación contable, reportes de sostenibilidad, contabilidad ambiental, entre otras, como palabras clave. En lo que compete al análisis de la información, se realizó mediante matriz de revisión documental, elaborada por el equipo investigador. Adicionalmente y como parte del estudio realizado, en el cumplimiento del objetivo propuesto en la investigación, se seleccionaron 10 informes de sostenibilidad de empresas colombianas reconocidas en el Dow Jones Sustainability Index. Las compañías colombianas que aparecen reconocidas en el índice a corte de 2023 son: Grupo Argos, Banco de Bogotá, Bancolombia, Davivienda, Ecopetrol, Grupo de Energía de Bogotá, Grupo Éxito, ISA, Nutresa y Terpel. Desde las categorías definidas para el análisis, está principalmente uno de los factores que tiene en cuenta el índice Dow Jones Sustainability, y es la información presentada desde las dimensiones económicas, sociales y ambientales. Cabe mencionar que se agruparon las empresas seleccionadas para el análisis, en tres grandes sectores económicos que fueron identificados así: Hidrocarburos y energía, servicios financieros, industria y comercio.

Se concluye que, la sostenibilidad empresarial, se ha vuelto un tema estratégico para las grandes organizaciones en su afán de mantenerse en el mercado, generar buena imagen y rentabilidad, por lo que han surgido iniciativas en forma de organizaciones no gubernamentales, que auditan a las organizaciones en los temas de sostenibilidad, rigiéndose por estándares como las NIIF S1 y S2, los GRI (por sus siglas en inglés), los cuales buscan brindar confiabilidad a los grupos de interés sobre la información financiera y particularmente la no financiera.

Palabras Clave: Contabilidad ambiental, educación contable, normas de sostenibilidad, reportes financieros y no financieros, sostenibilidad

CHALLENGES AND OPPORTUNITIES WITHIN THE FRAMEWORK OF IFRS S1 AND S2 AND INFORMATION REPORTING. A VISION FROM THE ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND FINANCIAL ASPECTS

ABSTRACT

The chapter aims to determine the challenges and opportunities that, within the framework of the IFRS on sustainability, organizations face, particularly SMEs; and how from the information reports, which, to date, large companies deliver, they give a look from the environmental, social and financial aspects. To achieve what is described, we start from the concept of business sustainability, followed by the concept of quality, so that later in the 70s, environmental awareness emerged, based on some pollution events that affected public health; That is why the environmental impact caused by activities incorporates these environmental objectives in the development of the organization's business. Likewise, the concept of environmental accounting is reviewed, which allows for the construction of a description of how management models should inform from the financial point of view, to recognize and measure, and how it evolves so that international organizations such as the UN, incorporate programs and strategies to consolidate the relationship between environment and development, giving way to the Environmental and Economic Accounting System (SCAE). On the other hand, a look is given at the international context of sustainability standards, in harmony with the Sustainable Development Goals (SDGs), whose purpose is to provide investors and other interested parties with coherent and comparable data on ESG performance, of companies listed on the financial markets, to effectively communicate how they manage the risks and opportunities related to sustainability in organizations. To this end, the International Sustainability Financial Reporting Standards, IFRS S1 and IFRS S2, issued by the ISSB Council in June 2023, are revised, establishing a new standard in international corporate reporting. Another criterion observed is the GRI standards, whose guides are designed to inform the public of environmental, economic and social impacts. The concept of materiality, established in IFRS, is also highlighted, for which an entity is required to disclose material information about risks and opportunities related to sustainability.

The proposed methodology is a qualitative approach based on the interpretive paradigm.

The scope of the research is descriptive, with IFRS S1 and S2 being the object of study, from information reports and accounting education for sustainability. Initially, a documentary search was carried out on previous research related to environmental accounting and sustainability reports. Likewise, on documents from international institutions and large firms related to accounting and information assurance that have analyzed and explained the scope of IFRS S1 and IFRS S2. Specialized databases were used, relating the terms of sustainability, accounting education, sustainability reports, environmental accounting, among others, as keywords. Regarding the analysis of the information, it was carried out through a documentary review matrix, prepared by the research team. Additionally, and as part of the study carried out, in compliance with the objective proposed in the research, 10 sustainability reports from Colombian companies recognized in the Dow Jones Sustainability Index were selected. The Colombian companies that appear recognized in the 2023 cut-off index are: Grupo Argos, Banco de Bogotá, Bancolombia, Davivienda, Ecopetrol, Grupo de Energía de Bogotá, Grupo Éxito, ISA, Nutresa and Terpel. From the categories defined for the analysis, there is mainly one of the factors that the Dow Jones Sustainability index considers, and it is the information presented from the economic, social and environmental dimensions. It is worth mentioning that the companies selected for the analysis were grouped into three large economic sectors that were identified as follows: Hydrocarbons and energy, financial services, industry and commerce.

It is concluded that business sustainability has become a strategic issue for large organizations in their desire to remain in the market, generate a good image and profitability, which is why initiatives have emerged in the form of non-governmental organizations, which audit the companies. organizations in sustainability issues, governed by standards such as IFRS S1 and S2, the GRI (for its acronym in English), which seek to provide reliability to interest groups regarding financial information and particularly non-financial information.

Keywords: Environmental accounting, accounting education, sustainability standards, financial and non-financial reporting, sustainability

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el concepto de sostenibilidad puede definirse como la capacidad de una organización de operar y mantenerse en el largo plazo, siendo rentable, manejando sus impactos ambientales, promoviendo bienestar social, actuando de manera ética.

El trabajo tiene como objetivo general, indagar sobre los retos y oportunidades que deben enfrentar las PyMES, a partir de la mirada que, desde los reportes de información sobre sostenibilidad, están entregando empresas colombianas reconocidas en el Dow Jones Sustainability Index.

Para dar respuesta a lo anterior, los objetivos específicos son:

- Explorar el concepto de sostenibilidad empresarial a través de la evolución que el impacto ambiental fue generando en el mismo, involucrando en esa narrativa, el enfoque seguido por la contabilidad ambiental.
- Describir de los modelos de gestión y cómo estos, informan desde lo financiero, incorporando la relación entre medio ambiente y desarrollo.
- Indagar el contexto internacional de las normas de sostenibilidad, NIIF S1 y la NIIF S2, revisando el concepto ESG, de las empresas que cotizan en los mercados financieros, para lo cual se seleccionan de 10 informes para un análisis desde el concepto de materialidad, para finalmente.
- Analizar las dimensiones económica, ambiental y social para determinar el aporte que las iniciativas globales, en el marco de las normas internacionales, están haciendo a la evolución del concepto de sostenibilidad y su integración en la contabilidad y en la gobernanza corporativa.

MARCO TEÓRICO

SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL, UN CONCEPTO EN EVOLUCIÓN

Para llegar al concepto de sostenibilidad empresarial, se podría trazar una línea de tiempo desde la revolución industrial a la actualidad, en el que los desarrollos tecnológicos impulsaron la aparición de grandes industrias, como Ford Motor Company, Standard Oil (conglomerado industrial dedicado a la exploración y explotación de crudo y la fabricación de derivados), General Electric por mencionar solo algunos ejemplos; para esta época (siglo XIX) la sostenibilidad empresarial se limitaba a mantenerse en el mercado produciendo barato y vendiendo en grandes cantidades; no obstante y gracias a los mismos desarrollos tecnológicos, la producción en masa y la aparición de una economía de mercado en la que el juego principal es la acumulación de capital, generó las condiciones necesarias para la aparición de competencia, para ese entonces las organizaciones debían encontrar formas de optimizar el uso de los recursos, en ese sentido, otro hito importante en esa carrera de desarrollo industrial fueron las grandes guerras, con ellas surgió la necesidad de producir en diferentes partes del planeta, diferentes compañías localizadas a océanos de distancia debían ponerse de acuerdo en especificaciones, medidas, materiales y métodos para lograr producir material de guerra que fuese de buena calidad, barato y cumpliera con las necesidades de la milicia; fue así que aparecieron los Militar Standards, y con estas el concepto de control de calidad; luego de las grandes guerras, las corporaciones entendieron que asegurar un buen producto va más allá de simplemente inspeccionarlo antes de sacarlo a la venta, en lo que evolucionó al concepto de gestión de la calidad, bajo esta consigna, las corporaciones dejaron de ser una estructura inflexible de áreas que tenían sus funciones definidas y pasaron a ser una organización que trabaja por procesos flexibles que permiten no solo adaptarse a las condiciones del mercado, sino que tenían como finalidad mantenerse en el negocio, es decir, ser sustentables (Cubillos & Roza, 2009); a lo largo de las décadas varios modelos de gestión han surgido esperando a la larga, mantener a flote a las organizaciones ejerciendo control no solo sobre el producto o el servicio, sino también sobre el uso de los recursos, sean estos físicos, tecnológicos, humanos.

Hasta que; en la década de los años 70, surge la conciencia ambiental basada en algunos eventos de contaminación que afectaron la salud pública, ya sea por la

producción industrial o por el simple agotamiento de los recursos naturales y es con la publicación del informe "Los Límites del Crecimiento" y la celebración de la primera conferencia mundial sobre medio ambiente en Estocolmo, que las organizaciones empezaron a preocuparse por el impacto ambiental causado por sus actividades, esto lleva a una línea de pensamiento que se puede trazar hasta la actualidad en la NTC ISO 14001:2015 que incluye en sus requisitos la incorporación de los objetivos ambientales en el desarrollo del negocio de la organización, es decir, el componente ambiental entró a ser parte de la sostenibilidad empresarial.

Por otra parte, en la década de los años 90, las necesidades de producción, el uso de mano de obra barata, la evasión de controles y políticas de sindicales en las condiciones laborales, llevó a una preocupación por las comunidades que de alguna u otra forma son impactadas por las grandes corporaciones, no solo por la provisión de personal capacitado sino también por la prestación de servicios o el consumo de productos, situaciones que llevaron a establecer principios como los consignados en el Pacto Mundial de las Naciones Unidas de 1999 en el que aparece el concepto de la responsabilidad social empresarial incorporando así las dimensiones social y económica a la sostenibilidad de las organizaciones.

Posteriormente, para la década de los años 2000, aparecieron modelos de gestión basados en normas internacionales como la NTC ISO 9001 sobre la calidad del producto o servicio, la ya mencionada NTC ISO 14001 para el manejo de los aspectos ambientales, la que en su época se denominó NTC OHSAS 18001, sistema de gestión que se dedicaba al manejo de los riesgos ocupacionales y la higiene industrial para mantener la salud de los trabajadores; así poco a poco, se han ido integrando más componentes a la sostenibilidad de las organizaciones, llegando a un punto en que hoy en día, se incluyen aspectos como la adaptación al cambio climático, la gobernanza, el aseguramiento del éxito financiero, el comportamiento ético en la toma de decisiones de las compañías, el beneficio a la comunidad tanto como a los trabajadores, entre otras.

Actualmente, y citando a Gracia-Rojas (2015), el concepto de sostenibilidad puede definirse como la capacidad de una organización de operar y mantenerse en el largo plazo, siendo rentable, manejando sus impactos ambientales, promoviendo bienestar social, actuando de manera ética. Se puede argumentar que este concepto se desarrolla en tres dimensiones, a saber:

- **Dimensión Económica:** es decir, que la empresa es rentable, genera dividendos y confianza a los inversionistas; esto implica una transparencia en los datos financieros, inversiones, costos de operación, ganancias, multas, activos, entre otros.
- **Dimensión Ambiental:** que la organización sea responsable de los impactos ambientales que genera y realice acciones para prevenir, mitiga, corregir o compensar los daños; esto incluye preocupación con el cambio climático, reducción de la huella hídrica y la huella de carbono, economía circular, eficiencia energética, por nombrar solo algunos aspectos.
- **Dimensión Social:** que incluye el buen relacionamiento con las comunidades, buen trato a los trabajadores, proveedores, contratistas e incluso clientes, respeto a los derechos humanos, igualdad de género, entre otros.

En definitiva, el desarrollo del concepto de sostenibilidad empresarial ha evolucionado a la necesidad de las partes interesadas de una organización, de conocer información relacionada con el desempeño de las tres dimensiones descritas con anterioridad, desde la década de los años 2010, las organizaciones han desarrollado informes de sostenibilidad en que revelan información sobre la dimensión económica (estados financieros), la dimensión social (partes interesadas, comunidades impactadas) y la dimensión ambiental (uso de recursos naturales, huellas hídrica y de carbono, adaptación al cambio climático).

INTEGRACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA CONTABILIDAD

CONTABILIDAD AMBIENTAL

La contabilidad ambiental es una rama de la disciplina contable que se ha venido estudiando desde 1972, como lo afirman Cita y Aparicio (2022), la conciencia de preservar el medio ambiente se da a partir de la Convención de Estocolmo.

Posteriormente, y como lo afirman Barraza y Gómez (2005), dicha conciencia tomó más fuerza con la Convención de Río de 1992, en la que participaron 178 países, entre ellos Colombia, y se crearon conceptos que dieron lugar a la aparición del sistema de contabilidad ambiental, definido como el encargado de brindar información en las

organizaciones sobre el impacto que generan sus actividades, siendo una excelente alternativa para que estas hagan un correcto uso de los recursos naturales, además de su importancia a la hora de tomar decisiones.

Para hablar del concepto que relaciona la contabilidad con el medio ambiente es necesario discutir la visión social planteada por Quinche (2009), en la que evalúa las relaciones del ser humano con la naturaleza por medio de la consideración de la contabilidad como disciplina que debe realizar un control ambiental, en el que se le asigna un papel a la naturaleza en relación con la dinámica social, y al mismo tiempo se establecen las formas en que el hombre se apropia de ella.

A partir de lo anterior, se plantea la evolución histórica contemporánea mencionada por Gómez (2009) marcada por tres momentos:

En los años 70, primer momento, surge el campo de la contabilidad social y medioambiental, principalmente derivado de proyectos de sociedades europeas de mayor compromiso con el hombre y el bienestar humano de sus poblaciones y del aporte de académicos de múltiples disciplinas, entre ellos los mismos contables (p. 59).

De igual forma, y en sintonía con lo que sucedería años después, es necesario recordar la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) establecida en 1964, donde se conformó el grupo intergubernamental de expertos en normas Internacionales de Contabilidad y Presentación de Informes (ISAR: 60), el cual se ha dedicado a cuestiones relacionadas con la contabilidad ambiental.

En un segundo momento, años 80, la Organización de las Naciones Unidas, motivada por la expansión y concientización de los problemas medioambientales, conforma una oficina especializada. Este es el origen del Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente y el Desarrollo, organismo que, a finales de los años 80, promulgaría y promovería el concepto de desarrollo sostenible. Desde esta visión, conseguir la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes no debería comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Así, el desarrollo sostenible se posiciona como un pretendido equilibrio entre las esferas económica, ambiental y social (Gómez, 2009, p. 60).

Y fue en esa parte de la historia cuando, pretendiendo conciliar los objetivos de crecimiento económico, de gestión empresarial y de sostenibilidad ambiental, como lo afirma Ariza (2000), se amplió la noción de medio ambiente al contexto humano y social, y ya no solo ligada a los recursos naturales.

En los años 90, tercer momento, la crisis ambiental y social se agudiza. El calentamiento global, el deterioro de la capa de ozono, los desequilibrios climáticos globales, la extinción de especies animales y vegetales, la desestabilización y deterioro de vida en las metrópolis por la contaminación, la crisis del agua, la crisis social y del empleo, entre muchos otros factores, llevaron a que los problemas medioambientales trascendieran del escenario y debate de los académicos y políticos y se instauraran plenamente en la cotidianidad de los ciudadanos (Gómez, 2009, p. 62).

De manera simultánea, y como efecto de la globalización, la conciencia colectiva incluyó al medio ambiente como una estrategia de negocio, aprovechando la incorporación del concepto de responsabilidad social empresarial, promoviendo así diversas nociones asociadas a la contabilidad y al riesgo que las variables ambientales pueden representar en las organizaciones.

Así, en los tres momentos citados la contabilidad tradicional ha desarrollado propuestas para legitimar las actividades organizacionales así: el paradigma del beneficio verdadero, con base en el cual se elabora teóricamente una cuenta de resultados que incluye costos y beneficios sociales y medioambientales, que consolidan la propuesta de la contabilidad social e introducen el concepto de la contabilidad del valor agregado; el enfoque de la utilidad para la toma de decisiones, que proporciona información principalmente dirigida a los inversores de capital, surgiendo el campo de la contabilidad de costos medioambientales y, de esa manera, otros campos especializados que incorporaron al medio ambiente dentro de los procesos de control y de los sistemas de gestión empresarial. Finalmente, la información social de la empresa, muy similar al anterior, con la diferencia de que sus resultados van dirigidos a sectores distintos del inversor de capital que, como se mencionó, con la oleada del concepto de responsabilidad social empresarial, se plantea el desarrollo sostenible como una oportunidad de negocio para las empresas guiadas por los incentivos tributarios y/o de mercado (Larrinaga, 1997; Gómez, 2009). De esta manera se pasa del principio de "quién contamina paga" a "quién contamina no vende" (Ariza, 2007).

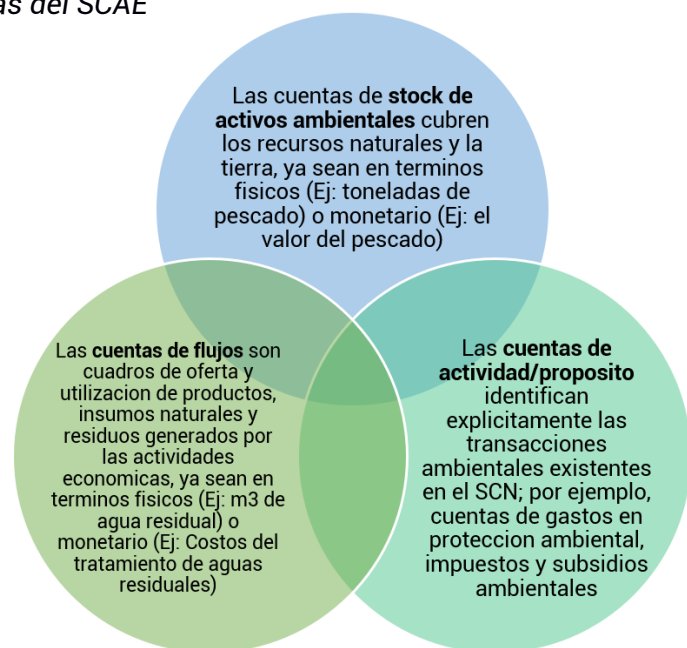
Como parte de la evolución de la contabilidad ambiental, y de acuerdo con lo mencionado en un segundo momento, a finales de los 80 la ONU incorporó programas y estrategias para consolidar la relación entre medio ambiente y desarrollo. Surgió entonces el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económico (SCAE) (ONU, 2012), que contiene los estándares acordados a nivel internacional sobre conceptos, definiciones, clasificaciones, reglas de contabilidad y tablas para producir estadísticas comparables internacionalmente sobre el ambiente y su relación con la economía.

Los conceptos y definiciones de este marco fueron diseñados para ser aplicados en todos los países, de cualquier nivel de desarrollo económico, estructura o composición de su medio ambiente, contribuyendo aún a las iniciativas propuestas a partir de los objetivos de desarrollo sostenible ONU (2015).

En la figura 1 se muestra los tres tipos de cuentas ambientales que componen el SCAE.

Figura 1

Tipo de cuentas del SCAE



Nota. Los tipos de cuentas del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económico propuesto por la ONU en 2012 se describen en Aportes de la contabilidad ambiental a la gestión sostenible empresarial en Colombia: Una mirada desde las empresas industriales (Cita & Aparicio, 2022, p. 69).

El marco central del SCAE aplica los conceptos contables, las estructuras, las normas, las terminologías, las expresiones y los principios del Sistema de Cuentas Nacionales (SCN).

El sistema de cuentas ambientales es un conjunto de cuentas que los gobiernos de cada país recopilan en forma periódica para registrar la actividad de sus economías "(Producto Interno Bruto PIB, Producto Nacional Bruto PNB, Tasas de ahorro, Balanza comercial)" (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2008, pp. 1-2).

Por otro lado, las cuentas ambientales permiten medir las interrelaciones entre el ambiente y la economía, y resaltan la contribución de los recursos naturales al bienestar económico, así como los costos impuestos por su agotamiento y la contaminación ambiental.

EL CONCEPTO DE TRIPLE RESULTADO

De acuerdo con García (2015), la cuenta del triple resultado, "The Triple Bottom Line" TBL, por sus siglas en inglés, (en adelante, TBL) data de mediados de los años 90, cuando un grupo de expertos en contabilidad empieza a utilizarlo en sus trabajos. No obstante, no será hasta la publicación en 1998 de libro de John Elkington's "Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business" cuando este concepto empieza a tener fuerza.

John Elkington diseñó un sistema nuevo para evaluar la sostenibilidad, al plantear un nuevo marco para medir el desempeño. Este marco contable, denominado *triple bottom line* (TBL), fue más allá de las medidas tradicionales de beneficios, el rendimiento de la inversión, y valor para los accionistas e incluyó las dimensiones ambiental y social, involucrando factores para que las empresas lleven a cabo en el desarrollo de sus actividades, minimizando el impacto y creando valor (Elkington, 1998).

La TBL ofrece la posibilidad de medir cuantitativamente el impacto que tienen determinadas actuaciones de la organización, tanto desde el punto de vista económico, como desde el social y/o el medioambiental, líneas que no son estáticas ni estables, sino que se consideran en constante movimiento.

Los aspectos concretos que se tienen en cuenta dentro de la matriz del triple resultado son los siguientes:

Tabla 1

Componentes Matriz del Triple Resultado

Áreas involucradas	Aspectos para tener en cuenta
Medioambientales	Energía, Agua Materiales utilizados Emisiones y residuos Diseños operacionales ecoeficientes Nuevos productos y servicios Impacto en el sistema de vida
Económicos	Aumento del beneficio Productividad Beneficios marginales crecientes Retorno de la inversión Costes del capital Valoración de la empresa Riesgos asumidos por la dirección
Sociales	Impacto social y comunitario Salud y seguridad laboral Igualdad de oportunidades Educación Reconocimiento social Pensiones de jubilación

Nota. Tomado de La cuenta del triple resultado. (García, 2015)

NORMAS INTERNACIONALES DE SOSTENIBILIDAD

El desarrollo o crecimiento económico a lo largo de la historia se ha visto relacionado con diferentes explicaciones como la que hace referencia a la tierra, posteriormente, el capital como el factor que permitía el crecimiento económico, y luego en las teorías de modernización, en donde los factores son el comercio internacional, la inversión extranjera, alta tasa de inversión son cruciales para generar capital. El progreso trae consigo nuevas perspectivas de considerar aspectos importantes como el desarrollo sostenible, término utilizado por primera vez en la ONU, específicamente en la Comisión Brundtland en 1987.

El desarrollo sostenible o sustentable se define como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la de las futuras generaciones (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [Comisión Brundtland], 1987). Así las cosas, el informe presenta un cambio frente a la idea de sustentabilidad, que implica la perspectiva ecológica, al contexto económico y social del desarrollo, por lo cual, se necesita un cambio de pensamiento y actitud para utilizar los recursos y cuidar en medio ambiente. El desarrollo sostenible busca afrontar la situación de pobreza extrema y los problemas medioambientales, en donde debe ser un proceso armónico con el medio ambiente, donde también se requiere procesos en materia económica y humana.

Se necesita que existan instituciones sostenibles para que haya desarrollo sostenible, porque esta matriz podrá implementar proyectos de propuestos en contexto de desarrollo (Taymer et al., 2007).

“El desarrollo sostenible es aquel que hace perpetua la elevación de la calidad de vida en una sociedad dada, o expresar cosas muy amplias y muy abstractas como decir que el desarrollo sostenible es aquel que asegura a perpetuidad la vida humana en el planeta” por lo cual se puede afirmar que un desarrollo sostenible también requiere que el ser humano tenga en cuenta el cuidado de medio ambiente, ya que los recursos son finitos e influyen en la calidad de vida de todos y cada uno de los seres vivos (Carrizosa, 1998).

Actualmente, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales, estos son los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales son 17 y buscan

alcanzarse en el 2030, para ello es necesario que toda sociedad, gobiernos y sector privado contribuyan con creatividad, recursos, tecnología, adopción de hábitos de cuidado y recuperación con el medio ambiente, para cumplir con dichos objetivos en cada contexto (Envera, 2020).

Normas SASB (Standards)

Las Normas SASB (Sustainability Accounting Standards Board) son un conjunto de estándares diseñados para ayudar a las empresas a reportar información financiera relacionada con factores ambientales, sociales y de gobierno corporativo (ESG por sus siglas en inglés) de una manera sistemática y comparable (SASB, 2020). El SASB fue fundado en 2011 como una iniciativa independiente destinada a desarrollar estándares específicos para la divulgación de información relacionada con la sostenibilidad. Su objetivo es proporcionar a los inversores y otras partes interesadas datos coherentes y comparables sobre el desempeño ESG de las empresas cotizadas en mercados financieros.

El propósito principal de las normas, según SASB (2023), es estandarizar la divulgación de riesgos y oportunidades relacionados con factores ESG que puedan tener un impacto material en el desempeño financiero de una empresa. Al hacerlo, se pretende mejorar la transparencia, la comparabilidad y la utilidad de la información para los inversores, analistas y otras partes interesadas. Sus características principales es que son específicas para 77 industrias y 11 sectores, cubriendo una amplia gama de temas ESG relevantes para cada sector. Estos estándares se centran en los temas que son más importantes para la creación de valor y la gestión de riesgos en cada industria específica. Además, están alineados con otras normativas y marcos de reporte internacionalmente reconocidos.

Para aplicar las Normas SASB, las empresas deben identificar los temas ESG materialmente relevantes para su sector según las guías proporcionadas por SASB, y luego integrar estos estándares en su proceso de reporte financiero anual. Este enfoque ayuda a las empresas a comunicar de manera efectiva cómo gestionan los riesgos y oportunidades relacionados con la sostenibilidad en las organizaciones.

NORMAS INTERNACIONALES DE SOSTENIBILIDAD

Normas SASB (Standards) GRI-Global reporting initiative

Primero, el GRI es una organización con sede en Holanda (Ámsterdam) que se dedica a la elaboración de estándares, para que las organizaciones puedan reportar su información en materia de sostenibilidad, es el estándar más utilizado en el mundo actualmente. Su propósito es transparentar como una organización contribuye al desarrollo sostenible. La última versión es de 2021, es lo que está en boga en las empresas.

Los estándares GRI son guías diseñadas para informar al público los impactos ambientales, económicos y sociales relacionados con la presentación de informes de sostenibilidad suministrando información sobre las contribuciones tanto positivas como negativas de las organizaciones al desarrollo sostenible. Es decir, son un sistema modular de estándares interrelacionados para reportar información relacionada con sostenibilidad, lo cual aporta beneficios internos y externos para la organización.

Al usar los estándares se determinan los temas materiales o pertinentes y en el proceso de presentación se debe tener en cuenta tres series de estándares: los estándares Universales GRI, aplicables a todas las organizaciones dan lineamientos amplios, los estándares sectoriales GRI, para aplicar en sectores específicos/concretos y los estándares Temáticos GRI el cual incluye contenidos pertinentes para un tema determinado.

Tabla 2

Estándares GRI

Estándares Universales	Estándares Sectoriales	Estándares Temáticos
GRI 1: Requerimientos y principios para el uso de los estándares GRI GRI 2: Contenidos sobre la organización informante GRI 3: Contenidos y orientaciones sobre los temas materiales de la organización Las organizaciones deben aplicar los tres estándares universales en la presentación de la información	GRI 11: industria petróleo y gas GRI 12: Industria de carbón GRI 13: agricultura o pesca GRI 14: minera No han sido publicados GRI 15 GRI 16 GRI 17 GRI 18 Estándares específicos por sectores productivos, usar los que apliquen a su sector	GRI 200: temas económicos, desempeño económico GRI 300: temas ambientales, consumo de materiales, agua, GRI 400: temas sociales, generación empleo, derechos humanos, capacitación Dependiendo de que tema se vaya a incluir en el informe se pueden utilizar los estándares temáticos Presentar información específica sobre temas materiales identificados por la organización

Nota. Elaboración propia a partir de los estándares (GRI, 2021)

A pesar de que no son de obligatorio cumplimiento, las empresas los utilizan porque representa beneficios internos como mejora del entendimiento sobre los riesgos y oportunidades, enfatiza la relación entre los resultados financieros y no financieros, influye en las estrategias y políticas de organización a largo plazo, como proceso de autoevaluación, previene posibles escándalos, permite comparar el desempeño a nivel interno o con otras organizaciones, con la competencia o con el líder a nivel mundial. Es un resultado de hacer un buen proceso de análisis y levantamiento de información.

Los beneficios externos ayudan a mitigar o revierte un mal posicionamiento explicando las cosas positivas, incrementa la reputación de la marca, demuestra como la empresa tiene impactos en la sostenibilidad.

Normas internacionales de sostenibilidad S1 y S2

Marcando un comienzo y una línea de tiempo en la nueva era de la presentación de informes corporativos a nivel internacional, el 26 de junio de 2023, el consejo de Normas Internacionales de Sostenibilidad, ISSB, por sus siglas en inglés, publicó los primeros estándares de sostenibilidad, es decir, las Normas Internacionales de

Información Financiera de Sostenibilidad, la NIIF S1 y la NIIF S2, las cuales entran en vigencia para el siguiente periodo fiscal, es decir, a partir del 1 de enero hasta diciembre 31 del 2024. Aunque existe la opción de transición que prima para las revelaciones relacionadas con el clima en el primer año de aplicación de dichas normas. Es necesario aclarar que, la aplicación obligatoria depende de cada país y sus procesos de regulación.

Por un lado, la NIIF S1, emitida por la IFRS (2023), plantea los requerimientos generales para tener en cuenta en la información a revelar sobre sostenibilidad relacionada con la información financiera, estableciendo los requisitos básicos para presentar un juego completo de revelaciones financieras en relación con la sostenibilidad (IFRS, 2023), la cual depende de varios factores del sector al que pertenece y el desarrollo de actividades propias de su operación. Adicionalmente, se requiere que la empresa revele información importante sobre los riesgos y oportunidades que podrían afectar razonablemente aspectos financieros, los flujos de efectivo, financiamiento de la organización en el corto, mediano y largo plazo de la cadena de valor en donde, los riesgos y oportunidades surgen de las áreas específicas de manejo los recursos y relaciones con los grupos de interés y sus impactos en los mismos.

Por otro lado, la NIIF S2, emitida por el mismo organismo en el 2023, es una norma netamente temática, está encaminada a revelar información relacionada con el clima, el agua, la biodiversidad en donde se requiere que una organización proporcione datos sobre la exposición a los riesgos físicos y de transición, así como las oportunidades relacionadas con el clima que pueden seguir del cambio climático, el uso del agua y de la tierra, la salud, los aspectos laborales y la seguridad de los datos.

El aspecto de materialidad es el mismo de las NIIF, por lo cual, la IFRS NIIF S1 (2023) requiere que una entidad revele información material sobre riesgos y oportunidades relacionados con la sostenibilidad que razonablemente puedan esperarse que afecte a las perspectivas de la entidad. “Una información es material si su omisión, presentación errónea o inexacta puede razonablemente influir en las decisiones que toman los usuarios principales de los informes financieros, sobre la base de dichos informes incluyen estados financieros y revelaciones relacionados con la sostenibilidad y que proporcionan información sobre una entidad específica.

Tabla 3

NIIF S1 y S2: Información sobre sostenibilidad y clima

Concepto	NIIF S1	NIIF S2
Objetivo	Requerir que una entidad revele información sobre sus riesgos y oportunidades relacionados con la sostenibilidad que sea útil para los usuarios principales de los informes financieros con propósito general a la hora de tomar decisiones relativas al suministro de recursos a la entidad.	Requerir que una entidad revele información sobre sus riesgos y oportunidades relacionados con el clima que sea útil para los usuarios principales de los informes financieros con propósito general a la hora de tomar decisiones relativas al suministro de recursos a la entidad
Alcance	Preparar y presentar información financiera a revelar relacionada con la sostenibilidad de conformidad con las Normas NIIF de Información a Revelar sobre Sostenibilidad.	Se aplica a: Riesgos relacionados con el clima a los que está expuesta la entidad: riesgos físicos, riesgos de transición oportunidades relacionadas con el clima disponibles para la entidad
Fundamentos conceptuales	Características cualitativas fundamentales de la información financiera útil relacionada con la sostenibilidad: Presentación razonable: información financiera relacionada con la sostenibilidad presentará fielmente todos los riesgos y oportunidades Materialidad o importancia relativa Entidad que informa Información conectada	
Contenido principal	Gobernanza Estrategia Gestión de riesgos Métricas y objetivos	Gobernanza Estrategia Gestión de riesgos Métricas y objetivos
Requerimientos generales	Fuentes de guía Ubicación de la información a revelar Frecuencia de la información Información comparativa Declaración de cumplimiento	
Juicios, incertidumbres y errores	Juicios Incertidumbre en la medición Errores	

Nota. Elaboración propia a partir de la NIIF S1 y S2

MATERIALES Y MÉTODOS

Se adopta un enfoque cualitativo a partir del paradigma interpretativo. La investigación cualitativa, según Bernal (2006) aborda la realidad de forma inductiva para comprenderla y explicarla, y no para construir o evaluar o contrastar modelos, hipótesis o teorías preconcebidas. Por su parte, el paradigma interpretativo es una perspectiva o modo de concebir la realidad. En palabras de Martínez (1998), la investigación interpretativa se inscribe en el contexto de una orientación pospositivista donde el conocimiento es el fruto o resultado de una interacción, de una dialéctica o diálogo entre el investigador y el objeto o sujeto investigado.

El alcance de la investigación es descriptivo, la cual busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice (Hernández et al., 2010, p. 80). Siendo objeto de estudio la NIIF S1 y S2 en el marco de los reportes de información bajo este marco normativo y la educación contable para la sostenibilidad.

Inicialmente, se realizó una búsqueda documental sobre investigaciones previas relacionadas con la contabilidad ambiental y los informes de sostenibilidad. Así mismos documentos de instituciones internacionales y grandes firmas relacionadas con la contabilidad y el aseguramiento de la información que han analizado y explicado el alcance de las NIIF S1 y NIIF S2. Se utilizaron las bases de datos especializadas disponibles en el en el Centro de Gestión del Conocimiento y Aprendizaje -CGCA de la Universidad de Cundinamarca, utilizando los términos de sostenibilidad, educación contable, reportes de sostenibilidad, contabilidad ambiental, entre otras como palabras clave. El filtro de búsqueda definido fueron principalmente artículos científicos. En lo que compete al análisis de la información se realizó mediante matriz de revisión documental elaborada por el equipo investigador.

Adicionalmente, y como parte del estudio realizado en el cumplimiento del objetivo propuesto en la investigación, se seleccionaron 10 informes de sostenibilidad de empresas colombianas reconocidas en el Dow Jones Sustainability Index, el cual tiene por objetivo desde el año 1999 evaluar el desempeño en términos de sostenibilidad de las mayores empresas del planeta y destacar a los líderes de cada industria. Actualmente, este índice está conformado por más de 300 grandes empresas

del mundo. Las mediciones que conforman el índice se elaboran teniendo en cuenta dos factores, el primero es el tamaño de la empresa y el segundo es su rating ambiental, social y económico.

- Comparativo sobre la posición de materialidad
- Frecuencia de palabras en la posición de materialidad
- Frases comunes en la posición de materialidad del informe del auditor independiente
- Listado de las normas o estándares que se relacionan como base para la elaboración de los informes de sostenibilidad
- Comentarios del auditor independiente sobre la frecuencia del análisis de doble materialidad y las principales conclusiones del informe de sostenibilidad

Cabe mencionar que se separaron las empresas colombianas para su análisis en tres grandes sectores económicos que fueron identificados: Hidrocarburos y energía, servicios financieros, industria y comercio.

Con la información y datos analizados se presentan en apartados siguientes los principales resultados base para la discusión y conclusiones en torno al objetivo trazado en la investigación.

RESULTADOS

Tabla 4

Numero de indicadores en las dimensiones de sostenibilidad

Empresa	Indicadores Económicos	Indicadores Sociales	Indicadores Ambientales
Nutresa	15	18	14
Grupo Éxito	1	1	1
Banco de Bogotá	1	1	1
Davivienda	1	1	1
Terpel	9	8	7
Bancolombia	1	1	1
Ecopetrol	1	2	1
ISA	1	1	1

Empresa	Indicadores Económicos	Indicadores Sociales	Indicadores Ambientales
GEB	10	15	12
Argos	8	9	7

Nota. Elaboración propia a partir de comparativo de indicadores por las dimensiones ASG en las 10 empresas analizadas.

Se identifica que la empresa Nutresa es la que presenta más indicadores en cada una de las dimensiones de sostenibilidad, seguida por GEB, Terpel y Argos. La dimensión con mayor número de indicadores en las 10 empresas analizadas es la social, seguido de la dimensión ambiental y económica.

El análisis específico de los informes se presenta a continuación por tres grandes sectores económicos definidos por el equipo investigador y que fueron descritos en el capítulo de metodología.

SECTOR HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

Tabla 5

Análisis de las políticas organizacionales

Empresa	Principales Aspectos
Terpel	1. Modelo de Sostenibilidad: Terpel coloca a las personas en el núcleo estratégico, integrando las dimensiones Ambiental, Social y de Gobernanza (ASG) en su gestión.
	2. Compromiso con la Diversidad y Equidad: La empresa promueve la diversidad, equidad y talento humano, así como la salud y seguridad en el trabajo.
	3. Relación con Comunidades: Se enfoca en el relacionamiento con las comunidades y clientes, asegurando un impacto positivo en los entornos donde opera.
	4. Gestión Ambiental: Presenta compromisos y acciones para la gestión ambiental, alineados con un enfoque de crecimiento responsable y sostenible

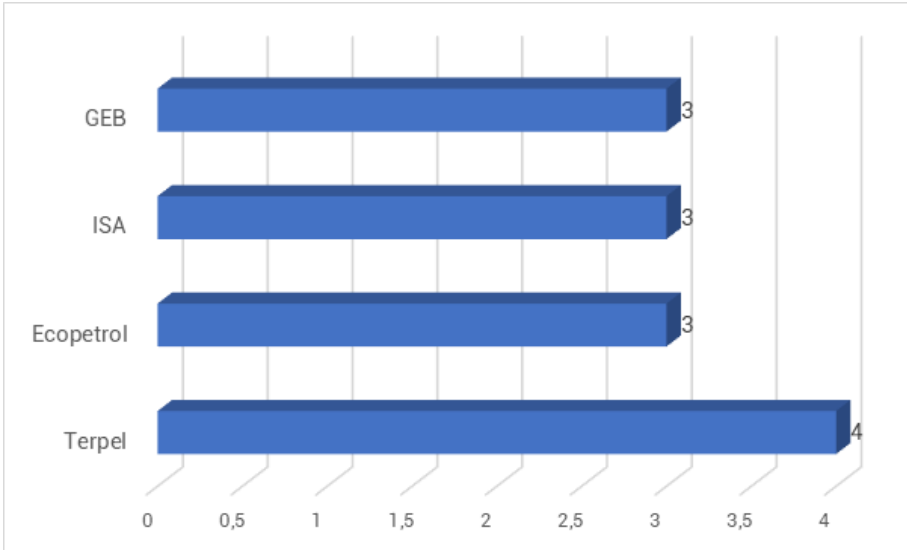
Empresa	Principales Aspectos
Ecopetrol	1. Gobernanza: Ecopetrol tiene políticas para la elección de miembros de la junta directiva cada cuatro años y políticas de compensación que vinculan la remuneración al rendimiento financiero.
	2. Inclusión y Diversidad: La política de inclusión busca lograr igualdad en género, raza, creencias y discapacidad en la conformación de su junta directiva.
	3. Gestión de Riesgos: La empresa realiza un análisis de riesgos que incluye aspectos financieros y de reputación, asegurando una gestión responsable de sus operaciones
ISA	1. Sistemas de Gestión Integrados: ISA presenta un panorama de sus sistemas de gestión, que incluyen Calidad, Ambiente, Seguridad y Salud en el Trabajo, y Seguridad de la Información.
	2. Ética y Gobernanza: Se enfoca en la ética corporativa, abordando temas como fraude, soborno, corrupción y protección de la información personal.
	3. Participación en Iniciativas Voluntarias: ISA participa en iniciativas anticorrupción tanto a nivel estatal como a través de ONG a nivel mundial
GEB	1. Ejes Estratégicos de Sostenibilidad: GEB ha definido cuatro ejes estratégicos: Transmisión del mañana, Gas para el futuro, Ciudades inteligentes y Generación sostenible.
	2. Doble Materialidad: La empresa aplica un enfoque de doble materialidad para identificar y analizar los aspectos ASG que pueden impactar su operación y su entorno.
	3. Compromiso con la Sostenibilidad: GEB se reconoce como un actor relevante en la transición energética global y la protección del medio ambiente, integrando la sostenibilidad en su estrategia corporativa

Nota. Elaboración propia.

Estos aspectos reflejan el compromiso de cada empresa con la sostenibilidad, la gobernanza y la responsabilidad social, adaptándose a las tendencias globales y a las expectativas de sus grupos de interés.

Figura 2

Tipo de cuentas del SCAE



Nota. Se muestran el número de políticas organizacionales con respecto al enfoque ESG. Elaboración propia

Se evidencia que Terpel lidera el grupo empresarial teniendo un marco de políticas más amplio frente a las otras tres empresas, presentando acciones y compromisos más detallados sobre la gestión ambiental, económica y social.

Tabla 6

Comparativo dimensiones de sostenibilidad

Dimensión / Empresa	Terpel	Ecopetrol	ISA	GEB
Económica	- Enfoque en la estabilidad financiera y crecimiento sostenible. - Integración de indicadores económicos en su modelo de sostenibilidad.	- Políticas de compensación vinculadas al rendimiento financiero. - Estabilidad financiera y gestión responsable de la cadena de suministro	- Análisis de riesgos financieros y de reputación. - Compromiso con la innovación y tecnología.	- Incremento en utilidades netas (aproximadamente 40% entre 2019 y 2023). - Estrategia centrada en la sostenibilidad y competitividad.

Dimensión / Empresa	Terpel	Ecopetrol	ISA	GEB
Social	- Promoción de la diversidad, equidad y talento humano. - Relacionamiento activo con comunidades y clientes.	- Políticas de inclusión en la junta directiva. - Compromiso con el bienestar de las comunidades donde opera.	- Enfoque en la ética y gobernanza. - Participación en iniciativas voluntarias para la responsabilidad social.	- Apoyo a la educación y acceso a servicios esenciales en comunidades. - Estimulo de iniciativas sociales.
Ambiental	- Compromisos y acciones para la gestión ambiental. - Enfoque en energías alternativas y cambio climático.	- Políticas de gestión ambiental alineadas con estándares internacionales. - Enfoque en la transición energética	- Sistemas de gestión integrados que incluyen aspectos ambientales. - Compromiso con la protección del medio ambiente.	- Selección y priorización de 15 asuntos ambientales. - Estrategia de sostenibilidad centrada en la protección y conservación del medio ambiente.

Nota. Elaboración propia

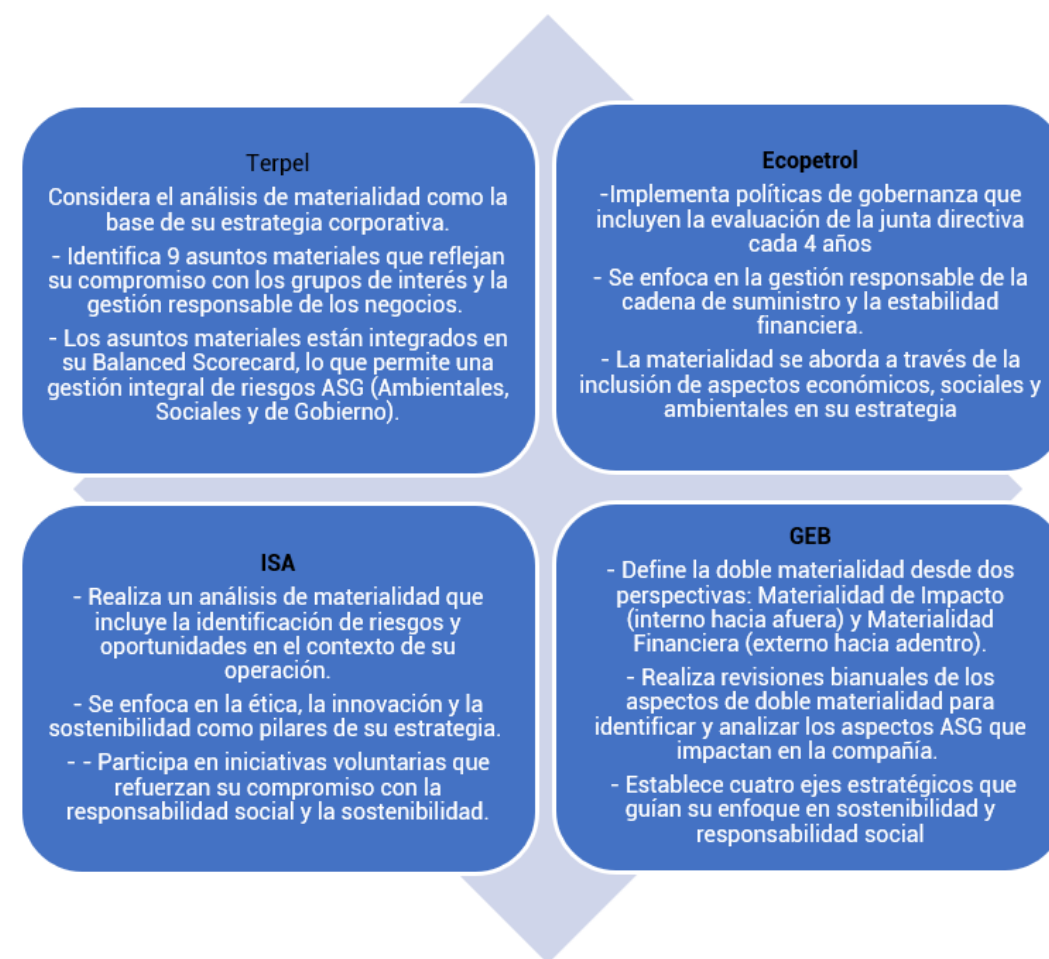
Dimensión Económica: Todas las empresas muestran un fuerte enfoque en la estabilidad financiera y el crecimiento sostenible. Terpel y GEB destacan por su integración de indicadores económicos en sus modelos de sostenibilidad, mientras que Ecopetrol e ISA enfatizan la gestión responsable de la cadena de suministro y la innovación.

Dimensión Social: Terpel y GEB se centran en la diversidad y el relacionamiento con las comunidades, mientras que Ecopetrol se enfoca en la inclusión en su gobernanza. ISA también aborda la responsabilidad social a través de la ética y la participación en iniciativas voluntarias.

Dimensión Ambiental: Todas las empresas tienen políticas y compromisos en torno a la gestión ambiental. Terpel y GEB destacan por su enfoque en energías alternativas y la transición energética, mientras que Ecopetrol e ISA implementan sistemas de gestión que cumplen con estándares internacionales.

Figura 3

Posición de materialidad



Nota. Elaboración propia

Así mismo, se identifica las siguientes frases comunes en los informes del auditor independiente sobre la posición de materialidad:

- "Gestión responsable"
- "Aspectos económicos, sociales y ambientales"
- "Evaluación de riesgos"
- "Integración de la sostenibilidad"
- "Compromiso con la comunidad"
- "Revisión periódica"

Estas frases reflejan los temas centrales que las empresas abordan en sus informes de auditoría independiente en relación con la materialidad y la sostenibilidad.

Con relación a las normas o estándares en los que se fundamentan las políticas y elaboración de informes de las cuatro empresas de este grupo económico, la figura 4 los resume:

Figura 4

Principales normas y/o estándares



Nota. Elaboración propia

Este listado incluye normas y estándares que son comúnmente utilizados por las empresas para guiar la elaboración de sus informes de sostenibilidad, asegurando que se alineen con las mejores prácticas y expectativas globales.

Como aspecto de cierre sobre la posición de materialidad, se presenta la frecuencia del análisis de doble materialidad en las empresas y los principales comentarios de los auditores independientes sobre los indicadores presentados en los informes de sostenibilidad.

Tabla 7

Frecuencia del análisis de doble materialidad

Empresa	Frecuencia	Principales Comentarios
Terpel	Bianual 9 asuntos materiales	Terpel se compromete a integrar la sostenibilidad en su modelo de negocio, enfocándose en las personas y en la gestión responsable de los recursos.
Ecopetrol	Periódicamente	Destaca su papel en la transición energética y su compromiso con la sostenibilidad.
ISA	No especifica	Resalta la importancia de la ética y la gobernanza en la gestión de la empresa.
GEB	Bianual	Se identifican cuatro ejes estratégicos que guían su compromiso con la sostenibilidad y el bienestar de las comunidades.

Nota. Elaboración propia

Tres de las cuatro empresas especifican la frecuencia del análisis de doble materialidad, siendo ISA la que no especifica ese dato. Por su parte, se evidencia que en el informe del auditor independiente para el caso de Terpel son claramente identificables 9 asuntos materiales.

SECTOR SERVICIOS FINANCIEROS

Tabla 8

Frecuencia del análisis de doble materialidad

Empresa	Principales Aspectos
Davivienda	- Compromiso con la Sostenibilidad: Davivienda se alinea con la Agenda Mundial 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), así como con el Acuerdo de París. - Estándares de Reporte: Utiliza los lineamientos del estándar GRI (Global Reporting Initiative) y los indicadores del SASB (Sustainability Accounting Standards Board) para la elaboración de sus memorias de sostenibilidad.

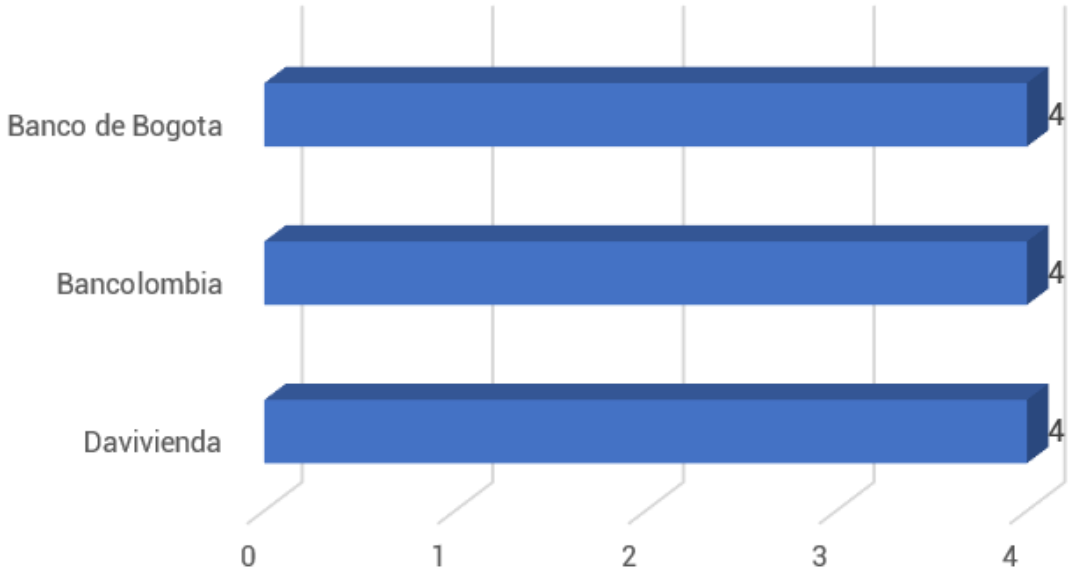
Empresa	Principales Aspectos
Davienda	3. Gobernanza y Transparencia: Se enfoca en mantener relaciones de confianza con los grupos de interés, actuando con ética y transparencia bajo altos estándares de buen gobierno corporativo. 4. Iniciativas Ambientales: Promueve la protección y conservación de los ecosistemas y recursos naturales, así como la mitigación del cambio climático.
Bancolombia	1. Gestión de Sostenibilidad: Bancolombia se compromete a la gestión voluntaria de los 10 principios del Pacto Global y contribuye al cumplimiento de los ODS. 2. Participación en Iniciativas Globales: Está involucrado en marcos como el Dow Jones Sustainability Index (DJSI), Principios de Ecuador, y la Iniciativa Financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEPI). 3. Inversión Responsable: Se adhiere a los Principios de Inversión Responsable y promueve prácticas de inversión que consideren criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ASG). 4. Impacto Social y Ambiental: Se enfoca en la transición energética y en la implementación de políticas que mitiguen el cambio climático.
Banco de Bogotá	1. Modelo Corporativo de Gestión de Riesgos: El Banco de Bogotá y sus filiales cuentan con un modelo para gestionar integralmente los riesgos asociados a sus actividades. 2. Control Interno y Auditoría: Mantiene una estructura adecuada de control interno y realiza auditorías para asegurar la integridad de la información financiera y de sostenibilidad. 3. Compromiso con la Transparencia: Se asegura de que la información presentada en sus informes sea verificada por terceros independientes, garantizando la transparencia en la divulgación de su gestión. 4. Enfoque en la Doble Materialidad: Identifica y prioriza temas materiales relevantes tanto desde la perspectiva de impacto como desde la financiera.

Nota. Elaboración propia

Estos aspectos reflejan el compromiso de cada entidad con la sostenibilidad y la responsabilidad social, así como su enfoque en la transparencia y la gestión de riesgos.

Figura 5

Numero de aspectos principales en las políticas



Nota. Elaboración propia

Para el caso de las tres empresas del sector de servicios financieros no se encuentra algún liderazgo en los aspectos clave de sus políticas organizacionales y en relación con la sostenibilidad. El análisis permite evidenciar que tienen la misma cantidad de aspectos representativos.

Tabla 9

Comparativo dimensiones de sostenibilidad

Dimensión / Empresa	Davienda	Bancolombia	Banco de Bogotá
Económica	- Compromiso con la sostenibilidad y la rentabilidad a largo plazo. - Implementación de prácticas de inversión responsable.	- Fomento de la inclusión financiera y el desarrollo socioeconómico. - Desembolsos significativos en iniciativas sostenibles (COP 5.5 billones en 2022).	- Gestión integral de riesgos económicos. - Enfoque en la sostenibilidad financiera y la transparencia en la información.

Dimensión / Empresa	Davivienda	Bancolombia	Banco de Bogotá
Social	- Promoción de la diversidad, equidad e inclusión. - Iniciativas para el bienestar financiero de comunidades vulnerables.	- Compromiso con la inclusión social y el acceso a servicios financieros. - Apoyo a la construcción y protección del patrimonio de las comunidades.	- Relaciones de confianza con grupos de interés. - Enfoque en derechos humanos y condiciones laborales justas.
Ambiental	- Iniciativas para la protección y conservación de ecosistemas. - Mitigación del cambio climático a través de proyectos sostenibles.	- Participación en la transición energética y reducción de huella de carbono. - Adopción de políticas de cambio climático en financiamiento e inversión.	- Gestión del riesgo climático y ambiental. - Auditoría de prácticas ambientales y alineación con estándares internacionales.

Nota. Elaboración propia

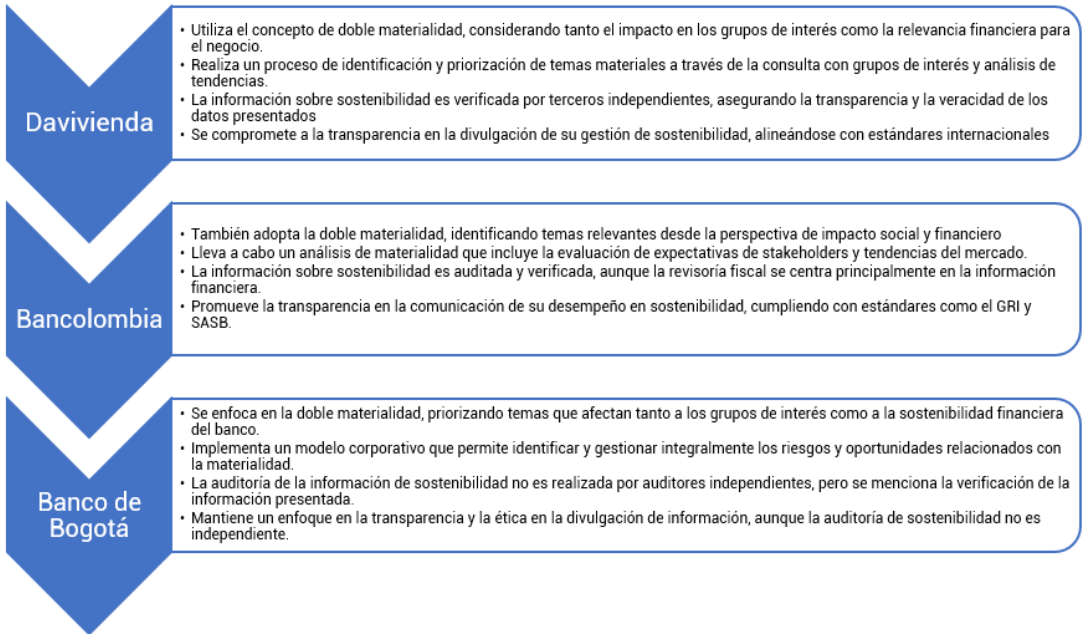
Económica: Todas las entidades muestran un compromiso con la sostenibilidad económica, pero Bancolombia destaca por su significativo desembolso en iniciativas sostenibles. Davivienda y Banco de Bogotá también enfatizan la importancia de la rentabilidad a largo plazo y la gestión de riesgos.

Social: En la dimensión social, Davivienda y Bancolombia se centran en la inclusión y el bienestar de las comunidades, mientras que Banco de Bogotá se enfoca en construir relaciones de confianza y asegurar condiciones laborales justas.

Ambiental: En términos ambientales, todas las entidades están comprometidas con la mitigación del cambio climático y la conservación de recursos. Bancolombia se destaca por su participación en la transición energética, mientras que Davivienda y Banco de Bogotá enfatizan la gestión de riesgos ambientales y la auditoría de sus prácticas.

Figura 6

Posición de Materialidad



Nota. Elaboración propia

En los informes relacionados con la doble materialidad se logran identificar las siguientes frases comunes entre las entidades prestadoras de servicios financieros.

- “Adopción de la doble materialidad”
- “Evaluación de riesgos y oportunidades”
- “Compromiso con la transparencia”
- “Cumplimiento de estándares internacionales”
- “Impacto en el entorno y la comunidad”
- “Relación con los grupos de interés”

Estas frases reflejan los temas y enfoques comunes que se encuentran en los informes de auditoría de las tres entidades.

A continuación, se presentarán los estándares que las empresas han tenido en cuenta para la elaboración de sus informes de sostenibilidad.

Figura 7

Principales normas y/o estándares



Nota. Elaboración propia

Estos estándares y normas son fundamentales para la elaboración de informes de sostenibilidad, ya que proporcionan directrices sobre cómo las empresas deben comunicar su desempeño y su impacto en la sociedad y el medio ambiente. También se resalta que las tres compañías hacen referencia a los objetivos de desarrollo sostenible y los principios del pacto global de las naciones unidas.

Tabla 10

Frecuencia del análisis de doble materialidad

Empresa	Frecuencia	Principales Comentarios
Davivienda	Periódicamente (no se especifica un tiempo en concreto)	Resalta su compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social, evidenciando acciones concretas en áreas como la inclusión financiera y la gestión ambiental.
Bancolombia	Regularmente (no se especifica un tiempo en concreto)	Destaca su enfoque en la creación de valor sostenible y su compromiso con la transparencia y la ética en los negocios.

Empresa	Frecuencia	Principales Comentarios
Banco de Bogotá	No especifica	Enfatiza su compromiso con la gestión responsable y la creación de un impacto positivo en la comunidad y el medio ambiente.

Nota. Elaboración propia

Los auditores independientes de estas entidades destacan la importancia del análisis de doble materialidad como una herramienta clave para la gestión de riesgos y la toma de decisiones informadas en sostenibilidad. Las conclusiones de los informes de sostenibilidad reflejan un compromiso sólido con la responsabilidad social y la sostenibilidad, así como la alineación con estándares y objetivos globales.

SECTOR INDUSTRIA Y COMERCIO

Tabla 11

Análisis de las políticas organizacionales

Empresa	Principales Aspectos
Nutresa	1. Ética y Transparencia: Nutresa establece principios y reglas de actuación corporativa que promueven la transparencia y la confianza en todas sus operaciones.
	2. Gobernanza de Sostenibilidad: Implementa un enfoque integral que abarca múltiples niveles y roles dentro de la organización, siguiendo las recomendaciones del TCFD desde 2020.
	3. Compromiso con la Sostenibilidad: Se enfoca en la gestión de asuntos sociales, ambientales y económicos, integrando estos aspectos en su estrategia empresarial.
	4. Diversidad e Inclusión: Promueve políticas que fomentan la diversidad en su Junta Directiva y en toda la organización.

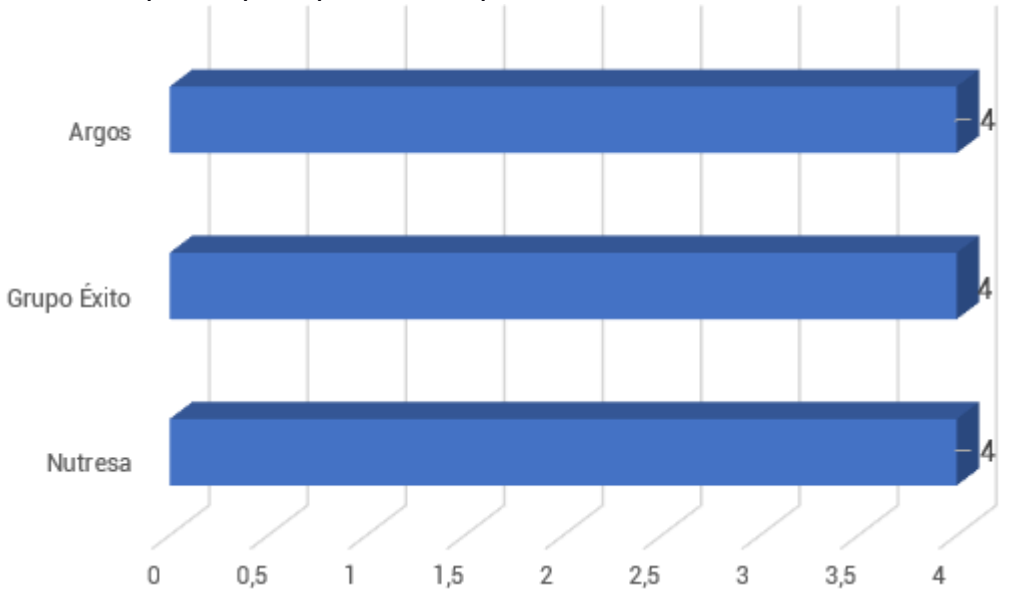
Empresa	Principales Aspectos
Grupo Éxito	1. Doble Materialidad: Utiliza la metodología de doble materialidad para identificar y gestionar los asuntos sociales, ambientales y económicos más relevantes para la compañía y sus grupos de interés.
	2. Verificación Externa: Los informes de sostenibilidad son verificados por consultores externos, asegurando la fiabilidad y el cumplimiento de los estándares GRI.
	3. Indicadores de Desempeño: Se enfoca en indicadores que reflejan su compromiso con la sostenibilidad, incluyendo la gestión de recursos, la ética empresarial y la experiencia del cliente.
	4. Política de Diversidad: Busca una conformación diversa en su Junta Directiva para enriquecer la toma de decisiones.
Argos	1. Sostenibilidad Integral: Argos se compromete a crear valor en aspectos financieros, sociales, ambientales y de gobernanza (ASG).
	2. Transparencia en la Información: Implementa mecanismos para la revelación de información que permiten una toma de decisiones informadas.
	3. Gestión de Riesgos: Aplica la metodología ISO 31000 para la gestión integral de riesgos, validada por su Comité de Sostenibilidad.
	4. Compromiso con el Cambio Climático: Se enfoca en la mitigación y adaptación al cambio climático, integrando estos aspectos en su estrategia de negocio.

Nota. Elaboración propia

Estos aspectos reflejan el compromiso de cada entidad con la sostenibilidad y la responsabilidad social.

Figura 8

Numero de aspectos principales en las políticas



Nota. Se muestran el número de políticas organizacionales con respecto al enfoque ESG. Elaboración propia

Tabla 12

Comparativo dimensiones de sostenibilidad

Dimensión / Empresa	Nutresa	Grupo Éxito	Argos
Económica	- Enfoque en el crecimiento rentable y la creación de valor.	- Utiliza la metodología de doble materialidad para identificar riesgos y oportunidades económicas.	- Crea valor en cada uno de los temas económicos, incluyendo la resiliencia de la cadena de suministro.
	- Políticas que promueven la ética empresarial y la integridad.	- Indicadores de desempeño que reflejan el crecimiento y la rentabilidad.	- Enfoque en la rentabilidad y el crecimiento sostenible.
	- Diversificación de productos y servicios sostenibles.	- Compromiso con la transparencia en la gestión financiera.	- Implementación de políticas que fomentan la innovación y la eficiencia.

Dimensión / Empresa	Nutresa	Grupo Éxito	Argos
Social	- Políticas de diversidad e inclusión en la Junta Directiva. - Programas de formación y desarrollo para colaboradores. - Compromiso con los derechos humanos y el bienestar social.	- Identificación de temas sociales relevantes a través de la metodología de doble materialidad. - Iniciativas de responsabilidad social y programas de apoyo a comunidades. - Enfoque en la experiencia del cliente y la gestión del talento.	- Fomenta la gestión del talento y la inclusión. - Iniciativas de bienestar personal y salud para colaboradores. - Diálogos de sostenibilidad con grupos de interés
Ambiental	- Compromiso con la sostenibilidad ambiental y la gestión de recursos. - Implementación de prácticas de producción sostenibles. - Estrategias para la mitigación del cambio climático.	- Verificación de indicadores ambientales bajo estándares GRI. - Iniciativas de reciclaje y reducción de emisiones. - Compromiso con la sostenibilidad en la cadena de suministro.	- Enfoque en la mitigación y adaptación al cambio climático. - Implementación de prácticas de gestión ambiental. - Estrategias para la reducción de emisiones y el uso eficiente de recursos.

Nota. Elaboración propia

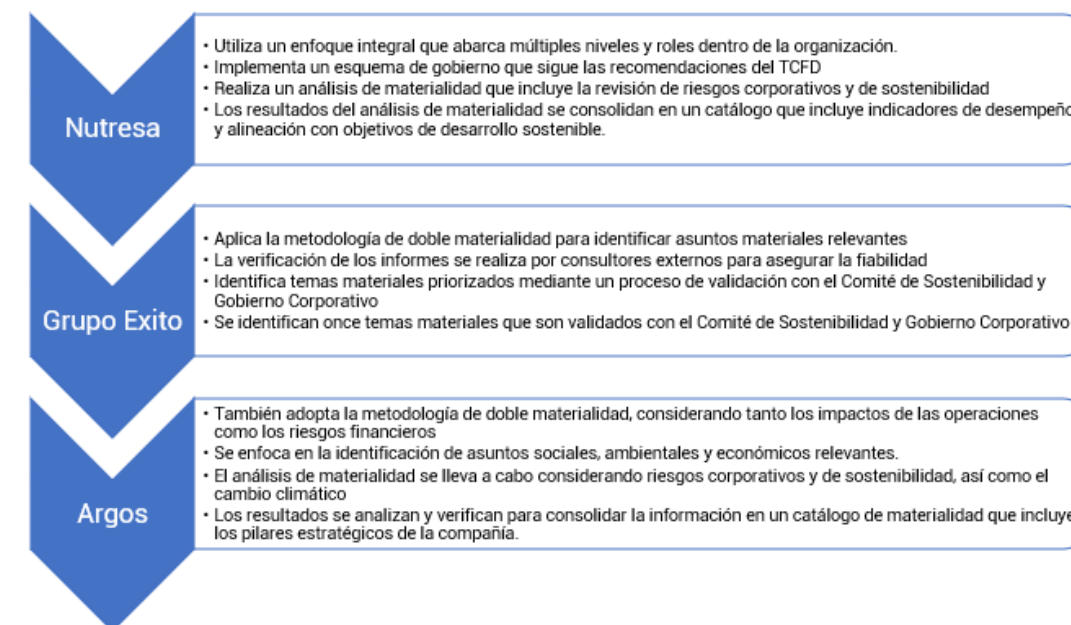
Dimensión Económica: Las tres empresas muestran un fuerte enfoque en la rentabilidad y la creación de valor, aunque cada una lo aborda desde diferentes perspectivas, como la ética empresarial en Nutresa, la doble materialidad en Grupo Éxito y la innovación en Argos.

Dimensión Social: Todas las empresas tienen políticas que promueven la diversidad, la inclusión y el bienestar de sus colaboradores, aunque Grupo Éxito y Argos parecen tener un enfoque más explícito en la responsabilidad social y el diálogo con las comunidades.

Dimensión Ambiental: Las tres compañías están comprometidas con la sostenibilidad ambiental, pero Argos y Grupo Éxito destacan en la implementación de prácticas específicas para la mitigación del cambio climático y la gestión de recursos.

Figura 9

Posición de Materialidad



Nota. Elaboración propia

En los informes relacionados con la doble materialidad se logran identificar las siguientes frases comunes entre las entidades clasificadas en este grupo de análisis:

- "La empresa asume el criterio de doble materialidad"
- "El análisis de materialidad es un proceso fundamental que nos permite identificar los asuntos sociales, ambientales, económicos y de gobierno corporativo"
- "Se identifican temas materiales priorizados"
- "La gobernanza de los asuntos de sostenibilidad se basa en un enfoque integral"
- "Se basa en la alineación con indicadores GRI y SASB"
- "Involucra a grupos de interés en la validación de los temas materiales"

Estas frases reflejan un enfoque común hacia la sostenibilidad y la transparencia en la gestión de asuntos materiales, así como la importancia de la verificación y la alineación con estándares reconocidos.

Ahora bien, en la figura 10 se presentarán los estándares que las empresas han tenido en cuenta para la elaboración de sus informes de sostenibilidad.

Figura 10

Principales normas y/o estándares



Nota. Elaboración propia

Estos estándares y normas proporcionan un marco para la elaboración de informes de sostenibilidad, asegurando que se aborden adecuadamente los aspectos sociales, ambientales y de gobernanza (ASG).

Tabla 13

Frecuencia del análisis de doble materialidad

Empresa	Frecuencia	Principales Comentarios
Nutresa	Periódicamente (no especifica un tiempo en concreto)	Destaca un compromiso sólido con la sostenibilidad, reflejando un enfoque integral en la gestión de riesgos y oportunidades. Se identifican temas materiales que son relevantes tanto para la empresa como para sus grupos de interés.

Empresa	Frecuencia	Principales Comentarios
Grupo Éxito	Bianual	Concluye que los indicadores y contenidos específicos han sido preparados de acuerdo con los estándares GRI, cumpliendo con los principios de presentación y siendo fiables. Se enfatiza la importancia de la transparencia y la gestión de los impactos sociales y ambientales.
Banco de Bogotá	Regularmente (no especifica un tiempo en concreto)	Resalta la importancia de la diversidad en la Junta Directiva y la implementación de mecanismos de revelación de información. Se subraya el compromiso con la ética empresarial, la sostenibilidad y la gestión adecuada de los recursos.

Nota. Elaboración propia

Estos comentarios y conclusiones reflejan un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad y la transparencia en la gestión de asuntos materiales, asegurando que las empresas se alineen con las expectativas de sus grupos de interés y las mejores prácticas en el ámbito de la sostenibilidad.

CASOS INTERNACIONALES

Aunque la adopción de la NIIF S1 (Norma Internacional de Información Financiera sobre Divulgaciones Generales relacionadas con la Sostenibilidad) es reciente, algunas empresas multinacionales han empezado a alinearse con las directrices para cumplir con los estándares de sostenibilidad.

UNILEVER

Unilever(2023),reconocida como una de las principales empresas de bienes de consumo a nivel mundial, se ha destacado durante años por su enfoque pionero en sostenibilidad. Con la implementación de la NIIF S1, la compañía ha fortalecido la integración de los reportes de sostenibilidad con sus informes financieros, alineando la información sobre riesgos y oportunidades de sostenibilidad con los estándares internacionales. En sus

informes recientes, Unilever ha reafirmado su compromiso con el marco de la NIIF S1 al vincular indicadores clave de sostenibilidad con sus reportes financieros, promoviendo una mayor transparencia sobre el impacto de la sostenibilidad en su modelo de negocio.

NESTLÉ

Nestlé (2023), una de las empresas alimentarias más grandes del mundo, también ha adoptado los principios de la NIIF S1. La compañía ha implementado un enfoque basado en la materialidad, asegurándose de que los riesgos relacionados con la sostenibilidad, como los relacionados con el cambio climático, sean parte de su información financiera. Nestlé ha comenzado a divulgar sus estrategias y riesgos ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) en línea con las recomendaciones de la NIIF S1, lo que les permite mejorar la comparabilidad y la calidad de la información presentada a los inversores y a otras partes interesadas.

Ambas empresas han buscado no solo cumplir con la normativa, sino también ser líderes en la transparencia y el reporte de información sobre sostenibilidad en sus respectivos sectores.

Tanto Unilever como Nestlé, al implementar la NIIF S1, presentan información que se centra en las divulgaciones generales de sostenibilidad. A través de esta norma, las empresas deben revelar información clave sobre los riesgos y oportunidades relacionados con la sostenibilidad que pueden afectar sus finanzas, operaciones y estrategias a largo plazo. A continuación, se detalla el tipo de información que presentan desde el ámbito de la NIIF S1.

Unilever presenta una variedad de información en sus informes de sostenibilidad alineada con la NIIF S1, enfocándose en los siguientes aspectos:

- **Riesgos y oportunidades de sostenibilidad:** Unilever identifica riesgos clave relacionados con la sostenibilidad, como el impacto del cambio climático en la cadena de suministro agrícola, la escasez de agua y la seguridad alimentaria. También analiza oportunidades, como la innovación en productos sostenibles y la eficiencia energética.

- **Impacto financiero de la sostenibilidad:** La empresa revela cómo los riesgos climáticos, sociales y de gobernanza (ESG) afectan sus resultados financieros. Por ejemplo, los costos relacionados con la transición a envases reciclables o la reducción de emisiones de carbono están integrados en su reporte financiero.
- **Indicadores clave de sostenibilidad:** Unilever reporta métricas de desempeño sobre el uso del agua, reducción de residuos, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y el progreso hacia sus metas de sostenibilidad, como la neutralidad de carbono para 2039.
- **Gobernanza y gestión de la sostenibilidad:** La empresa informa sobre cómo su junta directiva supervisa los asuntos de sostenibilidad, describiendo los procesos de toma de decisiones, gestión de riesgos y las políticas de sostenibilidad que guían su negocio.

Por su parte, Nestlé también presenta información clave conforme a la NIIF S1, abordando aspectos cruciales en su operación global:

- **Divulgación de riesgos climáticos y sociales:** Nestlé informa sobre los riesgos que enfrenta debido al cambio climático, como la volatilidad en los precios de las materias primas y la exposición a regiones vulnerables a desastres climáticos. También incluye riesgos sociales, como los relacionados con la seguridad alimentaria y el bienestar de las comunidades agrícolas.
- **Desempeño financiero vinculado a la sostenibilidad:** La compañía comunica cómo los riesgos de sostenibilidad, como las regulaciones ambientales y las expectativas del consumidor, influyen en sus ingresos, costos y rentabilidad. Por ejemplo, el costo de implementar sistemas agrícolas regenerativos o desarrollar productos con menor huella ambiental es parte de su informe financiero.
- **Iniciativas y métricas de sostenibilidad:** Nestlé divulga sus objetivos a largo plazo, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la mitad para 2030 y su compromiso de lograr cero emisiones netas para 2050. Además, presenta indicadores claves relacionados con la sostenibilidad, como el uso de recursos naturales y la eficiencia energética en su cadena de suministro.
- **Supervisión y cumplimiento:** La empresa detalla cómo la sostenibilidad se incorpora en sus sistemas de gobernanza. Esto incluye la supervisión por parte del consejo de administración de los objetivos ESG y la implementación de estrategias de sostenibilidad en todas las áreas de su negocio.

DISCUSIONES

De los resultados obtenidos se destaca, para el sector Hidrocarburos y Energía, se evidencia que Terpel, lidera el grupo, teniendo un marco de políticas más amplio frente a las otras tres empresas, dado que presenta acciones y compromisos más detallados sobre la gestión ambiental, económica y social.

Para el caso de las tres empresas evaluadas, del sector de servicios financieros, no se encuentra ningún liderazgo, en los aspectos clave de sus políticas organizacionales y en relación con la sostenibilidad. En cuanto a las dimensiones analizadas, todas las entidades muestran un compromiso con la sostenibilidad económica, pero Bancolombia, se destaca por su significativo desembolso para iniciativas sostenibles. En términos ambientales, todas las entidades están comprometidas con la mitigación del cambio climático y la conservación de recursos.

Para el sector Industria y Comercio, las tres empresas muestran un fuerte enfoque en la rentabilidad y la creación de valor, por su parte en lo ambiental, las tres compañías están comprometidas con la sostenibilidad ambiental, pero Argos y Grupo Éxito destacan en la implementación de prácticas específicas para la mitigación del cambio climático y la gestión de recursos.

En cuanto a la posición de doble materialidad, entendiendo aquellos aspectos que razonablemente puedan esperarse que afecten los objetivos de la organización, influyendo en las decisiones que toman los usuarios principales de los informes financieros, se evidencia el compromiso de cada empresa con la sostenibilidad y la importancia de realizar dicho análisis para gestionar los riesgos y oportunidades en un entorno cambiante.

De acuerdo a los resultados del análisis, las grandes empresas cuentan con mayor capacidad operativa y financiera para responder a los retos de la sostenibilidad materializando la gestión del gobierno corporativo, la gestión de riesgos y oportunidades, lo social y ambiental, no obstante, las PyMES deben afrontar retos y oportunidades, porque al relacionarse con las entidades que ya están emitiendo informes se convierte en una exigencia al momento de realizar transacciones en su cadena de valor y también, porque requieren involucrarse en estos cambios de la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.

En un contexto global donde la sostenibilidad se ha convertido en un criterio clave para la operación empresarial y la inversión, las PyMES se encuentran bajo presión para adaptar sus prácticas y demostrar su compromiso con el medio ambiente y la responsabilidad social (Bocken et al., 2014). Sin embargo, estas empresas suelen enfrentarse a desafíos significativos debido a sus limitadas capacidades financieras y recursos técnicos, lo que puede dificultar la implementación efectiva de estas normas.

En Colombia, la Superintendencia de Sociedades (2023) mediante la circular externa 100-000010 del 21 de noviembre de 2023, imparte recomendaciones a las empresas para que incorporen los estándares internacionales en los reportes de información sobre sostenibilidad que sea comparable y que, a su vez, puedan adoptar prácticas sostenibles de forma estratégica que permitan tener un interés en lo social, ambiental y gobernanza. La circular en mención es oportuna al alinear a las empresas con los ODS, teniendo en cuenta la creciente demanda de consumidores y socios comerciales que valoran el compromiso ambiental y social. Así las cosas, el impacto negativo en la reputación, en la conectividad y sostenibilidad por la falta de prácticas sostenibles puede afectar negativamente la imagen y reputación de las Pymes, reduciendo su atractivo ante los stakeholders, especialmente clientes y socios potenciales interesados en empresas socialmente responsables (Hörisch et al., 2014).

La sostenibilidad empresarial es el resultado de la integración del desarrollo sostenible en la empresa con el fin de aportar un valor económico, ambiental y social e incrementar el bienestar de las generaciones presentes y futuras, Barrios et al. (2021). Para lo cual, deben rendir cuentas los stakeholders sobre los impactos ambiental, social y de gobernanza mediante informes detallados sobre los temas materiales relacionados con su negocio, por ejemplo, si la empresa se dedica a la producción agrícola, un tema material es el agua, las emisiones de gas, gestión de la cadena de suministros, la ética empresarial, así como la gestión de riesgos entre otros.

Así, un punto clave que deben tener en cuenta las PyMES es la caracterización de cada organización o modelo de negocio, su cadena de valor, las partes involucradas, por lo que el análisis puede incluir la identificación del contexto de sostenibilidad o ubicación geográfica, los temas relevantes o materiales, establecer riesgos asociados

a la operación del negocio, oportunidades e impactos relacionados con lo social y ambiental, formular los indicadores de medición o la unidad de medida que pueden ser cuantitativos y/o cualitativos, consolidar la política de sostenibilidad e integrarla a la estrategia mediante un plan concreto de acción, lo que implica articular todos y cada uno de los factores clave.

No obstante y gracias a las polémicas que han surgido en torno a la veracidad de la información presentada, a la prioridad que dan las organizaciones en mantener una buena imagen institucional, en conceptos como Ecowashing o Greenwashing según las cuales, en el papel (informes de sostenibilidad) las organizaciones son sostenibles, pero en la realidad las problemáticas ambientales, sociales y la prevalencia de los intereses económicos están a la orden del día; han surgido iniciativas en forma de organizaciones no gubernamentales que auditan a las organizaciones en los temas de sostenibilidad, rigiéndose por estándares como las NIIF S1 y S2, los GRI (por sus siglas en inglés) que tratan de dar confiabilidad a los grupos de interés sobre la información financiera y particularmente la no financiera.

CONCLUSIONES

- La sostenibilidad empresarial se ha vuelto un tema estratégico para las grandes organizaciones en su afán de mantenerse en el mercado, generar buena imagen y rentabilidad, de esa forma, se hace necesario incorporar estrategias que les permitan dar respuesta a los intereses de los llamados stakeholder, en sintonía con el concepto de responsabilidad social.
- Es necesario medir las actuaciones sociales y medioambientales de la organización, del mismo modo en que se mide su actuación económica, sin embargo, determinar medidas monetarias o no monetarias, para cuantificar las acciones llevadas a cabo por las empresas, implica determinar si dichas actuaciones son buenas o malas, lo que lleva a valoraciones subjetivas que indican que aún existen grandes retos en las metodologías propuestas.
- Los retos que deben afrontar las Pymes, en materia de sostenibilidad son inminentes, en tanto que sus relaciones, con las empresas que ya las están aplicando, pueden convertirse en una exigencia para mantener una cadena de valor óptima, o bien, porque requieren involucrarse en los cambios recientes respecto a la sostenibilidad.

REFERENCIAS

- Ariza Buenaventura, E. D. (2000). Una perspectiva para captar la inserción de la contabilidad en la problemática medioambiental. *Revista Legis del Contador*, (4), 161–191. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-legis-del-contador/articulo/una-perspectiva-para-captar-la-insercion-contable-en-la-problematika-medio-ambiental>
- Ariza Buenaventura, E. D. (2007). Luces y sombras en el poder constitutivo de la contabilidad ambiental. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Militar Nueva Granada*, 15(2), 45–60. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfce/article/view/4531>
- Barraza Caro, F. E., y Gómez Santrich, M. E. (2005). *Aproximación a un concepto de contabilidad ambiental*. Universidad Cooperativa de Colombia. https://books.google.com.co/books/about/Aproximaci%C3%B3n_a_un_concepto_de_contabili.html?id=6k_Nc-F6KcQC&redir_esc=y
- Barrios Parejo, I. Á., Niebles Núñez, W. A & Niebles Núñez, L. D. (2021). Inserción del análisis financiero en PyMes colombianas como mecanismo para promover la sostenibilidad empresarial. *Desarrollo Gerencial*, 13(2), 1–19.
- Bernal Torres, C. A. (2006). *Metodología de la investigación: Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson Educación. <https://catalogo.uniquindio.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=68732>
- Bocken, N. M. P., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>
- Carrizosa, J. (1998). *La construcción de la teoría de la sostenibilidad*. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), Universidad Nacional de Colombia. https://idea.unal.edu.co/publica/docs/Construcc_teoria_sostenibldd.pdf
- Centro del Cambio Global y Sustentabilidad (10 de enero de 2021). *¿Qué es sustentabilidad?* Centro del Cambio Global y Sustentabilidad. <https://www.ccgsmx/ccgs>

Cita Velandia, Á. Y., y Aparicio Gómez, P. A. (2022). Aportes de la contabilidad ambiental a la gestión sostenible empresarial en Colombia: Una mirada desde las empresas industriales. *Revista de Contaduría*, 20(2), 45-60. <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/contad/article/view/7912>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2008). *Sistema de Cuentas Nacionales*. https://www.cepal.org/sites/default/files/document/files/sna2008_web.pdf Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland). (1987). *Nuestro futuro común*. Oxford University Press.

Cubillos Rodríguez, M. C. y Roza Rodríguez, D. (2009). El concepto de calidad: Historia, evolución e importancia para la competitividad. *Ciencia Unisalle*, 4(1), 23-35. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1170&context=ruls>

Elkington, J. (1998). Accounting for the triple bottom line. *Measuring Business Excellence*, 2(3), 18-22. <https://doi.org/10.1108/eb025539>

Envera. (16 de enero de 2020). *Agenda 2030: Así contribuye Envera a once Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Envera, todos podemos ser los mejores en algo. https://grupoenvera.org/agenda-2030-asi-contribuye-envera-once-los-objetivos-desarrollo-sostenible/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwk6SwBhDPAIIsAJ59GwdkZqX-HxAfSroQx19rIXLzpW0m3QeHbEL8x_0yxnxFfrdordcXEYAaAty4EALw_wcB#anchor

García López, M. J. (2015). La cuenta del triple resultado o triple bottom line. *Revista de Contabilidad y Dirección*, 20, 65-77. https://accid.org/wp-content/uploads/2018/11/LA_CUENTA_DEL_TRIPLE_RESULTADO.pdf

Global Reporting Initiative (GRI). (2021). *Sustainability reporting standards 2021*. Global Reporting Initiative. <https://www.globalreporting.org>

Gómez Villegas, M. (2009). Tensiones, posibilidades y riesgos de la contabilidad medioambiental empresarial: Una síntesis de su evolución. *Contaduría Universidad de Antioquia*, 54, 55-78. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/cont/article/view/7963>

Gracia-Rojas, J. P. (2015). *Desarrollo sostenible: Origen, evolución y enfoques* (Documento de docencia No. 3). Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. <http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1074>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5ª ed.). McGraw-Hill.

Hörisch, J., Freeman, R. E., & Schaltegger, S. (2014). Applying stakeholder theory in sustainability management: Links, similarities, dissimilarities, and a conceptual framework. *Organization & environment*, 27(4), 328-346.

IFRS. (2023). *NIIF S1 Requerimientos Generales para la Información Financiera a Revelar Relacionada con la sostenibilidad*. <https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/publications/pdf-standards-issb/spanish/2023/issued/part-a/es-issb-2023-a-ifrs-s1-general-requirements-for-disclosure-of-sustainability-related-financial-information.pdf?bypass=on>

IFRS. (2023). *NIIF S2 Requerimientos generales para la información financiera a revelar relacionada con el clima*. <https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/publications/pdf-standards-issb/spanish/2023/issued/part-a/es-issb-2023-a-ifrs-s2-climate-related-disclosures.pdf?bypass=on>

IFRS. (2023). *New and updated resources to help companies apply IFRS S1 and IFRS S2 from 2024*. IFRS.org. Recuperado el 31 de agosto de 2024 de <https://www.ifrs.org/news-and-events/news/2023/12/new-and-updated-resources-to-help-companies-apply-ifrs-s1-ifrs-s2/>

Larrinaga González, C. (1997). Consideraciones en torno a la relación entre la contabilidad y el medio ambiente. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, 26(93), 957-991. https://aeca.es/old/refc_1972-2013/1997/93-4.pdf

Martínez M., M. (1998). *La investigación cualitativa etnográfica en educación: Manual teórico-práctico*. Editorial Trillas. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-49102006000400020&script=sci_arttext

Nestlé. (2023). *Informes de creación de valor compartido*. Nestlé Colombia. <https://www.nestle.com.co/informes-cvc>

Organización de las Naciones Unidas (ONU) (25 de septiembre de 2015). *Objetivos de desarrollo sostenible: La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. ONU. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

Organización de Naciones Unidas (ONU) (2012). *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SCAE): Marco central*. https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seearev/CF_trans/S_march2014.pdf

Quinche Martín, F. L. (2009). Contabilidad y naturaleza: Apuntes para una discusión. *Libre Empresa*, 6(2), 65–75. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/libreempresa/article/view/2935>

Superintendencia de Sociedades (21 de noviembre 2023). *Circular externa 100-000010: Adición del capítulo XV – Recomendaciones administrativas sobre la presentación del reporte de sostenibilidad a la Circular Básica Jurídica*. <https://incp.org.co/publicaciones/foiincp-publicaciones/2023/11/vigilados-por-supersociedades-deberan-presentar-reportes-de-sostenibilidad/>

Sustainability Accounting Standards Board (SASB). (2020). *Health care delivery: Access & affordability*. SASB STANDARDS. <https://www.sasb.org/standards/>

Sustainability Accounting Standards Board (SASB). (2023). *Materiality finder*. SASB STANDARDS. <https://sasb.ifrs.org/standards/materiality-finder/>

Taymer Miranda, A., Suset, A. C., Machado, H., y Campos, M. (2007). El desarrollo sostenible: Perspectivas y enfoques en una nueva época. *Pastos y Forrajes*, 30(2), 1–10. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942007000200001&lng=es&tlng=es

Unilever Latinoamérica Sur. (2023). *Líderes en la próxima era de sostenibilidad corporativa*. <https://www.unilever-southlatam.com/sustainability/>

Aplicación de Internet de las Cosas para la Sostenibilidad de un Campus Universitario

Mónica Espinosa Buitrago

Doctora en Ingeniería

Mail: mespinosab@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9579-678X>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000844969

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Alejandro Patiño Carrillo

Magister en Telecomunicaciones Móviles

Mail: apatinoc@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4192-3437>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001530533

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Bernabe Buitrago Domínguez

Magister en Investigación Operativa y Estadística

Mail: bernabebuitrago@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4784-3817>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001511249

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Pedro Luis Cifuentes Guerrero

Magister en Arquitectura de Software

Mail: pcifuentes@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2455-2320>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001019694

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Bibiana del Pilar Royero Benavides

Magister en Agroecosistemas tropicales

Mail: broyero@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3884-0745>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000130188

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Espinosa Buitrago, M., Patiño Carrillo, A., Buitrago Domínguez, B., Cifuentes Guerrero, P. L., & Royero Benavides, B del P. (2024). Aplicación de internet de las cosas para la sostenibilidad de un campus universitario en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 143-168). Editorial CIDE Ecuador.

RESUMEN

El capítulo de libro presenta una arquitectura Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) que se basa en tecnología de computación en la nube con tres ejes fundamentales como lo son integración de servicios IoT, microservicios y seguridad. Los casos de estudio analizados fueron enfocados en las necesidades de monitoreo de variables para agricultura y de sistemas de ventilación inteligente, teniendo en cuenta aplicaciones tales como preservación de semillas nativas, gestión de los cultivos y espacios ventilados amigables con el medio ambiente. La arquitectura fue desplegada en los servidores en nube haciendo uso de módulos de integración y seguridad de servicios IoT. El sistema electrónico para recolección de datos en la nube fue implementado en un sistema electrónico embebido, compatible con la arquitectura y el sistema de los sensores. Se concluye que con la arquitectura definida en la nube se logra integrar los servicios IoT de forma segura y con independencia utilizando microservicios. También, la arquitectura debe establecer un sistema de redundancia en las capas de recolección de datos a las capas de almacenamiento y procesamiento, dada las pérdidas de datos que de acuerdo con la evaluación de arquitectura es menor al 40%.

Palabras Clave: IoT, Smart Campus, Arquitectura en Nube

INTERNET OF THINGS APPLICATION FOR THE SUSTAINABILITY OF A UNIVERSITY CAMPUS

ABSTRACT

The book chapter presents an Internet of Things (IoT) architecture based on cloud computing technology, structured around three key pillars: IoT service integration, microservices, and security. The case studies analyzed focused on the monitoring needs of agricultural variables and intelligent ventilation systems, considering applications such as the preservation of native seeds, crop management, and environmentally friendly ventilated spaces. The architecture was deployed on cloud servers using IoT service integration and security modules. The electronic system for cloud data collection was implemented on an embedded electronic system compatible with the architecture and sensor system. It is concluded that the cloud-defined architecture successfully integrates IoT services securely and independently using microservices. Additionally, the architecture must establish a redundancy system from the data collection layers to the storage and processing layers, given that data losses, according to the architecture evaluation, are less than 40%.

Keywords: IoT, Smart Campus, Cloud Architecture

INTRODUCCIÓN

El capítulo de libro presenta el desarrollo de una arquitectura tecnológica para un campus universitario basada en Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) y computación en la nube. Actualmente, los campus universitarios presentan diferentes desafíos a nivel de sostenibilidad, dadas sus dinámicas que pueden ser equiparadas a los servicios que tiene una ciudad inteligente a menor escala. Para las ciudades inteligentes, la gestión de servicios públicos, salud, medios de transporte, medio ambiente con la tecnología IoT se ha convertido en un eje fundamental para mejorar la operatividad de las ciudades y la calidad de vida de sus habitantes. Para el caso de los campus universitarios, es necesario también aplicar IoT con el fin de optimizar recursos y llevar un control de los procesos, para realizar toma de decisiones inteligentes. En la toma de decisiones, IoT permite, por medio de la recolección de datos con sensores tales como humedad, temperatura, luminosidad, realizar la caracterización de un fenómeno en un sistema de monitoreo. En el proceso de análisis y procesamiento de los datos del sistema de monitoreo, se pueden analizar las posibles alertas tempranas o alertas de operación que pueden ser usadas en el campus universitario para su planeación y operación.

El objetivo del capítulo es analizar la aplicación de la tecnología de IoT para un campus universitario en un caso de estudio colombiano en la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá. En los objetivos específicos se busca analizar dos casos de estudio y posteriormente definir una arquitectura en nube para IoT y evaluar la arquitectura en un modelo de tres capas como son recolección, recolección y procesamiento de datos. Por otro lado, en el análisis de la aplicación de la tecnología, se define la infraestructura necesaria para que los servicios IoT sean escalables y seguros, por lo anterior, en el capítulo se define una arquitectura en nube que se basa en tres ejes fundamentales como los son la integración de IoT, los microservicios y la seguridad. La integración de IoT hace referencia a la estabilidad de la arquitectura desde el punto de vista de la cantidad de variables de sensores que pueden ser ingresados y a la facilidad de gestión. El concepto de microservicios le permite al campus universitario para cada uno de los servicios IoT, tener independencia tecnología a nivel del desarrollo tanto de firmware como de software para priorizar los datos en la toma de decisiones. En seguridad, los datos de IoT deben ser protegidos desde su origen, lo que es un reto para IoT dada su escalabilidad, por esta razón, es necesario que la arquitectura en nube brinde esta seguridad en la recolección de los datos.

Con respecto al proyecto de investigación, titulado “Análisis de Implementación de servicios de tecnologías de la información y las comunicaciones con internet de las cosas para la universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá” se revisaron los posibles casos de estudio de las aplicaciones IoT para la sostenibilidad del campus universitario que se encuentra Colombia en la región del Sumapaz, en donde la economía tiene un gran porcentaje en el sector de agricultura. Adicionalmente, el clima es templado presentando temperaturas que no superan los 24 grados centígrados. Sin embargo, dados los procesos de cambio climático, la sensación térmica para los estudiantes en los salones ha aumentado. Por esta razón, se hace necesario caracterizar casos de estudio que permitan monitorear escenarios en agricultura como la ventilación de los salones. En la sostenibilidad de los campus universitarios, IoT permite realizar la gestión de datos para la toma de decisiones en diferentes necesidades de acuerdo con los requerimientos establecidos y las dinámicas de los campus. Por lo anterior, existen diversas aplicaciones, como se evidencia en la siguiente revisión, que pueden ser gestionadas por medio de IoT (Min-Allah & Alrashed, 2020). Sin embargo, los requerimientos de variables dependen de las necesidades propias, lo que permite a cada campus ser novedoso en sus procesos de acuerdo con sus condiciones climáticas, riesgos, demografía, geografía, entre otros.

En los aportes que desarrollan en este capítulo de libro se resaltan los siguientes:

- Análisis de las necesidades del monitoreo de variables para un sistema IoT en los casos de estudio a nivel de agronomía para el cultivo de productos orgánicos y en sistemas de ventilación inteligente.
- Desarrollo de la arquitectura en la nube para servicios IoT para la sostenibilidad del campus universitario, teniendo en cuenta tres ejes fundamentales como lo son integración de IoT, microservicios y seguridad.
- Despliegue de la arquitectura haciendo uso de servidores en la nube teniendo en cuenta los ejes fundamentales y las capas de recolección, almacenamiento y procesamiento de datos.

El capítulo de libro se organiza en la sección del marco referencial que define la sostenibilidad de ciudades inteligentes, campus universitario y las arquitecturas de IoT para campus universitarios. La metodología se distribuye en 2 fases a nivel del análisis de los requerimientos de los casos de estudio y la planificación de la

infraestructura de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Finalmente, se presenta la arquitectura y las conclusiones.

MARCO REFERENCIAL

En la última década, los grandes avances en áreas de la electrónica, las comunicaciones y la información, han permitido la innovación de nuevas tecnologías que han sido de gran impacto en diferentes aspectos sociales, económicos y ambientales de la población mundial. Estas nuevas tecnologías han marcado paradigmas que han cambiado el comportamiento y la forma de pensar de las personas, así como las tendencias del mercado mundial. Algunos ejemplos de estas tecnologías son los sistemas de comunicación inalámbricos, los dispositivos móviles y los servicios de ubicuidad, que según la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) enmarcan dos dimensiones de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), que son la comunicación del usuario en todo INSTANTE y en cualquier LUGAR (UIT, 2012). Sin embargo, el rol que juegan hoy en día los dispositivos no se limita solo al hecho de conectar a las personas a Internet, sino que trasciende a la interconexión del mundo físico con el mundo virtual (Conti et al., 2012). IoT es una tecnología que se ha establecido como un punto de inflexión en el papel de las cosas, tales como electrodomésticos, luminarias, jardines, cultivos, billeteras, entre otros, en su comunicación directa a Internet, puesto no es necesaria la intervención humana para su conexión. Partiendo de este enfoque teórico, el concepto de la aplicación de IoT en Smart Campus universitario para su sostenibilidad establece retos a nivel de levantamiento de requerimientos y de la infraestructura TIC para su operación, con el fin de establecer apoyo a los usuarios de un campus universitario que le permita tener información y tomar decisiones con las variables de los fenómenos químicos y/o físicos medidos.

MARCO TEÓRICO

En el desarrollo del concepto de sostenibilidad, la tecnología de IoT, ha cambiado el paradigma en espacios inteligentes tales como ciudades o campus universitarios. IoT establece la recolección de variables que luego de una analítica de datos podrían generar información relevante para toma de decisiones y mejorar la calidad de vida de la población. Por una parte, la aplicación de IoT ha surgido en gran medida en las ciudades inteligentes que han tenido impacto y adopción de la tecnología.

Por otra parte, los campus universitarios también están aplicando este paradigma para su sostenibilidad y administración de recursos, lo que implica inicialmente definir las ciudades inteligentes a nivel de sostenibilidad por medio de IoT y los desarrollos establecidos para campus universitarios inteligentes. Por todo lo anterior, se realizará una revisión del concepto de sostenibilidad para ciudades inteligentes y campus universitarios.

IoT Y SOSTENIBILIDAD PARA CIUDADES INTELIGENTES

En la sostenibilidad de ciudades inteligentes, las TIC, por medio de IoT, ha marcado una brecha en la gestión de los recursos y las dinámicas de las ciudades. A nivel de gestión de recursos, se tienen retos en optimizar dado el crecimiento poblacional de algunas ciudades o el nivel de ahorro de recursos financieros en servicios públicos, por ejemplo.

A continuación, se presentan algunas investigaciones que han buscado procesos de sostenibilidad en la ciudad inteligente haciendo uso de IoT. Bibri & Krogstie (2017) enfatizan el uso de tecnologías de analítica de datos y procesamiento de datos por medio de computación para la sostenibilidad de ciudades inteligentes. Los autores presentan retos para procesar datos en volumen, la variedad y velocidad. En el volumen de los datos existen retos a nivel de la escalabilidad de las arquitecturas, dado la cantidad de datos que podrían ser recolectados en las ciudades. La variedad de datos, dependiendo de su origen, podrían ser estructurados y no estructurados y en las ciudades, dependiendo de las aplicaciones, su variedad es muy amplia. A nivel de la velocidad, en las ciudades pueden existir ciertos fenómenos a recolectar que podrían generar retos de tiempos cuasi reales o reales dependiendo de la criticidad del evento. En las aplicaciones, se destacan transporte, movilidad, semáforos y señalización, sistemas de energía, red eléctrica, medio ambiente, edificios, seguridad pública y seguridad civil, planificación y diseño, atención médica, educación y aprendizaje, calidad de vida e infraestructura urbana y gestión de instalaciones.

En (Li et al., 2022) se explora la temática de la sostenibilidad de comunidades digitales haciendo uso de IoT como eje fundamental para el desarrollo de las comunidades con creciente nivel poblacional que tienen necesidades relacionadas con la gestión eficiente de energía, edificios inteligentes, transporte público eficiente y gestión

de residuos. Con respecto a la infraestructura necesaria, se exponen componentes como sensores, actuadores, adquisición de datos, computación de borde y computación en la nube. Se concluye que, dada la cantidad de datos, se deben incrementar la capacidad de las redes en la adquisición de los datos y los sistemas de procesamiento y almacenamiento.

En el estudio (Sharma & Jangirala, 2022), se enfatiza la optimización de los recursos y la calidad de vida como elementos de sostenibilidad en la ciudad inteligente y se argumenta como la tecnología IoT podría enfrentar estos desafíos. Se define IoT como una tecnología para la recolección, analizar y compartir datos, aplicaciones tales como gestión inteligente de tráfico, energía inteligente y gestión de residuos. En la investigación se concluyen desafíos relacionados con la infraestructura y la privacidad de los datos de las aplicaciones de IoT en las ciudades inteligentes.

En el contexto de ciudades inteligentes en (Zeng et al., 2024), se desarrolla una revisión literaria sobre la importancia de la tecnología IoT en las ciudades, haciendo énfasis en la mejora de la calidad de vida de los habitantes y la sostenibilidad. En la revisión, se han clasificado aplicaciones específicas en la sostenibilidad en las ciudades como lo son, participación comunitaria, transporte inteligente y administración de desastres. En las aplicaciones, la detección de variables por medio de sensores y su posterior análisis, establecen un impacto para las ciudades, teniendo métodos de integración de datos para la toma de decisiones en la planeación urbana. Finalmente, se establecen retos en áreas de investigación relacionados con la privacidad, la seguridad y la gestión de datos en la tecnología IoT.

En la revisión de aplicaciones rurales (Shivaji Godawale et al., 2024), se evidencia la necesidad de sistemas de monitoreo ambiental, agricultura, salud e infraestructura inteligente. Con respecto a la agricultura, las oportunidades de la aplicación IoT se enfatizan en agricultura de precisión, mediciones de humedad y monitoreo de cultivos. En cuanto a monitoreo ambiental, se especifica que los datos ayudan a los procesos de toma de decisiones y predicción de cambios medioambientales.

IoT Y SOSTENIBILIDAD PARA CAMPUS UNIVERSITARIO

En los espacios inteligentes se encuentran los campus universitarios, cada uno con particularidades especiales de acuerdo con sus políticas institucionales, ubicación

geográfica, condiciones ambientales, entre otras. En el concepto de sostenibilidad de los campus universitarios se presenta una revisión a continuación, que evidencia diferentes universidades que han adoptado la tecnología IoT para gestión y planeación de sus procesos. En (Domínguez-Bolaño et al., 2024) se muestra el trabajo realizado en la Universidad de La Coruña con el fin de garantizar la sostenibilidad de los servicios de calidad del aire y gestión de la energía eléctrica. Los autores resaltan que la implementación de IoT en el campus universitario, fue un apoyo para informar a la comunidad procesos de calidad del aire durante la pandemia de COVID-19 y para realizar exámenes más seguros. También, el sistema IoT se enfocó en mediciones de radon, que es un gas radiactivo que podría causar cáncer del pulmón. En cuanto el consumo eléctrico, se consideraron los sistemas de energía solar y red de energía eléctrica, con el fin de supervisar el consumo y optimizar los recursos. En conclusión, los autores consideran que la infraestructura que separa IoT debe tener en cuenta la interoperabilidad, la escalabilidad y el almacenamiento de datos.

En (Sneesi et al., 2022) se analizan los factores tecnológicos para tener en cuenta la adopción de IoT en la sostenibilidad de un campus universitario. En la revisión sobre la sostenibilidad de campus universitarios para gestión de recursos, experiencias de aprendizaje mejorada, toma de decisiones con los datos recolectados y seguridad, los retos encontrados en el campus se pueden clasificar en materia de la infraestructura de IoT y también en la adopción por parte de los usuarios. Sin embargo, a pesar de los retos, se concluye que IoT ofrece oportunidades significativas para mejorar la sostenibilidad.

ARQUITECTURA DE IoT PARA CAMPUS UNIVERSITARIOS

En las arquitecturas de los campus universitarios, buscan trabajar la integración de los servicios IoT, microservicios en la arquitectura y la seguridad. De acuerdo con (Zarpellon et al., 2023), se detalla el trabajo realizado de la integración de los servicios IoT en el Instituto de Ciencia Tecnología del Campus Sorocaba en Brasil, con dispositivos de medición, red de comunicación, integración de datos y almacenamiento. Las aplicaciones que integraron los datos, son las de consumo de agua y energía eléctrica. Finalmente, se identifica que la integración de datos con arquitectura es un factor que soluciona la problemática de sistemas aislados e interoperabilidad.

En (Duan et al., 2023) se plantea un enfoque modular y escalable para gestión de

servicios, con el fin de establecer la compatibilidad de diferentes lenguajes y plataformas. La arquitectura propuesta tiene cuatro capas como la gestión de datos, encapsulación de servicios, la orquestación de servicios y las aplicaciones. Se concluye, que aplicando microservicios se realiza la mejora de interoperabilidad, escalabilidad y se simplifica el desarrollo de la implementación.

Respecto a la seguridad, se resalta un campus inteligente basado en la confiabilidad y la privacidad de los datos, como se muestra en (Popescu et al., 2018) para el campus universitario de Oradea en Rumania. En el campus, se estableció una arquitectura de cinco capas con un enfoque escalable que garantiza la seguridad de los datos y la privacidad con computación en la nube e IoT como tecnologías fundamentales.

METODOLOGÍA

La metodología se divide en 2 fases, las cuales son el contexto de estudio y planificación del sistema. Frente al contexto de estudio, se realizó un análisis del campus de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, con el fin de identificar los participantes, prácticas y barreras existentes en el campus universitario rural. En planificación y análisis de la infraestructura TIC, se trabajaron los bloques funcionales de la infraestructura IoT respecto a variables físicas y/o químicas, sistema de comunicaciones, almacenamiento y procesamiento de datos.

En la fase 1 del contexto de estudio, se desarrolló una evaluación de la aplicación del IoT en el campus universitario en dos casos específicos como es la agronomía y ventilación Inteligente. En el ámbito agrícola, se trabajó en colaboración con el programa de Ingeniería Agronómica de la universidad, centrando los esfuerzos en la seguridad alimentaria mediante la producción de cultivos orgánicos, los cuales se caracterizan por sus prácticas ecológicas que excluyen el uso de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, lo que asegura un manejo eficiente de recursos naturales y la minimización del impacto ambiental. Frente a los retos significativos debido a las variaciones climáticas, la implementación de IoT permite una monitorización precisa de microclimas en tiempo real, lo que facilita la adaptación de prácticas agrícolas para mitigar los efectos adversos de condiciones extremas, como las bajas temperaturas en la madrugada y la intensa radiación solar en las tardes. En la ventilación inteligente, se observa la necesidad, dado el aumento de la sensación térmica que ha presentado la ciudad de Fusagasugá y la afectación de este fenómeno

en los estudiantes en el aula de clase. Para los dos casos de estudio, se concluye que el monitoreo ambiental por medio de IoT puede ayudar a tomar decisiones de cómo enfrentar los efectos del cambio climático. El monitoreo ambiental es un proceso fundamental para comprender y gestionar el estado del entorno natural y humano. Consiste en la recopilación sistemática de datos sobre diversos parámetros ambientales, como la calidad del aire, el agua, el suelo, el clima, la biodiversidad y otros factores relevantes. El monitoreo tiene como objetivos, evaluar el estado actual del medio ambiente e identificar tendencias y cambios a lo largo del tiempo, entre otras.

La implementación de tecnologías IoT en la monitorización ambiental de cultivos orgánicos permite una evaluación precisa y continua de variables críticas como la temperatura, la humedad relativa y las longitudes de onda de la radiación solar, las cuales son fundamentales para el desarrollo, la salud y la productividad de los cultivos. La temperatura influye directamente en la tasa de crecimiento, la floración, la fructificación y la calidad de los cultivos orgánicos, por lo que las fluctuaciones extremas, como bajas temperaturas nocturnas o calor excesivo durante el día, pueden causar estrés térmico en las plantas, afectando negativamente la fotosíntesis y otros procesos fisiológicos esenciales. Mediante el monitoreo continuo de la temperatura a través de IoT, es posible implementar estrategias como el uso de coberturas vegetales o la regulación del riego, mitigando estos efectos y manteniendo un entorno óptimo para el desarrollo de los cultivos.

La humedad relativa del aire es otra variable importante que afecta tanto la transpiración de las plantas, como la incidencia de enfermedades fúngicas y bacterianas, convirtiéndose en un factor crítico en la producción orgánica, donde las opciones de control químico son limitadas. Altos niveles de humedad pueden promover el desarrollo de patógenos, mientras que una humedad demasiado baja puede limitar la absorción de nutrientes y causar estrés hídrico. Aquí, el uso de sensores IoT para monitorear la humedad relativa permite optimizar prácticas como sistemas de microirrigación de alta eficiencia (riego por goteo, nebulización, entre otros), o la ventilación natural en invernaderos, reduciendo el riesgo de enfermedades y mejorando la eficiencia del uso del agua. De igual manera, las longitudes de onda de la radiación solar afectan la fotosíntesis y otros procesos bioquímicos en las plantas, por lo tanto, necesitan monitorearse, de manera particular en un contexto donde la producción debe maximizarse sin el uso de reguladores de crecimiento sintéticos.

Finalmente, optimizar la captura de la luz solar se hace necesario mediante el uso de sensores específicos que permitan ajustar la orientación de los cultivos, la densidad de siembra o incluso seleccionar variedades mejor adaptadas a las condiciones de luz, asegurando que los cultivos reciban el espectro lumínico necesario para un crecimiento saludable y una producción sostenible.

La conservación de semillas nativas, esenciales para mantener la diversidad genética y la resiliencia agrícola, también se beneficia significativamente de la implementación de tecnologías IoT. Las semillas, cuidadosamente seleccionadas y preservadas por generaciones de agricultores y custodios locales, representan un patrimonio biocultural, especialmente en la agricultura orgánica. A través del monitoreo en tiempo real de condiciones como la temperatura, la humedad y la exposición a la luz, es posible garantizar que las semillas se mantengan en un estado óptimo para su conservación y futura germinación. Esto facilita a los custodios de semillas adaptar sus prácticas de almacenamiento y manejo a las condiciones ambientales cambiantes, asegurando que estas variedades sigan siendo viables y continúen siendo claves en la adaptación al cambio climático y en la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Con respecto a ventilación, el concepto refiere a sistemas de ventilación que utilizan tecnología avanzada y automatización para optimizar el flujo de aire en edificios y espacios cerrados. Estos sistemas están diseñados para mejorar la calidad del aire interior, aumentar la eficiencia energética y brindar un mayor control sobre las condiciones ambientales.

Estos sistemas constan de los siguientes elementos y características tales como sensores, sistemas automatizados, integración con los edificios, eficiencia energética, adaptabilidad, mejora de calidad de aire, entre otras que a continuación se describen.

Los sistemas de ventilación inteligente incorporan sensores que monitorean parámetros como el dióxido de carbono (CO₂), la humedad, la temperatura, y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), principalmente. Basado en los datos de los sensores, el sistema ajusta automáticamente la ventilación para mantener un ambiente saludable. La ventilación inteligente se controla mediante algoritmos que responden en tiempo real a las condiciones ambientales. Los sistemas pueden

integrarse con otros componentes del edificio, como la calefacción, ventilación y aire acondicionado, y la gestión de la iluminación, entre otros, esto permite un enfoque holístico para la eficiencia energética y el confort del usuario. El uso de energía al ventilar solo cuando es necesario, evita la ventilación excesiva que puede llevar a desperdicio de energía. Algunos sistemas también recuperan el calor del aire extraído para reducir la carga de calefacción o enfriamiento. En las notificaciones y mantenimiento predictivo, los sistemas ofrecen alertas cuando se detecta una disminución en la calidad del aire o cuando es necesario realizar mantenimiento. El mantenimiento predictivo ayuda a evitar fallas y a mantener el sistema funcionando de manera óptima. Finalmente, en la sostenibilidad contribuye a la reducción de la huella de carbono al optimizar el consumo de energía.

En (Ng Wei & Ahmad, 2022), la implementación de aulas inteligentes en Malasia utiliza sensores inalámbricos para monitorear y mejorar la ventilación, mejorando así la eficiencia del aprendizaje y la calidad del aire. El estudio se centra en la integración de sensores inalámbricos en las aulas para mejorar los sistemas de ventilación y mejorar la eficiencia del aprendizaje. En la investigación se buscó identificar tipos de sensores inalámbricos adecuados para mejorar la ventilación del aula; explorar los mecanismos de estos sensores que pueden mejorar los sistemas de ventilación; proponer pautas de diseño para el uso eficaz de sensores inalámbricos para aumentar tanto la ventilación como la eficiencia del aprendizaje en el aula. La investigación, identifica con éxito, varios tipos de sensores inalámbricos que pueden ser utilizados para mejorar el sistema de ventilación en diseños de aulas. Esto incluye sensores para monitorear parámetros de calidad del aire como niveles de CO₂, temperatura y humedad. El estudio destaca mecanismos específicos a través de los cuales los sensores inalámbricos pueden mejorar la eficiencia de ventilación. Estos incluyen monitoreo en tiempo real, sistemas de control automatizados y estrategias de ventilación adaptativa que responden a las condiciones del aula. Estas directrices tienen como objetivo optimizar la integración de la tecnología para mejorar tanto la calidad del aire como la eficiencia del aprendizaje.

En el artículo, (Zivelonghi & Giuseppi, 2024), los autores informan sobre el diseño de la plataforma AulaSicura, un sistema de control de IoT diseñado para implementar el paradigma Smart Healthy Schools (SHS) en edificios escolares existentes y nuevos, que es capaz de monitorear de forma continua y simultánea una variedad de parámetros de calidad del aire interior, incluidas las temperaturas interiores y

exteriores, las humedades relativas y el exceso de CO₂ emitido por los humanos. El estudio utiliza una red de sensores IoT inteligentes para monitorear continuamente los parámetros de Calidad del Aire Interior (IAQ). Esto incluye el seguimiento de las temperaturas interiores/exteriores, la humedad relativa y los niveles de CO₂ emitidos por humanos. La investigación implementa el protocolo LoRaWAN, que es esencial para procesar energía y datos climáticos tanto a escala de habitación como de edificio. Este protocolo permite una transmisión de datos flexible y eficiente en todo el entorno escolar. El documento describe el diseño de la plataforma AulaSicura, un sistema de control de IoT que integra diversas capacidades de monitoreo de IAQ. Esta plataforma está basada en la nube y soporta el procesamiento de datos en tiempo real, lo cual es crucial para evaluar los riesgos de infección. El sistema está diseñado para monitoreo de múltiples salas, lo que permite el control centralizado de la ventilación natural en aulas individuales. Esta característica permite la administración de la calidad del aire en múltiples espacios simultáneamente. El sistema está diseñado para soportar hasta mil aulas por nodo Lora, lo que indica su escalabilidad para distritos escolares más grandes. Esta capacidad permite una gestión integral de la calidad del aire a escala urbana, lo que es particularmente beneficioso para áreas densamente pobladas. Los resultados sugieren que el sistema puede manejar el procesamiento de datos (cuasi) -en tiempo real, lo cual es relevante para futuros desarrollos en la evaluación del riesgo de infección, convirtiéndolo en una herramienta valiosa en entornos escolares pospandemia. El documento presenta una novedosa integración de la Calidad del Aire Interior (IAQ), IoT y la Inteligencia Artificial (IA) dentro del paradigma de Escuelas Saludables Inteligentes (SHS), abordando la necesidad de una mejor gestión de la calidad del aire en entornos educativos. Una contribución significativa es el diseño e implementación de la plataforma AulaSicura, que permite el monitoreo continuo de diversos parámetros IAQ. Esta plataforma sirve como una solución práctica para que las escuelas administren la calidad del aire de manera efectiva. Finalmente, la capacidad de controlar los sistemas de ventilación tanto naturales como mecánicos mejora la efectividad general de la gestión de la calidad del aire, proporcionando a las escuelas opciones versátiles para mantener un ambiente interior saludable.

PROPUESTA DE LA ARQUITECTURA PARA EL CAMPUS UNIVERSITARIO

Para el campus universitario se realiza una arquitectura de computación en la nube con el fin de administrar los datos de las aplicaciones IoT. Los sistemas de almacenamiento

que se podrían encontrar son on-premise y computación en la nube. En on-premise, la infraestructura de los servidores se encuentra en el campus universitario, que para el sistema IoT tendrían desventajas tales como obsolescencia de hardware, escalabilidad deficiente y conectividad limitada. Por lo anterior, se seleccionó un sistema en la nube.

Con respecto a los ejes fundamentales de la arquitectura en la nube, la propuesta tiene como ejes fundamentales la integración de IoT, microservicios y seguridad. A nivel de la integración de IoT, la arquitectura en la nube permite que los dispositivos funcionen con sistemas operativos en tiempo real y operarlos en aplicaciones de borde para el manejo de dispositivos con limitaciones de hardware. Con respecto a la administración de los dispositivos, la arquitectura permite de forma remota administrar las configuraciones de software de los dispositivos con el fin de realizar las actualizaciones. También, la arquitectura apoya la red de acceso para los dispositivos que tengan conexión intermitente, generando procesos de control de fallos de conectividad. Adicionalmente, la arquitectura gestiona la criticidad de los datos con el fin de transmitir la información con mayor complejidad. Finalmente, en la escalabilidad se realiza por medio del ingreso de los dispositivos IoT ágil con el monitoreo permanente que permite realizar las actualizaciones de seguridad a gran escala y compatible con hardware con limitaciones de recursos.

La arquitectura se basa en procesos para escalar el código con alta disponibilidad, que permite dar respuesta a eventos por microservicios. Adicionalmente, cada aplicación del campus universitario es independiente al lenguaje de programación que sea usado, y finalmente las aplicaciones son creadas en una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés).

En términos de seguridad, en el proceso de integración de los dispositivos IoT a la arquitectura de computación en la nube, se desarrolla por medio de una credencial a través del Protocolo de Seguridad de la Capa de Transporte (TLS, por sus siglas en inglés). Con respecto a la autenticación e identidad de los dispositivos, el sistema permite autenticar y autorizar los permisos de los dispositivos de acuerdo con las reglas del campus universitario. Adicionalmente, las aplicaciones de los servicios IoT son creadas y ejecutadas en la nube, lo que permite tener ventajas de fiabilidad y seguridad en la información.

En el modelo de capas, la arquitectura tiene tres capas, recolección de datos, almacenamiento de datos y procesamiento de datos. En la recolección de datos se tuvo en cuenta los sensores necesarios para caracterizar el monitoreo, la red de acceso y la comunicación de los datos. Para el almacenamiento de datos se estableció bases de datos no relacionales en la nube. En el procesamiento de datos se aplicaron las ventajas de los sistemas de computación en la nube para recopilar datos de diferentes formatos y frecuencias en los datos con el apoyo de una base de datos no relacional.

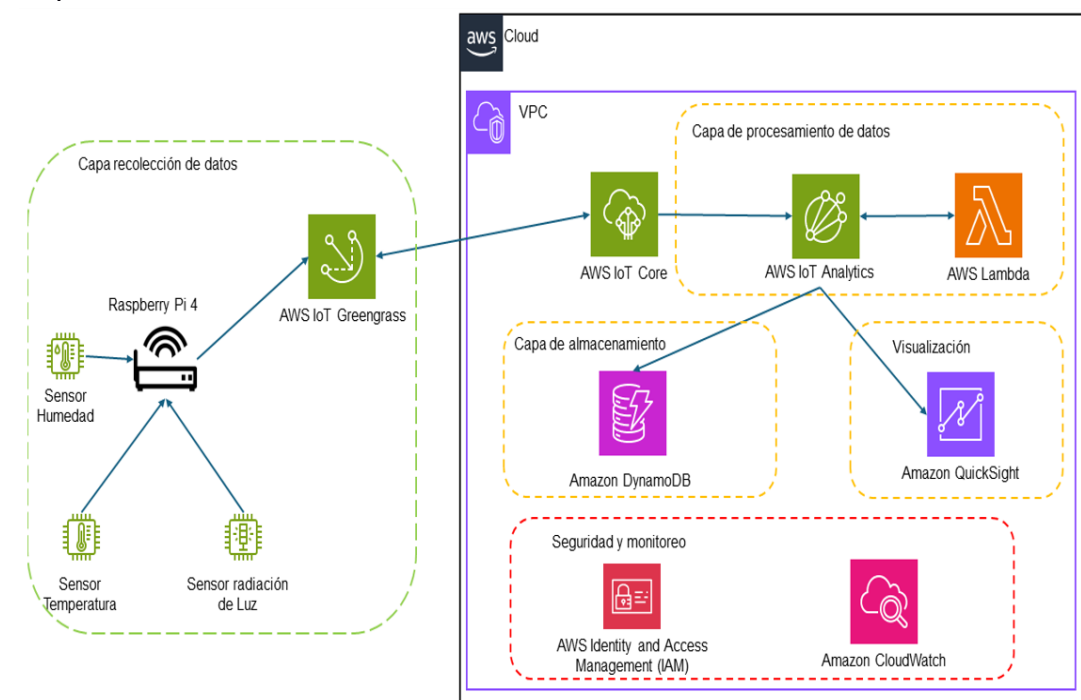
Existen diversas plataformas en la nube que se han integrado con IoT, incluyendo Google Cloud y Microsoft Azure. Sin embargo, AWS destaca por su flexibilidad y amplio rango de servicios específicos para IoT. Aunque la elección de la plataforma también puede depender de factores como el costo y la compatibilidad con los sistemas existente, en el caso de esta propuesta, se destaca la existencia de la academia AWS en el campus universitario. Finalmente, la arquitectura fue desplegada en Servicios Web de Amazon (AWS, por sus siglas en inglés) como se puede observar en la Figura 1.

En los sensores, se analizaron las variables que son tenidas en cuenta en el monitoreo ambiental para establecer una prueba de concepto que permita evaluar la arquitectura. En la puerta de enlace (i.e. Gateway) se usó un Raspberry Pi 4. La Raspberry recibe los datos de los sensores de forma inalámbrica por medio de red de acceso y envía los datos a Internet con un protocolo compatible con el módulo de Amazon IoT Core, que para el caso de la arquitectura, es el Protocolo de Transporte de Telemetría de Colas de Mensaje (MQTT, por sus siglas en inglés).

AWS IoT Core es un módulo que permite realizar la conectividad y la administración de los dispositivos para la integración con la plataforma de nube. El módulo adicionalmente permite la escalabilidad de los sensores en el campus universitario con el fin de gestionarlos dependiendo de las reglas establecidas para cada una de las aplicaciones. El protocolo de comunicaciones para la red de acceso y el sistema de nube puede ser MQTT, LoRaWAN, Protocolo de Transferencia de Hipertexto Seguro (HTTPS, por sus siglas en inglés), entre otros.

Figura 1

Arquitectura AWS



Nota. Iconos tomados de las imágenes de AWS

AWS IoT Analytics es el módulo que permite filtrar, transformar y almacenar los datos masivos de IoT, con el fin de crear reportes. Inicialmente, se realiza una colección de datos con diferentes formatos y frecuencias. Segundo, se procesan los datos que pueden ser complementados con fuentes externas. Tercero, se almacenan los datos en series de tiempo para su análisis ágil. Finalmente, se aplican encolamientos de Lenguaje de Consulta Estructurada (SQL, por sus siglas en inglés) para construir el reporte.

Dynamodb es una base datos compatible con el módulo AWS IoT analytics, que permite administrar datos no relacionales con un rendimiento en el orden de los milisegundos. En el campus universitario, permite resiliencia a las aplicaciones, lo que significa la estabilidad en funcionamiento normal o en situaciones adversas. Adicionalmente, fiabilidad de los datos, dadas las copias de seguridad administradas que el módulo permite.

AWS Lamda se utiliza para crear funciones para la gestión de las aplicaciones y los servicios en nube, permitiendo el proceso de los microservicios en el campus universitario. En este caso, se establece un microservicio para ventilación inteligente y otro para las aplicaciones agrícolas. AWS IoT Greengrass permite conectar, configurar y crear los dispositivos de forma escalable, estableciendo de forma remota la configuración del firmware en los dispositivos. El sistema de identificación de AWS (IAM, por sus siglas en inglés), permite solo dar acceso a los dispositivos IoT, con permisos por parte del campus universitario por medio de sesiones seguras.

Finalmente, se puede concluir que la arquitectura cumple con los requerimientos de ejes fundamentales, como son la integración de los servicios, microservicios y seguridad con los módulos utilizados. Para el campus universitario, es importante contar con este tipo de infraestructuras con el fin de realizar una colección de datos escalables, un almacenamiento seguro y una analítica de datos que permita la toma de decisiones. Con respecto a los dos casos de estudio, se observa que se manejan de forma independiente por medio de los microservicios a través de la lambda y una base de datos no relacional. Sin embargo, los datos recolectados pueden ser relacionados en los módulos de analítica de datos, si es requerido en algún momento por el campus inteligente.

Las pruebas piloto desarrolladas de la arquitectura se realizaron basados en sistemas de monitoreo ambiental para los dos casos de uso. Dado que el proyecto de investigación se encuentra en el proceso de análisis del funcionamiento de la infraestructura TIC, se realizaron pruebas de concepto haciendo uso de sistemas electrónicos embebidos Raspberry Pi que dadas las restricciones de AWS (Raspberry Pi 3 Modelo B o un modelo más reciente) se usó una Raspberry Pi 4 Modelo B y sensores compatibles con Raspberry de sensehat como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Variable	Rango de Medición	Precisión
Temperatura	-40°C a 120°C	±2°C
Humedad	0% a 100%	±4.5% HR (entre 20% - 80%)
Luminosidad	0.1 lux a 40,000 lux	±10%

Nota. Elaboración propia

En el proceso de pruebas de la arquitectura, se realizó la creación de las cuentas AWS y la instalación del Kit de Desarrollo de Software (SDK, por sus siglas en inglés) de la Raspberry en AWS, con el fin de ser identificados en el IAM. Posteriormente, los datos de los sensores son enviados en formato de Notación de Objetos de JavaScript (JSON, por sus siglas en inglés) al AWS IoT Core con el protocolo MQTT. Los microservicios son programados por medio de lambda, en el lenguaje de programación de Python, que permite interpretar los JSON e iniciar el proceso de almacenado de los datos en la base de datos de Dynamodb. Finalmente, la base de datos tiene comunicación con el módulo de analítica de datos que permite analizar, por medio de modelos estadísticos, las herramientas para establecer alertas tempranas si las variables se encuentran por fuera de valores umbrales. En conclusión, en el desarrollo de la prueba de concepto, se comprobó la compatibilidad de la arquitectura con el sistema embebido y el correcto almacenamiento de los datos en bases de datos no relacionales para su posterior procesamiento.

METODOLOGÍA

Se han analizado las necesidades del campus universitario priorizando los siguientes casos de estudio de agricultura y ventilación inteligente. En cada uno de los casos de estudio se realizó un análisis de requerimientos y se estableció cómo aplicar IoT para apoyar los procesos de sostenibilidad del campus universitario. En el ámbito agrícola, la implementación de tecnologías IoT aporta en optimizar la producción de cultivos orgánicos y la conservación de semillas nativas y criollas. El monitoreo de variables como la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar permite ajustar prácticas como la microirrigación y la orientación de los cultivos, mitigando los efectos del cambio climático. Además, estas tecnologías facilitan la conservación de semillas nativas, manteniendo su viabilidad y apoyando a los custodios en la adaptación de sus métodos a las condiciones ambientales cambiantes, mejorando la sostenibilidad y la resiliencia de los agroecosistemas locales. En ventilación inteligente, se establece sistemas de medición de calidad de aire con el fin de analizar la aplicación de sistemas de ventilación amigables con el medio ambiente.

Se definió una arquitectura TIC de tres capas que se denominan recolección de datos, almacenamiento de datos y procesamiento de datos con ejes fundamentales como lo son la integración de IoT, microservicios y seguridad. Con respecto a la recolección de datos, en los casos de estudio se busca capturar

las variables físicas por medio de sensores y sistemas electrónicos. En el sistema de almacenamiento, se realiza uso de tecnologías de computación en la nube que permiten almacenar los datos de los sensores haciendo uso del AWS y el protocolo de comunicaciones MQTT para la transferencia de los datos. Finalmente, se realiza procesamiento de los datos en nube con el fin de generar servicios en la toma de decisiones para la sostenibilidad del campus universitario por medio de IoT.

En el desarrollo de las pruebas realizadas en entorno rural, en la capa de recolección de datos se estableció la frecuencia de transmisión cada 5 minutos para generar redundancias en los datos y calcular los datos del promedio de una hora en la capa de procesamiento de datos. A continuación, se muestran los resultados de adquisición de datos en las capas de almacenamiento y procesamiento de datos con respecto los enviados en la capa de recolección de datos. En la Figura 2, se pueden observar los resultados de pérdida de datos en la arquitectura en un día de mediciones. La pérdida de datos en la capa de almacenamiento y procesamiento de datos es menor al 50% y se logra obtener por lo menos un dato por hora.

Figura 2

Perdida de datos en la capa de almacenamiento de datos en un día

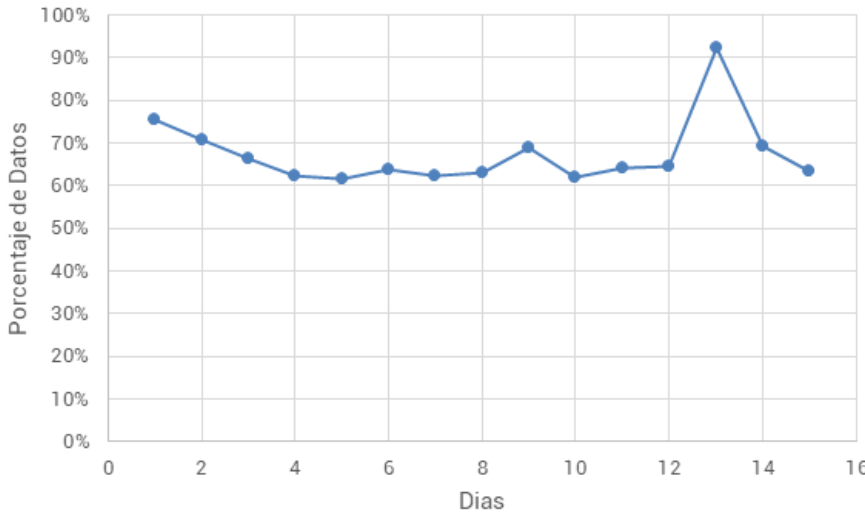


Nota. Elaboración propia

En la medición de 15 días de los datos ingresados en la arquitectura, en la capa de almacenamiento se evidencia que más del 60% de los datos enviados desde la capa de recolección de datos podrán ser procesados.

Figura 2

Porcentaje de datos en la capa de almacenamiento de datos



Nota. Elaboración propia

DISCUSIONES

En la arquitectura de tres capas, se logra realizar el análisis del sistema de recolección de datos, almacenamiento y procesamiento de datos para el campus universitario. Teniendo en cuenta la experiencia de otros campus universitarios, se definen tres ejes fundamentales como son la integración de servicios IoT, los microservicios y la seguridad. La integración de los ejes en la propuesta se desarrolló por medio de una arquitectura de computación en la nube de AWS. La integración de servicios se logró por medio de un sistema electrónico embebido con conexión AWS, MQTT y el módulo Green Grass, para realizar la solución escalable al administrar y crear los dispositivos de forma ágil y segura con sesiones TLS. Con respecto a los microservicios, la arquitectura por medio del servicio de lambda genera independencia a cada uno de los servicios IoT del campus universitario, lo que apoya a los procesos de

escalabilidad de los servicios. En seguridad, se analizaron procesos de autenticación de dispositivos por medio de IAM y actualización de parches de seguridad de forma remota y masiva.

Respecto a la redundancia de datos, se analiza como un factor importante en la arquitectura, puesto que de acuerdo con los resultados, existen pérdidas de datos entre la capa de recolección y la capa de almacenamiento en la nube. En entornos rurales, el factor de la redundancia garantiza que por lo menos se tenga un dato por hora para la capa de procesamiento de datos.

CONCLUSIONES

Se concluye que el campus de la Universidad de Cundinamarca sede Fusagasugá tienen necesidades en los casos de estudio agrícola y ventilación inteligente. Respecto al factor agrícola, se tiene un enfoque en sostenibilidad de los productos orgánicos en los procesos de almacenamiento de semillas y cultivos orgánicos frente a procesos de cambio climático. En ventilación, el campus se encuentra afectado por la variabilidad climática, y a pesar de que la ciudad de Fusagasugá tiene clima templado, los estudiantes perciben el incremento de temperatura en los salones de clases que no tienen ventilación.

Se define una arquitectura TIC de tres capas que permite detectar las variables de monitoreo ambiental. En el almacenamiento de datos que hacen uso de una plataforma de computación en la nube, permite procesar los datos para que los usuarios finales puedan tomar decisiones informadas basadas en estos.

Finalmente, se evidencia la solución de IoT para el campus universitario utilizando un sistema electrónico embebido y la comunicación de datos a un sistema de computación en la nube con una arquitectura basada en AWS por medio de una prueba de concepto.

Con respecto a los desafíos de la arquitectura, se recomienda hacer uso de la redundancia de datos con el fin de ingresar un dato mínimo en la arquitectura para las capas de procesamiento y almacenamiento de datos. Teniendo en cuenta, que el 60% de datos enviados desde la recolección, logró ingresar para ser procesado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las estudiantes Aura Juliana Moreno y Yiced Carolina Quiroz por proporcionar los datos de las pruebas de la arquitectura.

REFERENCIAS

- Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2017). The core enabling technologies of big data analytics and context-aware computing for smart sustainable cities: a review and synthesis. *Journal of Big Data*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-017-0091-6>
- Conti, M., Das, S. K., Bisdikian, C., Kumar, M., Ni, L. M., Passarella, A., Roussos, G., Tröster, G., Tsudik, G., & Zambonelli, F. (2012). Looking ahead in pervasive computing: Challenges and opportunities in the era of cyberphysical convergence. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(1), 2–21. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2011.10.001>
- Domínguez-Bolaño, T., Barral, V., Escudero, C. J., & García-Naya, J. A. (2024). An IoT system for a smart campus: Challenges and solutions illustrated over several real-world use cases. *Internet of Things (Netherlands)*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101099>
- Duan, X. R., Li, L. Le, & Peng, F. (2023). Smart campus data management platform based on microservice architecture. *2023 5th International Conference on Machine Learning, Big Data and Business Intelligence, MLBDI 2023*, 231–234. <https://doi.org/10.1109/MLBDI60823.2023.10481975>
- Li, F., Yang, H., Gao, X., & Han, H. (2022). Towards IoT-based sustainable digital communities. *Intelligent and Converged Networks*, 3(2), 190–203. <https://doi.org/10.23919/ICN.2022.0015>
- Min-Allah, N., & Alrashed, S. (2020). Smart campus—A sketch. *Sustainable Cities and Society*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102231>
- Ng Wei, P., & Ahmad, A. G. (2022). Smart classroom for university students: Improving air quality by integrating wireless sensors in Malaysia. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 7(3), 279–288. <https://doi.org/10.30822/arteks.v7i3.1221>

- Popescu, D. E., Prada, M., Dodescu, A., Hemanth D, Jude. (2018). A secure confident cloud computing architecture solution for a smart campus. *Proceedings of the 7th International Conference on Computers Communications and Control (ICCCC)*, 141. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/325911463_A_secure_confident_cloud_computing_architecture_solution_for_a_smart_campus
- Sharma, P., & Jangirala, S. (2022). Internet of Things for sustainable urbanism. *Journal of Physics: Conference Series*, 2236(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2236/1/012008>
- Godawale, M. S., Deshmukh, M. P., & Pisal, M. M. (2024). IoT applications in rural areas: Opportunities, challenges, and future directions. *International Journal of Innovative Research in Modern Physics and Science*, 12, 2349–7300. Recuperado de <http://www.ijirmps.org>
- Sneesi, R., Jusoh, Y. Y., Jabar, M. A., & Abdullah, S. (2022). Revising technology adoption factors for IoT-based smart campuses: A systematic review. *Sustainability*, 14(8), 4840. <https://doi.org/10.3390/su14084840>
- UIT. (2012). *UIT-T Rec. Y.2060 (06/2012) Descripción general de Internet de los objetos*. <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>
- Zarpellon, B. O., Olimpio, J. A. F., de Oro Arenas, L., Godoy, E. P., Marafão, F. P., & Morales-Paredes, H. K. (2023). Arquitetura IoT para integração de dados no contexto de um Smart Campus. *Proceedings of the 2023 15th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON 2023)*, 1561–1568. <https://doi.org/10.1109/INDUSCON58041.2023.10374701>
- Zeng, F., Pang, C., & Tang, H. (2024). Sensors on Internet of Things systems for the sustainable development of smart cities: A systematic literature review. *Sensors*, 24(7), Art. 2074. <https://doi.org/10.3390/s24072074>
- Zivelonghi, A., & Giuseppi, A. (2024). Smart healthy schools: An IoT-enabled concept for multi-room dynamic air quality control. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 4, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.05.005>

Estrategias Efectivas Aplicadas en América Latina

Un Análisis desde la Gerencia del Talento Humano

RESUMEN

El presente artículo de investigación aborda la importancia de la gestión del talento humano como un factor clave para el éxito empresarial en América Latina. Dada la diversidad cultural y los desafíos económicos y sociales en la región, se destaca la necesidad de implementar estrategias efectivas para atraer, retener y desarrollar empleados capacitados.

La metodología cualitativa se emplea, permitiendo una comprensión profunda del fenómeno a través de la perspectiva de los actores sociales. El análisis comparativo se centra en tres empresas seleccionadas para casos de estudio: Comfama, Postobón y Avianca. Estas empresas fueron elegidas por su reconocimiento, trayectoria y disponibilidad de información sobre estrategias gerenciales.

El marco conceptual integrará los hallazgos de la revisión de literatura y el análisis comparativo, proporcionando una comprensión detallada de la gestión del talento humano en el contexto latinoamericano.

Las conclusiones se derivarán de los resultados de la investigación, y se formularán recomendaciones prácticas tanto para empresas que buscan mejorar la gestión del talento humano como para gerentes interesados en comprender las tendencias, desafíos y oportunidades en la región. Este estudio contribuirá a fortalecer la gestión del talento humano en el contexto empresarial de América Latina.

Palabras Clave: Gestión humana, estrategias empresariales, trabajo, empresas, gerencia, adaptabilidad, eficiencia.

Jorge Armando García García

Magister en Gerencia del talento humano, Filósofo Humanista

Mail: historiagreg@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9964-9149>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000132683

Filiación Institucional: Corporación universitaria Remington

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

García García, J. A. (2024). Estrategias efectivas aplicadas en América Latina: un análisis desde la gerencia del talento humano en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 169-187). Editorial CIDE Ecuador.

EFFECTIVE STRATEGIES APPLIED IN LATIN AMERICA. AN ANALYSIS FROM HUMAN TALENT MANAGEMENT

ABSTRACT

This research article addresses the importance of human talent management as a key factor for business success in Latin America. Given the cultural diversity and the economic and social challenges in the region, it highlights the need to implement effective strategies to attract, retain and develop skilled employees.

Qualitative methodology is employed, allowing for an in-depth understanding of the phenomenon through the perspective of social actors.

The comparative analysis focuses on three companies selected for case studies: Comfama, Postobón and Avianca. These companies were chosen for their recognition, trajectory and availability of information on management strategies.

The conceptual framework will integrate the findings of the literature review and comparative analysis, providing a detailed understanding of human talent management in the Latin American context.

Conclusions will be derived from the research findings, and practical recommendations will be formulated both for companies seeking to improve human talent management and for managers interested in understanding the trends, challenges and opportunities in the region. This study will contribute to strengthening human talent management in the Latin American business context.

Keywords: Human Resources, Business Strategies, Work, Companies, Management, Adaptability, and efficiency.

INTRODUCCIÓN

La evolución del trabajo ha sido fundamental en la formación de sociedades organizadas y líneas de producción. Inicialmente, el enfoque empresarial se centraba en la eficiencia y la acumulación de capital, relegando a los trabajadores a un simple eslabón de la cadena. Con la teoría de la Administración Científica de Taylor, surgieron los primeros departamentos de personal, abriendo la puerta a la capacitación y mejores condiciones laborales.

Los sindicatos y los estudios de Elton Mayo en el siglo XX introdujeron la importancia de las relaciones sociales y las necesidades emocionales de los empleados en la productividad. La globalización y los avances tecnológicos transformaron el panorama laboral, cambiando la estabilidad laboral y elevando el papel del talento humano como elemento diferenciador para las empresas.

En América Latina, la gestión del talento humano se vuelve crucial dada su diversidad cultural y desafíos económicos y sociales. Este artículo de investigación emplea una metodología cualitativa, revisando literatura actualizada y explorando estrategias implementadas por empresas reconocidas en la región, como Comfama, Postobón y Avianca.

Desde la teoría económica neoclásica hasta la Administración Científica y los estudios de relaciones humanas, la percepción del trabajador ha evolucionado. La gestión del talento humano surgió para reconocer el valor intrínseco de las personas en el ámbito laboral. En América Latina, la aplicación de estrategias efectivas que cumplan con este fin se ven influenciada por factores sociales, económicos y políticos.

La estrategia empresarial se presenta como un plan coherente con metas organizacionales, y su éxito depende de la efectividad en su aplicación. La gestión del talento humano se ha vuelto esencial para convertir objetivos en realidad, reconociendo la importancia del factor humano en el logro de metas.

En el contexto latinoamericano, se destaca la diversidad y desigualdad laboral. La gestión del talento humano se configura como un tema central para empresas que buscan destacar y generar estabilidad.

Empresas como Comfama, Postobón y Avianca han implementado estrategias innovadoras en gestión del talento humano. La equidad de género, capacitación continua y programas de bienestar laboral son ejemplos de enfoques proactivos para atraer y retener talento. En este contexto, la gerencia del talento humano se consolida como un actor estratégico para el éxito empresarial en América Latina.

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El trabajo ha sido el motor fundamental de la evolución humana desde tiempos inmemoriales. Su desarrollo permitió la formación de las primeras sociedades organizadas y dio lugar a la especialización en tareas, estableciendo las bases para la creación de grandes líneas de producción y empresas dedicadas a la generación de bienes. En sus inicios, el concepto de empresa se limitaba a su función como una máquina de producción de bienes y acumulación de capital. En este contexto, los trabajadores eran considerados únicamente un eslabón en la cadena productiva, sometidos al principio de máxima eficiencia: aumentar las ganancias y reducir los costos. Según Cairo (2017), "entre 1901 y 1930, la teoría económica neoclásica transformó la concepción del trabajo en mercancía e instrumentalizó al ser humano como factor productivo" (p. 17).

Como era de esperarse, durante esta época las gerencias de talento humano fueron inexistentes, sin embargo, con la llegada de la teoría de la Administración Científica a principios del Siglo XX, propuesta por Frederick Taylor, que se enfocaba en la aplicación de métodos científicos para mejorar la eficiencia en la producción industrial, que consideraba importante la selección científica de empleados y la cooperación entre gerentes y trabajadores, se dio inicio a un periodo en el cual se crearon los departamentos de personal en las empresas, que se enfocaron en la capacitación de los empleados, así como un interés por brindar mejores condiciones a los trabajadores, con el fin de que ese recurso humano fuese más productivo.

Cairo (2017) señala que, durante este período, se instauró un modelo de paternalismo en el que los empleadores buscaban ofrecer mejores condiciones a los trabajadores con el objetivo de incrementar su productividad. Asimismo, surgieron los sindicatos como una respuesta directa a las duras condiciones laborales y las injusticias que enfrentaban los trabajadores durante la Revolución Industrial (p. 18).

Posteriormente, con la llegada de los Sindicatos, y los estudios sobre las relaciones humanas en la administración del psicólogo Elton Mayo, en los cuales concluyó que las relaciones sociales y la atención de las necesidades emocionales tenían un impacto significativo en la productividad (Ramos & Triana, 2007). Llegó una nueva ola en la que se entendió la importancia de comprender y satisfacer las necesidades sociales y emocionales de los empleados para mejorar su eficiencia.

Con la llegada de la globalización y los avances tecnológicos de gran envergadura, el modelo tradicional de empleo, en el que una persona permanecía toda su vida productiva en una misma empresa, ha cambiado drásticamente. En la actualidad, la estabilidad laboral es escasa, y los profesionales están constantemente en búsqueda de nuevas oportunidades que no solo impulsen su crecimiento profesional, sino que también les permitan disfrutar de condiciones laborales que fomenten su desarrollo personal y su bienestar, más allá de un buen salario.

En respuesta a estas transformaciones, los procesos de gestión humana en las empresas han evolucionado para adaptarse a las demandas actuales del talento humano. Como afirma Barrios González et al. (2016), "una práctica exitosa en gestión humana es aquella que no solamente se ocupa de la productividad de sus empleados, en términos de unidades de resultados, sino que está todo el tiempo promoviendo el desarrollo de las personas para el logro de los objetivos" (p. 121).

Asimismo, el talento humano, que antes era considerado un simple eslabón de la cadena productiva, ha pasado a convertirse en un factor diferenciador clave para las empresas, impulsado por el desarrollo tecnológico y social. Según Cairo (2017), "desde 1991, todos los procesos de globalización y la competencia a nivel mundial se han incrementado a una velocidad acelerada, lo cual ha producido una evolución en la gestión del capital humano como elemento fundamental de la gestión del conocimiento."

Es el cambio de percepción del trabajador como medio de producción a elemento diferencial para las empresas, el cual presenta a la gerencia de talento humano actual el reto de que el trabajo se asuma desde una perspectiva de realización que permita a las personas proyectarse, desplegando su creatividad y ayudando a su crecimiento continuo; "La palabra "gestión del talento humano" también conocida como "gestión de recursos humanos", "gestión del capital humano", "gestión del personal"

o "gestión humana" considera a la persona como alguien que aporta capacidad de trabajo y no como un objetivo para lograr objetivos" (Ramírez et al., 2018, p. 38). Para esto se han venido desarrollando una serie de estrategias en el contexto empresarial de toda América Latina, esto con el fin de diseñar prácticas exitosas en la gerencia del talento humano, lo que va a constituir el tema central de estudio del presente artículo de investigación. Es el cambio de percepción del trabajador como medio de producción a elemento diferencial para las empresas, el cual presenta a la gerencia de talento humano actual el reto de que el trabajo se asuma desde una perspectiva de realización que permita a las personas proyectarse, desplegando su creatividad y ayudando a su crecimiento continuo; "La palabra "gestión del talento humano" también conocida como "gestión de recursos humanos", "gestión del capital humano", "gestión del personal" o "gestión humana" considera a la persona como alguien que aporta capacidad de trabajo y no como un objetivo para lograr objetivos" (Ramírez et al., 2018, p. 38). Para esto se han venido desarrollando una serie de estrategias en el contexto empresarial de toda América Latina, esto con el fin de diseñar prácticas exitosas en la gerencia del talento humano, lo que va a constituir el tema central de estudio del presente artículo de investigación.

REVISIÓN DE LITERATURA

La gerencia del talento humano es una práctica relativamente nueva en América Latina que impactó la cadena de producción clásica del capitalismo, separando la fuerza de trabajo del hombre de los demás medios de producción y relacionando el concepto de efectividad con el de bienestar, por lo que para entender de qué se trata en profundidad es importante conocer las categorías de estrategia, efectividad y de gestión del talento humano directamente. Contar con estrategias gerenciales bien definidas es fundamental para alcanzar los objetivos de una empresa. Estas estrategias deben adaptarse al enfoque particular de cada organización, considerando el mercado que se busca impactar y el tipo de relación que se desea establecer con él.

El concepto de estrategia ha sido interpretado de diversas maneras, dependiendo del campo o contexto en el que se utilice. No obstante, para los fines de esta investigación, se centra en la estrategia empresarial, entendida como "el patrón o plan que incluye metas y políticas de la organización, coherentes con las acciones a cumplir" (Ramírez et al., 2019, p. 169).

La estrategia de una organización se erige como un plan que permite visualizar el camino u objetivo que pretende alcanzar un proyecto empresarial, y debe incluir todas las líneas que la conformen y lleven al cumplimiento efectivo de dicha meta. La estrategia organizacional, "Aporta un marco a la dirección unificada de la organización en función de sus metas, orienta los recursos y concentra el desarrollo de ventajas competitivas, indica la necesidad de adaptación sistemática del entorno, enfatiza encontrar posiciones favorables, considerando acciones futuras en los escenarios, con un impacto final importante" (Ramírez et al., 2018, p. 172).

De manera que, la estrategia, más que un plan de acción es una ruta que permite a las organizaciones definir su sitio de partida, y disponer de las herramientas tanto para llegar a su punto de equilibrio financiero como a posicionarse dentro del sector económico que es de su interés "Es la creación, implementación y evaluación de las decisiones dentro de una organización, alcanzando objetivos a largo plazo, para ello deben socializarse las actividades, y que el personal participe en la creación de dichas estrategias" (Ramírez et al., 2019, p. 170). De manera tal que, no es posible que una estrategia empresarial alcance la meta trazada de manera aislada al desarrollo de su talento humano, que deberán tener claridad de la misión y visión de la organización en la que participan como colaboradores, y es allí donde cobra importancia la efectividad de la gerencia del talento humano.

El éxito de una organización depende en gran medida de la relación armónica y realista entre las estrategias formuladas y la efectividad con la que estas se implementan. Como señala Porter (2008), "tanto la eficacia operacional como la estrategia son esenciales para un desempeño superior, que, después de todo, es la meta principal de todo negocio" (p. 2).

A pesar de que muchas empresas operan bajo condiciones de mercado similares y desarrollan estrategias internas parecidas, no todas logran el mismo nivel de éxito. Este resultado está estrechamente vinculado a su capacidad para aplicar eficazmente sus estrategias y gestionar de manera óptima sus fortalezas y debilidades competitivas. Porter (2008) destaca que "algunas empresas son capaces de obtener más de sus insumos que otras porque eliminan los esfuerzos malgastados, usan tecnología más avanzada, motivan mejor a sus empleados o son más astutas al administrar determinadas actividades o grupos de actividades" (p. 3).

La conexión entre el diseño de estrategias efectivas y su correcta implementación depende en gran medida de una gestión gerencial eficiente, ya que es el factor humano el que transforma los objetivos plasmados en papel en la realidad de la organización.

Como señala Lozano (2007):

"Para desempeñarnos con efectividad debemos saber innovar, comunicarnos, pensar, sentir y actuar, evitando ser disonantes en nuestras acciones, especialmente al dirigir equipos de trabajo y organizaciones. Debemos poseer pericia técnica y saber aplicar métodos, procedimientos y técnicas específicas de la administración" (p. 150).

Como se señaló en la revisión de los antecedentes del problema planteado para el presente proyecto de investigación, la gerencia del talento humano es una categoría que se comenzó a partir de la teoría de la administración científica que si bien solo consideraba la situación del empleado en cuanto a su relación con la ganancia que podía producir para su empleador, tratando de superar el papel clásicamente antagonico entre trabajadores y patrones, para ponerlos en una relación en la cual el beneficio de uno de ellos, supondría así mismo el beneficio del otro.

Taylor (1911) señala que:

"La Administración Científica tiene, como cimientos: el firme convencimiento de que los verdaderos intereses de unos y otros son únicos y los mismos; que no puede haber prosperidad para el patrón, en un término largo de años, a menos que vaya acompañada de prosperidad para el empleado, y viceversa; y que es posible darle al trabajador lo que más desea (unos salarios elevados) y al patrón lo que también más busca (un costo reducido de mano de obra) para sus fábricas" (p. 34).

Sin embargo, esta teoría carecía de un enfoque humanista, el cual emergió con la llegada de la Escuela de Relaciones Humanas. Este movimiento no solo se enfocó en la relación entre el hombre y el trabajo, sino que también buscó reconocer el potencial humano en todas sus dimensiones. Según Arango Henao (2011):

"El valor que tiene cada persona por el simple hecho de serlo y el derecho que tienen todas las personas a recibir un trato digno y a que se les reconozca este valor.

El hombre debe ocupar un lugar predominante en el mundo. Se reconoce además el potencial de cada persona para realizar grandes hazañas a través de la educación y el cultivo del espíritu. En la vida política se empiezan a incluir reformas que conducen a la limitación del poder y al reconocimiento de los derechos fundamentales de las personas."

La base de la teoría de las relaciones humanas se cimentó en las investigaciones de Elton Mayo y su experimento en Hawthorne, a través del cual describió la empresa como una familia y destacó que el éxito organizacional radica en la autorrealización y satisfacción personal de los trabajadores.

En 1924, el objetivo inicial de la investigación era identificar si existía una correlación entre la iluminación de los puestos de trabajo y la eficiencia de los operarios; sin embargo, a medida que el experimento se fue desarrollando con la llegada de Elton Mayo, se identificaron grandes descubrimientos que cambiarían la forma de entender a los trabajadores, tanto social como psicológicamente. Estos descubrimientos permitieron que los resultados de los estudios de Hawthorne se convirtieran en la base teórica de la TRH (Reyes, 2015).

A partir del experimento realizado en Hawthorne, se demostró que la recompensa salarial no es el único factor decisivo para la satisfacción del trabajador, como lo proponía la administración científica. De allí se proponen nuevas teorías de motivación en las que se demuestra la importancia de satisfacer otras necesidades del individuo en la organización (Reyes, 2015).

Es así entonces como la gerencia del talento humano llega a considerarse en la actualidad como una de las necesidades básicas para la creación, desarrollo y posicionamiento de una organización exitosa.

Sierra (2022) define la gestión del talento como "el área encargada de diseñar los lineamientos para optimizar los procesos de reclutamiento, selección, capacitación y evaluación del equipo de trabajo. Esto con el fin de velar por el bienestar de los trabajadores y de las organizaciones, ya que, desde esta perspectiva, también se construye una alta competitividad que permite desarrollar ventajas diferenciadoras frente a otras organizaciones" (p. 62).

No obstante, para implementar estrategias efectivas de gestión del talento en el contexto latinoamericano, es imprescindible analizar factores sociales, económicos, políticos e incluso climáticos. Estos elementos influyen directamente en los comportamientos y aspiraciones de los colaboradores, modificando su relación con las organizaciones. Por lo tanto, se deben considerar aspectos clave para un enfoque integral y contextualizado.

La gerencia del talento humano en América Latina y el Caribe es un proceso que ocurre de manera muy diversa debido a las diferentes regiones y organizaciones que se desenvuelven en este territorio. De acuerdo a la CEPAL (2020), la población de esta región es la más afectada por las precarias condiciones de trabajo, la cual se ve reflejado en la elevada inestabilidad, informalidad y desigualdad laboral (Sierra, 2022).

A raíz de estas situaciones, es que la aplicación de estrategias efectivas en la gerencia del talento humano en Latinoamérica se configura como un tema de interés para quienes buscan impactar de manera positiva a través de su desarrollo no solo a crear organizaciones productivas, sino a reconocer y valorar el capital humano como un punto esencial y diferenciador en la prestación de un servicio o la producción de un bien, y la forma de mantenerlo para generar estabilidad.

CONTEXTO

La gestión del talento humano se ha convertido en el factor diferencial del cual puede depender el éxito de una empresa u organización en América Latina; más aún tratándose de una región diversa culturalmente y llena de desafíos económicos y sociales, lo que genera un contexto que exige a las compañías implementar estrategias efectivas del talento humano para no solo atraer, sino retener y desarrollar empleados capacitados en todas esferas del conocimiento necesarios para el éxito empresarial, pues "Son estas quienes al interior de las empresas dinamizan los procesos de aprendizaje, la generación de conocimiento y los cambios necesarios para lograr mayor competitividad y sostenibilidad organizacional" (Agudelo-Orrego, 2019).

El presente artículo de investigación usará una metodología cualitativa, "La investigación cualitativa, así, permite comprender la profundidad de un fenómeno

a partir de la mirada de los actores sociales, la que se integra a los modelos explicativos cuantitativos" (Urbina, 2020), basada en la revisión juiciosa de literatura relacionada con la gestión del talento humano en América Latina, analizando investigaciones académicas, estudios previos, informes publicados por las empresas en sus páginas web y explorando las tendencias regionales para comprender las prácticas relacionadas con el tema de estudio en la región. Para la búsqueda de los documentos requeridos, se hizo uso de Google Académico, y se estableció un filtro de tiempo de publicación de entre el 2018 y el 2024, esto con el fin de encontrar literatura actualizada y a la vanguardia del contexto actual.

Así las cosas, y habiéndose revisado de manera exhaustiva la revisión de la literatura, se procederá con un análisis comparativo de las estrategias de gestión de talento humano implementadas específicamente en las empresas que se han seleccionado para los casos de estudio, datos relevantes para identificar similitudes y diferencias y así encontrar las mejores prácticas de gestión del talento humano en la región. El criterio de selección de las empresas que serán estudiadas se basó en tres criterios: Compañías de amplia trayectoria y reconocimiento, que ejercieran su actividad comercial en América Latina, y que hubiesen publicado de manera directa o indirecta sus estrategias gerenciales, de manera que fuera posible su consulta.

De esta manera, se eligió a Comfama, Postobón y Avianca, tres compañías que cumplen con las características señaladas, y que en una revisión previa de fuentes de consulta se encontró que han sido previamente estudiadas en artículos de investigación, han hecho públicas sus estrategias y cuentan con amplia trayectoria y reconocimiento en el mercado latinoamericano.

Adicionalmente, se realizará un marco conceptual que recoja los hallazgos de la revisión de literatura, así como el análisis comparativo, lo que permitirá una comprensión más específica de la gestión del talento humano, y su aplicación en América Latina.

Finalmente, se elaborarán las conclusiones de lo encontrado en la investigación, y se formularán las recomendaciones prácticas para las empresas que buscan mejorar la gestión del talento humano, así como para todos aquellos gerentes que quieren conocer las tendencias emergentes, los desafíos a los que se enfrentan y las oportunidades para el desarrollo y la implementación de estrategias efectivas de gestión del talento humano en la región.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para conocer la forma en la que las empresas del contexto latinoamericano han afrontado los retos que presenta una gerencia del Talento Humano eficiente, es importante analizar todas aquellas estrategias que les permiten seguir siendo competitivas en un mercado donde la experticia técnica ya no es suficiente, y el talento humano se erige como el factor diferenciador del cual puede depender el éxito de un negocio, como se había planteado "Algunas empresas son capaces de obtener más de sus insumos que otras porque eliminan los esfuerzos malgastados, usan tecnología más avanzada, motivan mejor a sus empleados o son más astutos al administrar determinadas actividades o grupos de actividades" (Porter, 2008, p. 3); de esta forma lo han entendido compañías como Comfama, que ha entendido que el área de gestión humana no puede seguir con su rol tradicional, sino que requiere ir al ritmo de las necesidades para desarrollar el negocio, y por eso se han ocupado de diseñar estrategias como la que trata de equidad de género y disminución de brechas laborales en mujeres dentro de su organización, demostrando que tener presente un enfoque social también genera beneficios para la el crecimiento empresarial. Adicionalmente, es importante destacar que por el tipo de negocio al que compañías como Comfama se dedican, hace parte de su naturaleza promover con sus empresas aliadas distintas estrategias que promuevan la gestión del talento humano pues, es "el patrón o plan que incluye metas y políticas de la organización, coherentes a las acciones a cumplir" (Ramírez et al., 2019, p. 169) y así ha creado líneas de capacitación como la red de líderes, y ha divulgado variadas estrategias como las que tienen como objetivo retener el talento joven, la creación y aplicación del plan de bienestar laboral, y al interior de la misma, señala ser consciente de que las personas empoderadas, comprometidas, y felices son quienes pueden impulsar a las empresas a otros niveles de competitividad y a construir un mejor futuro.

Los negocios sea cual fuere su naturaleza, siempre tienen un único objetivo, que es destacar dentro del mercado y acercarse a los rendimientos económicos que se han presupuestado, como se ha dicho "Tanto la eficacia operacional como la estrategia son esenciales para un desempeño superior, el que, después de todo, es la meta principal de todo negocio" (Porter, 2008, p. 2), así SURA como conglomerado empresarial se ha ocupado de generar modelos que llama de atracción y fidelización del talento humano dentro de cada una de sus filiales y sucursales en el contexto latinoamericano en el que opera, lo que permite dilucidar el rol protagónico que ha

venido lentamente ocupando la gerencia del talento humano dentro de estas grandes compañías que desarrollan su actividad comercial en contextos tan diversos como el de la salud o el aseguramiento de vehículos.

Ha sido claro que si bien la definición de estrategias efectivas en la gerencia del talento humano es una práctica que se ha venido desarrollando con la llegada de la globalización y los inconmensurables desarrollos tecnológicos, que han creado a su vez un contexto de baja estabilidad laboral, no solo como consecuencia del mercado, sino por decisión del talento humano que hoy en día descarta el objetivo clásico de permanecer en un empleo durante toda la vida ha sido reemplazado por la búsqueda de nuevas oportunidades que permitan el crecimiento personal, aseguren una asignación laboral llamativa y presenten la posibilidad de gozar de buenas condiciones en general, por lo que "Una práctica exitosa en gestión humana es aquella que no solamente se ocupa de la productividad de sus empleados, en términos de unidades de resultados, sino que está todo el tiempo promoviendo el desarrollo de las personas para el logro de los objetivos" (Barrios González, 2016, p. 121); así que las compañías han tenido que plantearse estrategias para lograr atraer y mantener su talento humano, así, compañías como Avianca, con presencia en varios países latinoamericanos se han ocupado en primer lugar de construir herramientas para conocer las causas de las renunciaciones dentro de su compañía, encontrando como respuesta la desmotivación, la extensión de la jornada de trabajo, los salarios asimétricos, y las bajas oportunidades de crecimiento profesional, con el fin de construir planes de mejora enfocados en buscar soluciones a las causas o factores encontrados y minimizar la deserción laboral.

Es claro entonces, que a partir de la publicación de estudios que desarrollan teorías útiles para la gerencia del talento humano, las grandes compañías han llevado a la práctica diferentes estrategias que buscan afianzar el papel fundamental de los empleados en el crecimiento del negocio, no solo como un eslabón de la cadena de reproducción, sino como el punto diferencial que marca el crecimiento de un negocio.

CONCLUSIONES

En el marco de esta investigación centrada en la gestión del talento humano en América Latina, se ratifica el propósito fundamental de comprender y analizar las estrategias aplicadas por empresas destacadas en la región, a saber, Comfama, Postobón y Avianca. Este enfoque busca abordar de manera integral los desafíos contemporáneos del entorno laboral en esta geografía diversa y dinámica.

El recorrido histórico desde la teoría económica neoclásica hasta la actualidad revela una transformación sustancial en la percepción del trabajador, evolucionando de un mero componente productivo a un elemento crucial y diferenciador para las empresas. La gestión del talento humano emerge como una práctica esencial para no solo atraer y retener, sino también para desarrollar empleados capacitados en una variedad de áreas. Estrategias innovadoras implementadas por empresas líderes, como la promoción de la equidad de género, programas de capacitación continua y enfoques proactivos hacia el bienestar laboral, destacan como pilares fundamentales.

Con base en las complejidades y carencias identificadas en el estudio, se pueden concluir algunas sugerencias o recomendaciones claves de la estrategia de talento humano en Latinoamérica:

- **Desarrollo Continuo de Estrategias Innovadoras:** Se sugiere que las empresas perpetúen el desarrollo y la implementación de estrategias innovadoras en la gestión del talento humano. La capacidad para adaptarse a las dinámicas cambiantes del mercado laboral y la promoción de prácticas que favorezcan la retención y motivación de los empleados son imperativas.
- **Enfoque Estratégico en la Diversidad:** Dada la rica diversidad cultural de América Latina, se recomienda un enfoque específico en estrategias que fomenten la diversidad e inclusión en el entorno laboral. La comprensión y abordaje de las diferencias culturales pueden potenciar la eficacia de la gestión del talento humano.
- **Fomentar la Colaboración y Comunicación Continua:** La promoción de una colaboración estrecha y comunicación continua entre los departamentos de gestión del talento humano y los empleados puede contribuir a la identificación temprana de problemas y facilitar la implementación eficiente de soluciones.

- **Flexibilidad y Adaptabilidad:** Dada la naturaleza volátil del entorno laboral actual, se insta a las empresas a adoptar un enfoque flexible y adaptable en sus estrategias de gestión del talento humano. Esto implica la implementación de políticas que se ajusten a las necesidades cambiantes de los empleados.

En síntesis, este estudio destaca la creciente importancia de la gestión del talento humano en América Latina y ofrece recomendaciones detalladas para fortalecer y mejorar las prácticas existentes. La atención continua a la evolución del entorno laboral y la implementación de estrategias innovadoras se revelan como pilares fundamentales para el éxito empresarial en esta región dinámica y diversa.

REFERENCIAS

- Agudelo-Orrego, B. E. (2019). Formación del talento humano y la estrategia organizacional en empresas de Colombia. *Entramado*, 15(1), 117–130. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-38032019000100116
- Arango Henao, J. E. (2011). *Escuela de las Relaciones Humanas en la Administración – Los Trabajos del Elton Mayo*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Barrios González, M., Gallego Pineda, G., López Velásquez, A. M., & Restrepo Escobar, F. (2016). Prácticas exitosas de gerencias del talento humano en doce empresas antioqueñas (Colombia). *Revista Adversia*, 5(28), 39–58. <https://www.redalyc.org/journal/5518/551857280004/551857280004.pdf>
- Cairo, C. A. (2017). *Evolución, tendencias y dimensión estratégica de la gestión del talento humano en las organizaciones*. Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5478f680-1db6-48bc-9d7b-4f8aace7af5d/content>
- Lozano Correa, L. J. (2007). El talento humano: Una estrategia de éxito en las empresas culturales. *Revista EAN*, (60), 147–164.
- Porter, M. E. (2008). ¿Qué es la estrategia? Harvard Business Review. <https://hbr.org/1996/11/what-is-strategy>
- Ramírez Molina, R. I., Chacón Zúñiga, H. C., & Valencia Alfaro, K. P. (2018). Gestión del talento humano como estrategia organizacional en las pequeñas y medianas empresas. *CICAG: Revista del Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales*, 15(3), 20–42.
- Ramírez, R. I., Espindola, C. A., Ruíz, G. I., & Hugueth, A. M. (2019). Gestión del talento humano: Análisis desde el enfoque estratégico. *Información Tecnológica*, 30(6), 167–176. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600167>

- Ramos Lugo, G. E. & Triana Gómez, M. L. (2007). Escuela de relaciones humanas y su aplicación en una empresa de telecomunicaciones. *Scientia Et Technica*, 13(34), 309–314. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84934052.pdf>
- Reyes, J. G. (2015). La teoría de las relaciones humanas: ¿Un enfoque humanista real del trabajo? *Innovación en la Gestión*, 2(1), 29–39.
- Sierra, R. Y. (2022). Gestión del talento humano como estrategia para el óptimo desempeño laboral: Un estudio de revisión sistemática. *Business Innova Sciences (BIS)*, 8(3), 61–76.
- Taylor, F. W. (1911). *Principios de la administración científica*. México: Herrero Hermanos, Sucesores S.A.
- Urbina, E. C. (2020). Editorial: Investigación cualitativa. *Applied Sciences in Dentistry*, 10(1), 1–2

La Competitividad y la Sostenibilidad y su Integración en la Estrategia Empresarial

Análisis desde una Perspectiva Empírica

Wilson Ricardo Pinillos Castillo

Magister en Dirección de Marketing, Profesional en Publicidad y Mercadeo

Mail: wrpinillos@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3248-8146>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001646378

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Odair Triana Calderón

Magister en Finanzas, Magister en Gestión y Dirección de Proyectos, Profesional en Administración de Empresas.

Mail: odair@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3288-474X>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001458682

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Benjamín Andrés Manjarrés Zárate

Magister en Administración de Organizaciones, Profesional en Administración de Empresas

Mail: bmanjarres@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9996-355X>

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

Diego Hernando Valbuena Montoya

Magister en Innovación, Profesional en Ingeniería Industrial

Mail: dhvalbuena@ucundinamarca.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6861-0628>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001995143

Filiación Institucional: Universidad de Cundinamarca

RESUMEN

Este capítulo analiza cómo las organizaciones pueden integrar la competitividad y la sostenibilidad en su estrategia corporativa, en respuesta a la creciente conciencia ambiental y social y a la necesidad de generar valor a largo plazo en un entorno globalizado. El objetivo es proporcionar un análisis que contribuya a la comprensión de este fenómeno y ofrecer recomendaciones prácticas para que las empresas implementen eficazmente esta integración, beneficiando tanto a sus clientes como al mercado al que pertenecen.

La investigación adopta un enfoque teórico basado en la teoría de la sostenibilidad, la competitividad sistémica y la teoría de recursos y capacidades. Se empleó una metodología descriptiva de diseño transversal con enfoque cualitativo, que incluyó el análisis documental de literatura académica de los últimos diez años y la consulta a un panel de 15 expertos mediante entrevistas en profundidad. Los principales resultados incluyen la identificación de factores clave de competitividad empresarial, la consolidación de criterios de sostenibilidad derivados de modelos internacionales y la construcción de lineamientos para la planificación y gestión estratégica que integren principios de sostenibilidad, promoviendo el aumento de los niveles de competitividad.

Palabras Clave: Competitividad, sostenibilidad, estrategia empresarial

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Pinillos Castillo, W. R., Triana Calderón, O., Manjarrés Zárate, B. A., & Valbuena Montoya, D. H. (2024). La competitividad y la sostenibilidad y su integración en la estrategia empresarial: análisis desde una perspectiva empírica en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 188-240). Editorial CIDE Ecuador

COMPETITIVENESS AND SUSTAINABILITY AND THEIR INTEGRATION INTO THE BUSINESS STRATEGY ANALYSIS FROM AN EMPIRICAL PERSPECTIVE

ABSTRACT

This chapter analyzes how organizations can integrate competitiveness and sustainability into their corporate strategy, in response to the growing environmental and social awareness and the need to generate long-term value in a globalized environment. The objective is to provide an analysis that contributes to the understanding of this phenomenon and to offer practical recommendations for companies to effectively implement this integration, benefiting both their customers and the market to which they belong.

The research adopts a theoretical approach based on the theory of sustainability, systemic competitiveness, and the resource-based view. A descriptive methodology with a cross-sectional design and qualitative approach was employed, which included documentary analysis of academic literature from the last ten years and consultation with a panel of 15 experts through in-depth interviews. The main results include the identification of key factors of business competitiveness, the consolidation of sustainability criteria derived from international models, and the construction of guidelines for strategic planning and management that integrate sustainability principles, promoting increased levels of competitiveness.

Keywords: Competitiveness, Sustainability, Business Strategy

INTRODUCCIÓN

La competitividad empresarial sigue siendo un tema de interés para las organizaciones, el cual cobra fuerza dada la creciente conciencia ambiental y social, y la necesidad de generar valor a largo plazo en un entorno cada vez más globalizado (Porter & Kramer, 2011). En este sentido, el análisis de la competitividad debe abordarse no solo desde los factores internos como la eficiencia operativa y la innovación, sino que, además, debe considerar la capacidad de la organización para atender y dar respuesta a los desafíos y oportunidades asociadas a la sostenibilidad (Lubin & Esty, 2010).

Durante los últimos diez años, han emergido diversas iniciativas y entidades con el propósito de estandarizar y fomentar la elaboración de informes sobre sostenibilidad corporativa. Entre las más destacadas se encuentran el Task Force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), que se enfoca en reportes relacionados con el cambio climático (Blasco y Sáez, 2009); el Sustainability Accounting Standards Board (SASB) y el International Integrated Reporting Council (IIRC), los cuales se fusionaron en 2021 para formar la Value Reporting Foundation (VRF) (IFRS, 2023); y la Global Reporting Initiative (GRI), que emite los estándares más utilizados internacionalmente en la preparación de informes de sostenibilidad empresarial (Blasco y Sáez, 2009).

En el año 2022, la Fundación IFRS anunció la integración de la VRF y el TCFD con el propósito de simplificar los criterios de informes de sostenibilidad y atender las necesidades de inversores, reguladores y otros grupos de interés. Para lograr esto, estableció el International Sustainability Standards Board (ISSB), responsable de emitir normas internacionales de reporte financiero enfocadas en la sostenibilidad (NIIF S), que complementan a las NIIF tradicionales (IFRS, 2023). Simultáneamente, el Grupo Asesor Europeo de Información Financiera desarrolló las Normas Europeas de Reporte de Sostenibilidad (NEIS), destinadas a los Estados miembros de la Unión Europea. Estos estándares se fundamentan en tres pilares: los impactos, los riesgos y las oportunidades de relevancia para las organizaciones (European Financial Reporting Advisory Group [EFRAG], 2023).

La sostenibilidad y la competitividad empresarial son conceptos interrelacionados que juegan un papel fundamental en el progreso económico y social de Colombia.

La sostenibilidad se ha convertido en una prioridad estratégica para las empresas colombianas debido a la creciente presión social y regulatoria, así como al reconocimiento de que está intrínsecamente vinculada a la competitividad a largo plazo (Pacto Global Colombia, 2024). De manera similar, la competitividad influye en la habilidad de las empresas para funcionar de manera eficiente en un entorno global cada vez más complejo, impactando no solo su viabilidad económica sino también el desarrollo sostenible del país (Consejo Privado de Competitividad [CPC], 2021). Entender la conexión entre estos dos conceptos es esencial para enfrentar los desafíos que las compañías enfrentan y promover prácticas que favorezcan tanto el crecimiento económico como la responsabilidad ambiental y social.

Las empresas colombianas se enfrentan a problemáticas que afectan simultáneamente su sostenibilidad y competitividad. Una de las principales causas es la corrupción y la ineficiencia del Estado, factores que socavan la confianza en las instituciones y crean un ambiente desfavorable para las inversiones (Proantioquia, 2021). El 81% de la población percibe negativamente el sistema de justicia y la gestión pública, lo que conduce a un uso subóptimo de los recursos y limita el crecimiento y la innovación empresarial (CPC, 2021). Además, la dependencia de modelos lineales de producción ha llevado a altos niveles de contaminación y degradación ambiental, afectando a un país particularmente vulnerable al cambio climático (Pacto Global Colombia, 2024). La falta de estrategias efectivas para mitigar estos impactos limita la capacidad de las empresas para cumplir con las expectativas ambientales de consumidores y reguladores (Ceballos et al., 2022).

Otro desafío significativo es la insuficiente transformación digital. Solo el 7% de las inversiones empresariales se destina a este ámbito, situando a Colombia detrás de otros países en términos de innovación tecnológica (CPC, 2021; Medeiros et al., 2020). La falta de capacitación tecnológica y la escasa inversión en investigación y desarrollo limitan la capacidad de las empresas para adaptarse a las nuevas demandas del mercado y adoptar prácticas sostenibles en sus operaciones. Además, la complejidad y falta de transparencia en las cadenas de suministro dificultan la trazabilidad y la implementación de prácticas sostenibles, lo que puede resultar en efectos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto y afectar la confianza del consumidor (Mena et al., 2021). Las condiciones del mercado, como la dificultad para acceder a financiamiento y una infraestructura deficiente, también obstaculizan la competitividad de las pequeñas y medianas empresas (MIPYMES), que son esenciales para la economía colombiana (Carrasco et al., 2021).

La sostenibilidad se ha convertido en una prioridad estratégica para las empresas colombianas debido a la creciente presión social y regulatoria, así como al reconocimiento de que está intrínsecamente vinculada a la competitividad a largo plazo (Pacto Global Colombia, 2024). De manera similar, la competitividad influye en la habilidad de las empresas para funcionar de manera eficiente en un entorno global cada vez más complejo, impactando no solo su viabilidad económica, sino también el desarrollo sostenible del país (Consejo Privado de Competitividad [CPC], 2021). Entender la conexión entre estos dos conceptos es esencial para enfrentar los desafíos que las compañías enfrentan y promover prácticas que favorezcan tanto el crecimiento económico como la responsabilidad ambiental y social.

Las empresas colombianas se enfrentan a problemáticas que afectan simultáneamente su sostenibilidad y competitividad. Una de las principales causas es la corrupción y la ineficiencia del Estado, factores que socavan la confianza en las instituciones y crean un ambiente desfavorable para las inversiones (Proantioquia, 2021). El 81% de la población percibe negativamente el sistema de justicia y la gestión pública, lo que conduce a un uso subóptimo de los recursos y limita el crecimiento y la innovación empresarial (CPC, 2021). Además, la dependencia de modelos lineales de producción ha llevado a altos niveles de contaminación y degradación ambiental, afectando a un país particularmente vulnerable al cambio climático (Pacto Global Colombia, 2024). La falta de estrategias efectivas para mitigar estos impactos limita la capacidad de las empresas para cumplir con las expectativas ambientales de consumidores y reguladores (Ceballos et al., 2022).

Otro desafío significativo es la insuficiente transformación digital. Solo el 7% de las inversiones empresariales se destina a este ámbito, situando a Colombia detrás de otros países en términos de innovación tecnológica (CPC, 2021; Medeiros et al., 2020). La falta de capacitación tecnológica y la escasa inversión en investigación y desarrollo limitan la capacidad de las empresas para adaptarse a las nuevas demandas del mercado y adoptar prácticas sostenibles en sus operaciones. Además, la complejidad y falta de transparencia en las cadenas de suministro dificultan la trazabilidad y la implementación de prácticas sostenibles, lo que puede resultar en efectos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto y afectar la confianza del consumidor (Mena et al., 2021). Las condiciones del mercado, como la dificultad para acceder a financiamiento y una infraestructura deficiente, también obstaculizan la competitividad de las pequeñas y medianas empresas (MIPYMES), que son esenciales para la economía colombiana (Carrasco et al., 2021).

Estos desafíos generan efectos significativos en las empresas. La incapacidad para abordar adecuadamente los retos de sostenibilidad y competitividad puede dañar la reputación corporativa, llevando a una disminución en ventas y lealtad a la marca (Mena et al., 2021). Los costos operativos pueden incrementarse debido a multas y sanciones por incumplimiento de normativas ambientales, así como por ineficiencias derivadas de prácticas insostenibles (Ceballos et al., 2022). La baja productividad es un resultado directo de la combinación de corrupción, ineficiencia estatal y falta de inversión en tecnología, reduciendo la capacidad para generar valor agregado y competir en mercados internacionales (Medeiros et al., 2020). Además, existe el riesgo de desconexión con un mercado cada vez más consciente y exigente en términos de responsabilidad social y ambiental, lo que puede traducirse en pérdida de cuota de mercado frente a competidores más comprometidos (Pacto Global Colombia, 2024). La desigualdad competitiva afecta particularmente a las MIPYMES, que quedan rezagadas frente a grandes corporaciones capaces de absorber mejor los costos asociados con estos desafíos (Carrasco et al., 2021).

Para afrontar estos desafíos, es fundamental que las empresas implementen acciones concretas que integren la sostenibilidad y la competitividad en sus estrategias corporativas. La inversión en transformación digital puede incrementar la eficiencia operativa y facilitar la adopción de prácticas sostenibles (CPC, 2021). Establecer mecanismos que garanticen la trazabilidad en las cadenas de suministro puede mejorar la transparencia y fortalecer la confianza del consumidor (Mena et al., 2021). La formación y el desarrollo del talento humano son esenciales para aumentar la capacidad de innovación y adaptación en un entorno en constante cambio (CPC, 2021). Además, combatir la corrupción y promover la eficiencia del Estado requiere una colaboración entre el sector público y privado para establecer un entorno favorable para las inversiones y el crecimiento empresarial (Proantioquia, 2021). Por último, mejorar las condiciones del mercado mediante el acceso a financiamiento y el fortalecimiento de la infraestructura puede potenciar la competitividad de las MIPYMES (Carrasco et al., 2021).

En este escenario, el propósito de este capítulo es ofrecer un análisis sobre cómo las organizaciones pueden integrar la competitividad y la sostenibilidad en su estrategia corporativa. A través de una revisión exhaustiva de la literatura académica y el examen de los principales estándares y marcos de información sobre sostenibilidad, se busca contribuir a una comprensión más profunda de este fenómeno.

Asimismo, se proponen recomendaciones prácticas para que las organizaciones implementen esta integración de manera efectiva, generando valor a largo plazo para sus clientes y fortaleciendo su posición en el mercado al que pertenecen.

Con este fin, la presente investigación tiene como objetivo general analizar la integración entre competitividad y sostenibilidad que permita a las organizaciones adoptar estrategias corporativas sostenibles sin comprometer su capacidad competitiva en el mercado. En un mundo global cada vez más consciente de las responsabilidades ambientales y sociales, este modelo aspira a proporcionar a las empresas una herramienta que equilibre el crecimiento económico con la preservación del medio ambiente y la creación de valor social.

Para alcanzar este objetivo general, se establecen tres objetivos específicos. Primero, identificar los factores clave que conectan la sostenibilidad y la competitividad en las organizaciones, con el propósito de comprender las dinámicas internas y externas que influyen en esta relación. Segundo, evaluar los modelos y estándares internacionales de sostenibilidad aplicables en la gestión estratégica empresarial, explorando marcos normativos reconocidos y su capacidad para guiar a las organizaciones hacia un desarrollo sostenible. Finalmente, proponer directrices y estrategias que permitan a las empresas implementar eficazmente la integración de sostenibilidad y competitividad, asegurando la creación de valor a largo plazo y la optimización de recursos.

La metodología de esta investigación se basa en un diseño cualitativo transversal. Inicialmente, se realizará una revisión exhaustiva de la literatura académica de los últimos diez años, enfocada en los conceptos de competitividad, sostenibilidad y sus intersecciones. Asimismo, se analizarán los principales modelos internacionales, como los lineamientos del Global Reporting Initiative (GRI) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), para evaluar su aplicabilidad en el contexto empresarial actual. Además, se llevarán a cabo entrevistas en profundidad con un panel de expertos compuesto por profesionales con amplia experiencia en la integración de sostenibilidad y competitividad en diversas industrias. Estos aportes permitirán contrastar la teoría con la práctica y generar recomendaciones adaptadas a las necesidades empresariales.

De esta forma, la investigación pretende proporcionar un marco práctico que apoye a las empresas en la toma de decisiones estratégicas, asegurando que puedan competir en el mercado global mientras responden a las exigencias de sostenibilidad que impone la sociedad moderna.

MARCO TEÓRICO

LA COMPETITIVIDAD

La competitividad es un concepto amplio y multidimensional que ha sido ampliamente explorado en la literatura académica. Orellana-Bueno et al. (2020) y Medeiros et al. (2020) la definen como la habilidad de un país para generar bienes y servicios que cumplen con los estándares y regulaciones internacionales, mejorando el nivel de vida a largo plazo y operando en condiciones iguales o superiores a otras economías. Esta perspectiva resalta la importancia de la eficiencia y la alineación con las exigencias globales.

A nivel empresarial, la competitividad implica desarrollar estrategias sostenibles para ingresar y posicionarse en el mercado (Delfín y González, 2023). Esto requiere ir más allá de la simple producción, abarcando aspectos como la innovación, la gestión empresarial y la adopción de tecnología. Amaya (2020) y Saldarriaga et al. (2019) destacan que la innovación es un factor clave y actúa como un denominador común esencial para todo tipo de empresas, independientemente de su sector o tamaño. Amaya (2020) contrapone la competitividad auténtica, fundamentada en la incorporación de tecnología y el uso sostenible de los recursos naturales, con la "competitividad espuria", que se basa en la explotación de recursos humanos y naturales, subrayando la importancia de prácticas sostenibles para lograr una ventaja competitiva genuina.

COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

La competitividad empresarial es un concepto esencial que se relaciona con la capacidad de una compañía para desarrollar estrategias que le permitan ingresar y posicionarse de manera sostenible en su mercado objetivo (Delfín y González, 2023). Esta capacidad está estrechamente vinculada con la

creación de riqueza mediante beneficios, innovación, diferenciación y reducción de costos (Castro-Chuchuca et al., 2022). No se limita únicamente a la eficiencia y eficacia operativas, sino que también abarca la productividad a largo plazo y la adaptabilidad a los cambios del entorno (Carrasco et al., 2023).

La gestión empresarial juega un papel fundamental en la competitividad, ya que implica una administración estratégica, operativa y financiera adecuada, lo cual influye significativamente en el desempeño organizacional (Batallas et al., 2021). Además, la capacidad de gestionar eficazmente activos intangibles como el capital humano y el conocimiento organizacional es determinante para mantener una ventaja competitiva (Romo-González et al., 2019). En este contexto, la resiliencia organizacional se reconoce como un factor clave para la adaptación integral ante cambios en el entorno, contribuyendo tanto a la competitividad como a la sostenibilidad empresarial (Barrios et al., 2023).

La innovación y la adopción de tecnología son factores críticos para asegurar la supervivencia y el éxito a largo plazo de las empresas en un entorno cada vez más digital (Pérez et al., 2023). Estos elementos se han convertido en pilares fundamentales para mantener la competitividad y diferenciarse en el mercado. La gestión eficaz de la innovación es esencial no solo para el crecimiento y rentabilidad empresarial, sino también para la promoción del empleo y el impulso de la competitividad a nivel nacional (Gaviria-Yepes y Valencia-Arias, 2020).

COMPETITIVIDAD SISTÉMICA

La competitividad sistémica, según Cajigas et al. (2019), se fundamenta en la idea de que el éxito de una industria no se puede atribuir únicamente a factores macroeconómicos o microeconómicos, sino que debe considerar un enfoque más holístico que incluya elementos meso, como la interacción entre el gobierno, las organizaciones privadas y las políticas socioculturales Plazola et al. (2020).

Este enfoque sistémico implica que la competitividad de una industria representa la forma en la que se da la interacción de múltiples actores y factores que operan en diferentes niveles, facilitando la comprensión integral

de los desafíos y oportunidades que enfrentan las organizaciones en un entorno globalizado. Uno de los aspectos fundamentales de esta teoría es la importancia de la articulación entre los diferentes agentes que hacen parte del proceso de competitividad. Esto incluye no solo a las empresas, sino también a las instituciones gubernamentales y las organizaciones no gubernamentales, que juegan un papel crucial en la creación de un entorno favorable para el crecimiento industrial (Gómez et al., 2018).

La competitividad sistémica, por lo tanto, se basa en la creación de redes y alianzas que facilitan la innovación y el intercambio de conocimientos, aportando a la vez al crecimiento económico y al desarrollo sostenible. La relación entre la competitividad sistémica y la teoría de recursos y capacidades, como plantea Carrizosa (1998), se centra en cómo las organizaciones pueden utilizar sus recursos y capacidades para mejorar su competitividad en un entorno dinámico.

Esta última teoría sugiere que las empresas que poseen recursos valiosos, raros, inimitables y no sustituibles pueden obtener una ventaja competitiva sostenible (Argota-Pérez & Argota-Pérez, 2021). De igual forma, enfatiza el valor de la gestión efectiva de los recursos internos de la organización, así sus capacidades de adaptación y respuesta a las condiciones cambiantes del mercado. La intersección entre ambas teorías radica en la necesidad de que las organizaciones no solo se enfoquen en sus recursos internos, sino que también reconozcan la importancia de su contexto externo.

La competitividad sistémica proporciona un marco para entender cómo las interacciones con otros actores y factores externos pueden influir en la capacidad de una organización para aprovechar sus recursos y capacidades de manera efectiva (Pérez-Maldonado et al., 2022). Por ejemplo, una empresa que colabora con instituciones educativas para desarrollar programas de capacitación puede mejorar su capital humano, lo que a su vez puede aumentar su capacidad para innovar y competir en el mercado. Además, la teoría de la competitividad sistémica resalta la importancia de las capacidades dinámicas, que son esenciales para que las organizaciones se adapten a un entorno en constante cambio.

LA TEORÍA DE RECURSOS Y CAPACIDADES

La teoría de recursos y capacidades se centra en cómo las organizaciones logran y mantienen una ventaja competitiva sostenible mediante la gestión eficaz de sus recursos internos. Los recursos incluyen activos tangibles e intangibles, incluida maquinaria, capital humano y marcas. Las capacidades se refieren a la capacidad organizacional para utilizar estos recursos de manera efectiva. Para que un recurso ayude a generar una ventaja competitiva, debe ser valioso, escaso, difícil de imitar e irremplazable. Esta teoría enfatiza que las empresas que integran correctamente recursos y capacidades son más capaces de adaptarse a los cambios ambientales y destacarse en el mercado.

Estas capacidades permiten a las empresas reconfigurar sus recursos y capacidades en respuesta a nuevas oportunidades y amenazas, lo que es fundamental para sostener los niveles de competitividad en el tiempo (Álvarez-Pico & Zaldumbide-Peralvo, 2020). La sinergia entre la competitividad sistémica y la teoría de recursos y capacidades sugiere que las organizaciones han de considerar un enfoque integrado en el que destaca tanto sus recursos internos como su entorno externo para maximizar su potencial competitivo.

LA SOSTENIBILIDAD

La sostenibilidad como concepto se ha convertido en un aspecto clave para el desarrollo organizacional, promoviendo la implementación de prácticas que benefician no solo a las organizaciones, sino también a la sociedad y al medio ambiente. Este enfoque se fundamenta en la necesidad de integrar la sostenibilidad en la estrategia empresarial, lo que implica un compromiso ético que impacta la gestión y las acciones de responsabilidad social. Según De la Rosa Leal (2021), la sostenibilidad no es solo un objetivo, sino una forma de operar en la que se pretende dar equilibrio a las necesidades económicas, sociales y ambientales, de manera que se garantice el bienestar presente y futuro. La sostenibilidad empresarial se puede entender a través del enfoque del "triple resultado" o "triple bottom line", que considera el desempeño social, económico y ambiental de las organizaciones. Esta perspectiva permite a las empresas consolidar sus procesos de creación de valor a largo plazo, tanto para los directivos y accionistas, a la vez que se benefician sus empleados, clientes y la comunidad en general (Plua et al., 2022).

La implementación de prácticas sostenibles se ha asociado con un mejor desempeño financiero, como se evidencia en estudios que muestran una relación favorable entre la responsabilidad social empresarial (RSE) y los resultados financieros en diversas industrias (Jaimes et al., 2021). Esto sugiere que las empresas que incorporan acciones en el marco de la sostenibilidad contribuyen de manera directa al bienestar social y ambiental, a la vez que mejoran su rentabilidad y competitividad en el mercado. Además, la sostenibilidad se ha vinculado a la felicidad y bienestar laboral, lo que a su vez influye aspectos como la productividad y el grado de satisfacción de sus empleados.

Castro-Martínez y Pérez-Ordóñez (2024) destaca que las organizaciones que implementan estrategias de sostenibilidad y bienestar laboral tienden a tener una imagen de marca más positiva ya atraer y retener talento. Esto se traduce en un ciclo virtuoso donde la sostenibilidad impulsa el compromiso de los empleados, lo que a su vez mejora el desempeño organizacional. Por lo tanto, es determinante que las empresas valoren el rol e importancia de la sostenibilidad no solo como un imperativo ético, sino también como una estrategia de negocio que puede generar beneficios tangibles.

ADOPCIÓN DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES

La adopción de prácticas sostenibles también se ha visto como una respuesta a las crecientes expectativas de los consumidores y la sociedad en general. Los consumidores muestran cada vez más interés en apoyar a empresas que declaran un compromiso directo con la sostenibilidad y la responsabilidad social (Vélez, 2023). Esto ha llevado a muchas organizaciones a reevaluar sus prácticas ya implementar políticas que no solo cumplen con las regulaciones ambientales, sino que también superan las expectativas de sus partes interesadas. La presión social y la exigencia de transparencia han hecho que la sostenibilidad se convierta en un factor crítico en los procesos de toma de decisiones. En el campo de la economía circular, la sostenibilidad se presenta como una oportunidad para innovar y mejorar la eficiencia operativa.

González (2023) argumenta que las empresas que asumen enfoques de economía circular logran generar reducciones de su impacto ambiental, a la vez que también descubren nuevas fuentes de ingresos y mejorar su competitividad.

Este enfoque implica repensar los modelos de negocio tradicionales y buscar formas de reutilizar y reciclar recursos, lo que puede resultar en beneficios económicos significativos. La transición hacia una economía circular requiere un cambio de mentalidad y una colaboración más estrecha entre empresas, gobiernos y comunidades. La sostenibilidad también se ha convertido en un factor primordial en la estrategia de gestión de riesgos en las organizaciones.

La capacidad de una empresa para adaptarse a cambios inesperados en su entorno, incluyendo crisis ambientales y sociales, se ha vuelto crucial para su supervivencia a largo plazo (Simancas-Guardo, 2024). La gestión de la sostenibilidad no solo implica la mitigación de riesgos, sino también la identificación de oportunidades para innovar y crecer en un entorno cambiante. Las empresas que integran la sostenibilidad en su estrategia de gestión de riesgos están mejor posicionadas para enfrentar desafíos futuros y capitalizar nuevas oportunidades. La implementación de prácticas sostenibles también tiene un impacto positivo en el posicionamiento, imagen y reputación de marca de las organizaciones.

La transparencia en la comunicación de los esfuerzos de sostenibilidad puede fortalecer la confianza de los consumidores y otros grupos de interés (Fernández y Rodríguez, 2022). Las empresas que son percibidas como responsables y éticas tienden a disfrutar de una mayor lealtad de los clientes y una mejor relación con las comunidades en las que operan. Esto, a su vez, puede transformarse en incrementos en las ventas y una mayor rentabilidad. Sin embargo, la transición hacia la sostenibilidad no está exenta de desafíos. Muchas organizaciones enfrentan barreras internas, como la resistencia al cambio y la falta de recursos para implementar prácticas sostenibles (González et al., 2023).

Además, la medición del impacto de las iniciativas de sostenibilidad puede ser compleja y requerir un enfoque sistemático y riguroso. Es fundamental que las empresas desarrollen indicadores claros y métodos de evaluación que les permitan medir su progreso hacia la sostenibilidad y en consecuencia realizar ajustes a su estrategia. La colaboración intersectorial juega un papel determinante en la promoción de la sostenibilidad. Las alianzas entre empresas, gobiernos y organizaciones no gubernamentales pueden facilitar el intercambio de conocimientos y recursos, lo que a su vez puede facilitar la implementación de prácticas sostenibles (Pachas-Barrientos et al., 2024).

La creación de redes de colaboración puede ayudar a las empresas a abordar desafíos comunes y desarrollar soluciones innovadoras que benefician a todos los involucrados. La sostenibilidad empresarial también está intrínsecamente relacionada con los (ODS) definidos por las Naciones Unidas. En este sentido, la consecución de estos objetivos depende en gran medida de rol que asuman las empresas, y las acciones que emprendan en aspectos como pobreza, igualdad de género, aportes a la educación y la acciones por el clima, entre otros (Viteri et al., 2023). Integrar los ODS en la estrategia empresarial no solo es una responsabilidad ética, sino que también puede abrir nuevas oportunidades de negocio y mejorar la resiliencia organizacional.

SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL

La sostenibilidad empresarial, conocida también como el "triple resultado", es un concepto fundamental que implica la consideración integrada del desempeño social, económico y ambiental de una empresa (Plua et al., 2022; Cayllahua et al., 2022). Este enfoque busca generar valor a largo plazo para la organización, sus stakeholders y la sociedad en general, contribuyendo al bienestar de las generaciones presentes y futuras y al desarrollo sostenible del medio ambiente global (Plua et al., 2022; Cayllahua et al., 2022).

Para lograr la sostenibilidad empresarial, es esencial aplicar modelos y sistemas de indicadores que permitan evaluarla, especialmente en el caso de las PYMES, dadas sus características específicas (Plua et al., 2022). La gestión efectiva de la sostenibilidad requiere incorporar aspectos ambientales y sociales en las operaciones corporativas, donde la contabilidad desempeña un papel crucial (Carrasco et al., 2023). No obstante, existe una brecha conceptual entre la sostenibilidad organizacional y el desarrollo sostenible, lo que afecta la práctica empresarial (Ocampo et al., 2021). La sostenibilidad financiera también es vital para la viabilidad a largo plazo de las organizaciones, equilibrando las dimensiones económicas, sociales y ambientales y reconociendo la sostenibilidad como una prioridad estratégica con riesgos y oportunidades significativas (Simancas-Guardo, 2024).

ROL DEL GOBIERNO EN LA SOSTENIBILIDAD

El gobierno juega un papel importante en la promoción de la sostenibilidad empresarial a través de regulaciones, normativas e incentivos financieros para las empresas que adoptan prácticas sostenibles, e imponiendo sanciones a aquellas que no lo hacen (Sánchez, 2024). Este impulso se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, orientando a las empresas hacia la sostenibilidad en aspectos económicos, sociales y ambientales (González et al., 2023).

METODOLOGÍA

La metodología propuesta en este capítulo de libro corresponde a la investigación descriptiva, con un diseño transversal (Creswell & Creswell, 2018; Tamayo y Tamayo, 2003; Kinnear & Taylor, 1998) que adopta un enfoque cualitativo (Creswell & Creswell, 2018; Barreiro Mariño, 2020; Miles et al., 2020). Se acudió a fuentes primarias y secundarias de acuerdo con Tancara (1993) y Patton (2015), en el que las últimas corresponden al análisis documental de literatura (Hsieh & Shannon, 2005) realizado sobre competitividad empresarial y sostenibilidad de las bases de datos Scopus y Web Of Science publicada en los últimos 10 años, y las primarias, información obtenida a través de un panel de 15 expertos consultados (Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez, 2008; Bernal-García et al., 2020) con la aplicación directa una entrevista en profundidad.

El enfoque de muestreo que se tuvo en cuenta para la selección de los expertos indagados en el respectivo panel corresponde al muestreo no probabilístico (Hernández y Mendoza, 2023), según el criterio o juicio de los investigadores, teniendo en cuenta que su nivel de formación postgradual mínimo fuese de maestría, con conocimientos y experiencia en el tema de la competitividad empresarial. Para ello, se acudió a la revisión y búsqueda de los panelistas o expertos a través de la base de datos de investigadores del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia MinCiencias, por medio de la identificación del perfil requerido en el respectivo CvLAC (curriculum vitae u hoja de vida del experto).

De este modo, los datos recopilados y procesados, se analizaron a partir del software Nvivo para contrastarlos con la revisión documental (Pulido y Rodríguez, 2014), por cuanto esta herramienta es muy útil para el tratamiento de datos cualitativos y mixtos, y

más específicamente para analizar las percepciones de los panelistas con respecto a los factores exógenos y endógenos que inciden en la competitividad empresarial, así como, la incidencia de estos factores en la gestión de la sostenibilidad social, ambiental y económica de las organizaciones, como tal, a través de las nubes de palabras clave asociadas a las respuestas suministradas por los expertos.

Por ende, la validez y confiabilidad de los datos recopilados y procesados a través del software Nvivo, radica en primera instancia en el instrumento de recolección de información aplicado (entrevista en profundidad), así como, en la utilización del software respectivo, lo cual facilita la triangulación de las fuentes de datos junto con las nubes de palabras y la revisión documental previamente establecida (Plaza et al., 2017).

RESULTADOS

RELACIÓN ENTRE COMPETITIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD

La relación entre sostenibilidad y competitividad ha cobrado mayor interés y relevancia en el contexto empresarial y económico actual. El enfoque de la sostenibilidad por el uso razonable de recursos naturales y su resguardo para garantizar su acceso a las próximas generaciones se vincula en términos productivos y de competitividad con la capacidad y eficiencia que desarrolla y consolida una empresa y que le permite destacarse en un mercado competitivo y lograr un desempeño sobresaliente.

Examinar cómo estos dos conceptos se entrelazan puede arrojar luz sobre cómo las empresas pueden prosperar de manera sostenible en un entorno empresarial cada vez más desafiante. Varios estudios han destacado la estrecha relación entre sostenibilidad y competitividad. Por ejemplo, se ha encontrado que prácticas sostenibles, como la implementación de tecnologías verdes, la eficiencia energética y una gestión responsable de los recursos, pueden contribuir significativamente a la competitividad de las empresas.

La implementación de prácticas sostenibles no solo puede mejorar la imagen de la empresa y su reputación, sino que también puede generar eficiencias operativas y reducir costos a largo, lo que a su vez puede traducirse en una ventaja

competitiva (Surmayo et al., 2024). Además, se ha demostrado que la sostenibilidad puede ser una fuente de ventaja competitiva sostenible para las empresas. La adopción de prácticas sostenibles puede conducir a una diferenciación de productos, una mayor eficiencia en la cadena de suministro, una mayor lealtad de los clientes y una mejor gestión de riesgos, lo que puede fortalecer la posición competitiva de una empresa en el mercado (Schniederjans & Khalajhedayati, 2020).

La sostenibilidad también puede ser un factor clave para atraer y retener talento, así como para mejorar las relaciones con los stakeholders y la comunidad en general, lo que puede contribuir a la reputación y la legitimidad de la empresa (Schniederjans & Khalajhedayati, 2020). Por otro lado, la competitividad puede impulsar a las empresas a adoptar prácticas más sostenibles. La presión competitiva en el mercado puede motivar a las empresas a buscar formas de mejorar su eficiencia, reducir costos, innovar en sus procesos y productos, y diferenciarse de sus competidores a través de prácticas sostenibles (El-Masry et al., 2021). En este sentido, la búsqueda de la competitividad puede ser un motor para la adopción de prácticas sostenibles que no solo benefician a la empresa, sino también al medio ambiente y a la sociedad en su conjunto.

IMPORTANCIA DE LA SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL

La sostenibilidad empresarial es de suma importancia en el contexto actual, ya que implica gestionar integralmente los aspectos económicos, sociales y ambientales en las operaciones de una empresa (Plua et al., 2022; Manongsong, 2023). Diversos estudios han destacado sus beneficios y relevancia en diferentes áreas:

Tabla 1

Beneficios y relevancia de la Sostenibilidad Empresarial

Área	Descripción	Fuente
Ventaja Competitiva Sostenible	La adopción de prácticas sostenibles genera valor a largo plazo, mejora la reputación corporativa e impulsa la innovación, atrayendo clientes y empleados comprometidos con estos valores.	Kizilgüneş & Koçak (2021); Jacobo-Hernández et al. (2021)

Área	Descripción	Fuente
Responsabilidad y Rendición de Cuentas	La presión de los stakeholders impulsa a las empresas a adoptar prácticas responsables, mejorando la transparencia en sus impactos ambientales y sociales, y fortaleciendo las relaciones comunitarias.	Kreiss et al. (2017); Palomino y López (2019)
Gestión de Riesgos y Gobernanza	Una gobernanza efectiva fomenta la adopción de un enfoque integral de gestión de riesgos, tanto financieros como no financieros, aumentando la resiliencia organizacional.	Abdul et al. (2015); Simancas-Guardo (2024)
Rentabilidad y Crecimiento	Las prácticas sostenibles mejoran la eficiencia, reducen costos y fortalecen las relaciones con los stakeholders, lo que contribuye a la rentabilidad y crecimiento empresarial a largo plazo.	Manongsong (2023); Kizilgüneş & Koçak (2021)
Contribución al Desarrollo Sostenible	Las empresas sostenibles influyen positivamente en el desarrollo económico y social, tanto a nivel local como global, promoviendo el bienestar general.	Küçükbay & Sürücü (2019); González Ordóñez et al., (2023)

Nota. Elaboración propia a partir de Kizilgüneş & Koçak (2021); Jacobo-Hernández et al. (2021); Kreiss et al. (2017); Palomino y López (2019); Abdul et al. (2015); Simancas-Guardo (2024); Manongsong (2023); Küçükbay & Sürücü (2019); González et al. (2023).

SOSTENIBILIDAD EMPRESARIAL

La sostenibilidad empresarial es esencial en la gestión moderna, integrando dimensiones económicas, sociales y ambientales que son interdependientes. Este enfoque no solo busca la rentabilidad, sino también el bienestar social y la protección del medio ambiente.

En cuanto a la sostenibilidad económica, se refiere a la capacidad de una empresa para generar beneficios a largo plazo sin comprometer su futuro. Al incorporar la sostenibilidad en el modelo de negocio, las empresas pueden superar las limitaciones de la responsabilidad social corporativa y alinearse con su núcleo operativo, actuando como motor de crecimiento (Meneses et al., 2021; Simancas-Guardo, 2024).

La dimensión social se enfoca en la responsabilidad hacia empleados, comunidades y otros grupos de interés. La gestión de la diversidad y la inclusión promueve un ambiente laboral saludable y productivo (Siano et al., 2022).

Las empresas familiares tienden a integrar principios de sostenibilidad en sus decisiones, desarrollando ventajas competitivas y asegurando su desempeño económico a largo plazo (Rivera-Álvarez et al., 2023). Además, promover la equidad y la justicia social mejora la reputación empresarial y contribuye a la cohesión social (Roca-Puig, 2020).

La dimensión ambiental abarca prácticas para minimizar el impacto en el medio ambiente. La transformación digital actúa como catalizador de la sostenibilidad ambiental, facilitando la adopción de tecnologías que promueven la ecoinnovación y una gestión eficiente de recursos (Naranjo-Armijo y Almeida-Blacio, 2024). Implementar estándares internacionales y realizar auditorías ambientales ayuda a mejorar el desempeño ambiental y a comunicar los esfuerzos de sostenibilidad a los stakeholders (Gonzabay et al., 2020; Pineda et al., 2023).

Finalmente, la gobernanza corporativa es crucial para la sostenibilidad empresarial. Un liderazgo comprometido y una estructura organizativa que fomente la transparencia y la rendición de cuentas son esenciales para integrar la sostenibilidad en la estrategia empresarial (Hoyos et al., 2023; Polanco et al., 2016). Una comunicación efectiva de los valores y logros en sostenibilidad construye confianza con los grupos de interés y mejora la legitimidad en el mercado (López Vázquez, 2014; Rodríguez et al., 2021).

Después de presentar las dimensiones fundamentales de la sostenibilidad empresarial (económica, social, ambiental y de gobernanza corporativa) es importante profundizar en los factores o variables clave que integran cada una de ellas. Analizar estos elementos nos permitirá comprender cómo las empresas pueden implementar prácticas y estrategias específicas en cada área, facilitando una gestión sostenible que equilibre la rentabilidad económica con el bienestar social, la protección ambiental y una gobernanza eficaz.

DIMENSIÓN ECONÓMICA

La dimensión económica de la sostenibilidad empresarial es esencial para garantizar la viabilidad y el crecimiento a largo plazo de las organizaciones. Los factores clave incluyen la adaptabilidad a los cambios en el entorno económico y social, lo que permite a las empresas ser más competitivas y sostenibles (González et al., 2022).

El uso del Valor Añadido Económico (EVA) como medida del rendimiento económico proporciona una visión clara de cómo se genera valor en la empresa (Sousa et al., 2024). Además, la integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en las estrategias empresariales contribuye al bienestar social y ambiental, mejorando al mismo tiempo la competitividad (Navarro & Revilla, 2020). La implementación de estrategias de sostenibilidad permite a las empresas ser rentables sin sacrificar el cuidado del medio ambiente y el bienestar de sus colaboradores (Álvarez & Ramírez, 2023). Finalmente, la transparencia y la rendición de cuentas fortalecen la confianza de los stakeholders y pueden mejorar el desempeño económico (Hernández, 2018).

DIMENSIÓN SOCIAL

La dimensión social se centra en la contribución de las empresas al bienestar de sus empleados, comunidades y otros grupos de interés. Factores clave incluyen la responsabilidad social empresarial (RSE), donde las empresas asumen compromisos éticos más allá de sus obligaciones legales (Dillard et al., 2008). La promoción de la inclusión y diversidad en el ambiente laboral fomenta la creatividad y la innovación. El bienestar de los empleados, a través de programas de salud y desarrollo profesional, incrementa el compromiso y la productividad. Establecer relaciones sólidas con las comunidades locales, mediante transparencia y participación en iniciativas comunitarias, fortalece la confianza y legitimidad de la empresa (Pajares & Biel, 2021). Además, invertir en educación y capacitación contribuye al desarrollo social y mejora las competencias internas (Valencia-Rodríguez et al., 2019).

DIMENSIÓN AMBIENTAL

La dimensión ambiental es crucial para que las empresas operen minimizando su impacto negativo en el medio ambiente. Los factores clave incluyen la gestión de residuos, implementando prácticas para reducir, reutilizar y reciclar (Valencia-Rodríguez et al., 2019). El uso eficiente de recursos, optimizando el consumo de energía y agua, es fundamental para la conservación ambiental (Velasquez, 2022). La implementación de prácticas de eco-diseño considera el impacto ambiental durante todo el ciclo de vida del producto (Muñoz-López et al., 2021). La adopción de tecnologías sostenibles facilita la incorporación de prácticas que mejoran el desempeño ambiental (Naranjo-Armijo y Almeida-Blacio, 2024).

Finalmente, la transparencia y rendición de cuentas en la comunicación de resultados ambientales fortalecen la confianza con los grupos de interés (Giraud-Herrera y Morantes-Quintana, 2017).

DIMENSIÓN DE GOBERNANZA CORPORATIVA

La dimensión de gobernanza corporativa es esencial para integrar la sostenibilidad en la estructura organizativa y en los procesos de toma de decisiones. Los factores clave incluyen la transparencia en las prácticas y resultados de sostenibilidad, lo que construye confianza con los grupos de interés (Hernández, 2018). La rendición de cuentas, mediante mecanismos que permitan evaluar el desempeño en sostenibilidad, es fundamental para fomentar una cultura de responsabilidad (Jestrović & Jovanović, 2022). La participación de los grupos de interés en la toma de decisiones mejora la calidad de las mismas y fortalece el compromiso (Simancas-Guardo, 2024). Alinear la estrategia corporativa con los principios de sostenibilidad integra estos valores en el núcleo del negocio (Meneses et al., 2021). Además, la formación y capacitación en sostenibilidad para líderes y empleados promueve una cultura organizacional que valora estos principios (Fernández y Rodríguez, 2022).

Tabla 2

Dimensiones y factores de las Sostenibilidad Empresarial

Dimensión	Factores o Variables Asociadas	Autores
Social	- Responsabilidad Social Empresarial (RSE)	Dillard et al. (2008); Pajares & Biel (2021); Valencia-Rodríguez et al. (2019); Velasquez (2022); Muñoz-López et al. (2021); Naranjo-Armijo y Almeida-Blacio (2024); Giraud-Herrera y Morantes-Quintana (2017)
	- Inclusión y diversidad	
Ambiental	- Bienestar de los empleados	Valencia-Rodríguez et al. (2019); Velasquez (2022); Muñoz-López et al. (2021); Naranjo-Armijo y Almeida-Blacio (2024); Giraud-Herrera y Morantes-Quintana (2017)
	- Relación con las comunidades locales	
	- Educación y capacitación	
	- Gestión de residuos	
Gobernanza Corporativa	- Uso eficiente de recursos	Hernández (2018); Jestrović & Jovanović (2022); Simancas-Guardo (2024); Meneses et al. (2021); Fernández y Rodríguez (2022)
	- Implementación de prácticas de ecodiseño	
	- Adopción de tecnologías sostenibles	
	- Transparencia y rendición de cuentas	
	- Transparencia	
	- Rendición de cuentas	
	- Participación de los grupos de interés	
	- Alineación de la estrategia corporativa con principios de sostenibilidad	
	- Formación y capacitación en sostenibilidad	

Nota. Elaboración propia

La integración de las dimensiones y factores de la sostenibilidad empresarial no solo es crucial para el desarrollo sostenible de las organizaciones, sino que también influye directamente en su competitividad. Además de los aspectos internos, la competitividad empresarial está afectada por elementos como la responsabilidad social empresarial y la relación con la comunidad (Palomino y López, 2019). La responsabilidad social se ha convertido en un aspecto relevante, ya que implica un compromiso con la comunidad, el cuidado del medio ambiente y la generación de valor en las actividades realizadas. Por lo tanto, la adopción de modelos de negocio efectivos y estrategias organizativas orientadas al éxito a largo plazo no solo promueve la sostenibilidad, sino que también potencia la competitividad de la empresa (García-Vidal et al., 2023).

FACTORES QUE INCIDEN EN LA COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

La competitividad empresarial es influenciada por múltiples factores clave que determinan la capacidad de las empresas para sobresalir en entornos competitivos y alcanzar un desempeño excepcional. Uno de los factores determinantes es la tecnología, que impacta significativamente en la competitividad al mejorar la eficiencia, la calidad y la innovación de productos y servicios (Minh & Hiep, 2023). La inversión en investigación y desarrollo, la competencia en el mercado local y la gestión del talento humano también influyen en la ventaja competitiva de las empresas (Ambong & Mendaña, 2019).

La capacidad de innovación es crucial para la competitividad empresarial, ya que permite desarrollar nuevas ideas, productos y procesos, otorgando una ventaja significativa (Prasanna et al., 2019). Esta innovación es impulsada por el capital social, la colaboración con corporaciones multinacionales, las tecnologías de la información y la adopción de tecnologías que mejoran la productividad (Prasanna et al., 2019). Además, la orientación al mercado, entendida como la comprensión de las necesidades de los consumidores y del entorno competitivo, es esencial para lograr una ventaja competitiva sostenible (Agus et al., 2023).

La globalización económica intensifica la competencia y exige a las empresas adaptarse a un entorno dinámico y exigente (Prasanna et al., 2021). Para competir eficazmente en mercados nacionales e internacionales, las empresas deben desarrollar estrategias que consideren la diferenciación de productos, la segmentación

del mercado y la diversificación de operaciones (Prasanna et al., 2021). La capacidad de aprovechar las oportunidades que brinda la globalización es fundamental para la competitividad a largo plazo.

Las competencias empresariales, como el capital humano, la estrategia de precios, la diferenciación de atributos del producto, la estructura organizativa y la tecnología, son determinantes en la ventaja competitiva (Iskandar et al., 2022). Asimismo, la calidad de la gestión empresarial, la eficiencia en la utilización de recursos y la adaptabilidad a los cambios del entorno influyen en la competitividad (Korolova et al., 2022). La presencia en línea y la digitalización se han convertido en factores críticos, mejorando las ventas, la productividad y la interacción con los clientes (Lányi et al., 2021).

FACTORES ENDÓGENOS

Los factores endógenos son fundamentales para comprender cómo las empresas pueden destacarse y lograr un desempeño sobresaliente en un entorno competitivo. Estos elementos internos juegan un papel crucial en la diferenciación y en la generación de una ventaja competitiva sostenible.

Tabla 3
Factores Endógenos de la Competitividad Empresarial

Factor	Descripción	Fuente
Innovación	Capacidad para desarrollar nuevas ideas, productos y procesos, impactando directamente la competitividad empresarial.	Samán et al. (2022)
Cultura empresarial	Valores, normas y prácticas organizacionales que influyen en la competitividad. Una cultura orientada a la excelencia es un diferenciador clave.	Samán et al. (2022)
Eficiencia institucional	Efectividad en procesos internos y gestión de recursos que mejora la competitividad a través de una estructura organizativa ágil.	Samán et al. (2022)
Tecnologías de la información y comunicación (TIC)	Adopción y uso de TIC para aumentar la eficiencia, productividad y capacidad de respuesta en el entorno competitivo.	Pardo Carrillo et al. (2022)

Factor	Descripción	Fuente
Gestión del talento humano	Habilidad para reclutar, retener y desarrollar talento de calidad, crítico para la innovación y adaptabilidad de la empresa.	
Estrategia empresarial	Formulación de estrategias efectivas para liderazgo en costos, diferenciación y enfoque, generando una ventaja competitiva sostenible.	

Nota. Elaboración propia a partir de Samán et al. (2022), Pardo et al. (2022)

El instrumento utilizado para recopilar la información en este estudio fue una entrevista semiestructurada dirigida a profesionales de diversas empresas, con el objetivo de identificar los factores clave de competitividad y sostenibilidad empresarial. Este enfoque metodológico fue seleccionado debido a su capacidad para capturar de manera profunda las percepciones y experiencias de los participantes sobre los elementos internos y externos que influyen en la competitividad de las organizaciones (Palomino y López, 2019; García-Vidal et al., 2023). Las entrevistas incluían preguntas abiertas diseñadas para explorar cómo las empresas equilibran la rentabilidad económica con la responsabilidad social y ambiental, permitiendo así una comprensión integral de las estrategias adoptadas para implementar prácticas sostenibles (Simancas-Guardo, 2024).

El diseño del instrumento permitió abordar una variedad de temas fundamentales para la sostenibilidad y la competitividad. Se exploraron aspectos como la innovación, la gestión del talento humano, y la eficiencia organizacional, reflejando la importancia de estos factores en el rendimiento empresarial (Álvarez y Ramírez, 2023; Velasquez, 2022). Además, se consideraron las influencias de factores socioeconómicos y políticos en el desempeño de las empresas, alineándose con las perspectivas de Navarro & Revilla (2020) sobre la competitividad empresarial. Las preguntas también se enfocaron en las estrategias para mejorar el impacto social de las empresas en las comunidades locales y la adopción de tecnologías sostenibles, subrayando la relevancia de la responsabilidad social empresarial y la innovación tecnológica en la construcción de una ventaja competitiva sostenible (Dillard et al., 2008; Naranjo-Armijo y Almeida-Blacio, 2024).

La flexibilidad de las entrevistas semiestructuradas permitió a los entrevistadores profundizar en los temas de interés según las respuestas de los participantes, enriqueciendo así la calidad y profundidad de los datos obtenidos (Simancas-Guardo, 2024).

Este enfoque adaptativo facilitó la identificación de prácticas efectivas para integrar criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones empresariales, promoviendo un desarrollo organizacional que prioriza el bienestar social y el cuidado del medio ambiente (García-Vidal et al., 2023). Además, se pudo explorar cómo las empresas alinean sus estrategias con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), lo que contribuye tanto a la competitividad como al cumplimiento de estándares internacionales de sostenibilidad (Hernández, 2018; Fernández y Rodríguez, 2022).

Finalmente, las entrevistas permitieron recoger información sobre la importancia de la transparencia y la rendición de cuentas en la gestión de la sostenibilidad, aspectos cruciales para fortalecer la confianza de los stakeholders y mejorar la reputación empresarial (Pajares & Biel, 2021; Giraud-Herrera y Morantes-Quintana, 2017). Al integrar estos elementos en el análisis, el estudio proporciona una visión detallada de cómo las empresas pueden gestionar eficazmente la competitividad y la sostenibilidad, superando los retos asociados y aprovechando las oportunidades en un entorno empresarial dinámico y disruptivo (Meneses et al., 2021; Álvarez y Ramírez, 2023).

DISCUSIONES

En esta sección se analizan los resultados obtenidos en la aplicación de la entrevista en profundidad a los 15 panelistas o expertos, mediante las nubes de palabras clave de las respuestas procesadas en el software Nvivo.

Pregunta 1

¿Cuáles considera que son los principales factores externos que inciden en la competitividad de una organización?

A continuación, se presenta la Figura 1, asociada con la nube de palabras o análisis cualitativo realizado a través del software Nvivo, con base en las respuestas suministradas por los panelistas, con respecto a la pregunta 1

Figura 1

Nube de palabras pregunta 1



Nota. Esta imagen corresponde al procesamiento de datos cualitativos del software Nvivo, a partir de los resultados obtenidos en la aplicación del instrumento. Elaboración propia basada en software Nvivo

De acuerdo con la Figura 1, se puede observar que los expertos encuestados coinciden que en primera instancia, los factores externos que determinan la competitividad empresarial, se asocian con términos tales como entorno laboral, social, político y desarrollo económico, los cuales constituyen variables del macroentorno, que pueden garantizar la competitividad sistémica de las organizaciones, en general. No obstante, otros términos afines a los factores externos pueden relacionarse con dimensiones tales como entorno regional, en entorno de tarea (competencia) e inclusión, en aras de vincular la sostenibilidad social, económica y ambiental a la competitividad empresarial.

De este modo, entre los factores externos más citados por los panelistas consultados que influyen en la competitividad de una organización se destacan las políticas gubernamentales y los cambios socioeconómicos. Otros factores clave incluyen las políticas públicas, la competencia en el mercado, las condiciones económicas como la inflación y las tasas de interés, y la evolución de la tecnología.

Además, se mencionan aspectos como la infraestructura, el acceso a recursos, y las regulaciones gubernamentales que impactan los costos y estrategias de las organizaciones.

Por lo tanto, estas variables exógenas deben ser identificadas y mitigadas por parte de las organizaciones de los diferentes sectores económicos y productivos, a través de un proceso estratégico, sistemático y permanente de Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva (IC), con miras a anticipar y preparar a las empresas a los cambios y las disrupciones futuras presentes en el entorno organizacional, y que influyen directamente en el nivel de competitividad empresarial logrado por la organización.

Pregunta 2

¿Cuáles considera que son los principales factores internos que inciden en la competitividad de una organización?

En la siguiente figura, se presenta la nube de palabras de las respuestas otorgadas por los expertos, frente a la pregunta 2

Figura 2

Nube de palabras pregunta 2



Nota. Elaboración propia basado en software Nvivo

Con respecto a la figura 2, se deduce que los factores internos influyentes en la competitividad empresarial guardan relación directa con palabras claves tales como la rentabilidad, responsabilidad social, prácticas sostenibles, generación de valor y eficiencia en costos, las cuales tienden a fortalecer las ventajas competitivas de las organizaciones, como tal. Asimismo, hay otras variables o dimensiones internas reseñadas por los encuestados, que también inciden de forma directa e indirecta en la competitividad empresarial, tales como la estrategia empresarial, innovación organizacional, transparencia y reputación corporativa, y la confianza, que permiten generar valor diferenciador no solo para el cliente externo, sino también para los stakeholders.

Por ende, los encuestados señalan que la innovación, el trabajo en equipo y la calidad de los recursos humanos son elementos esenciales para la competitividad interna de las empresas. También destacan la importancia de una gestión eficiente de los recursos financieros, la flexibilidad en las estructuras organizacionales y el liderazgo efectivo. La capacidad de ofrecer productos de alta calidad, junto con una cultura empresarial enfocada en la colaboración y la innovación, son consideradas claves para mantener una ventaja competitiva.

En esencia, estas variables endógenas señaladas por los panelistas consultados, reflejan la importancia capital que posee el desarrollo de las competencias medulares o *core competences*, las cuales deben aprovecharse oportunamente por medio de las estrategias corporativas, tácticas y operativas que se definan en las organizaciones, a fin de alcanzar altos niveles de competitividad empresarial, reflejada en la generación de valor tanto para la empresa como para los diferentes grupos de interés o stakeholders.

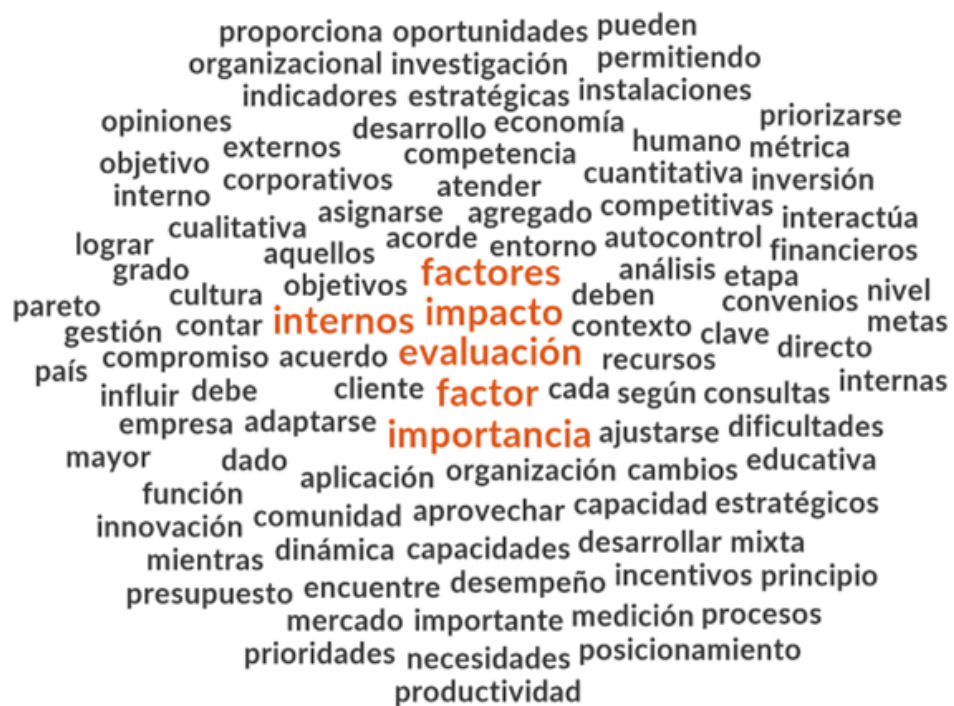
Pregunta 3

¿Cómo se debe asignar el grado de importancia a los factores mencionados?

De acuerdo con las respuestas dadas por los panelistas, se presenta a continuación la figura 3:

Figura 3

Nube de palabras pregunta 3



Nota. Elaboración propia basado en software Nvivo

Según la figura 3, los encuestados establecen que el grado de importancia de los factores internos y externos que determinan la competitividad empresarial, dependen fundamentalmente del análisis de variables tales como el impacto, la naturaleza del factor, así como, la evaluación de la importancia de este, los cuales posibilitan la medición de las dimensiones de la competitividad empresarial de las organizaciones.

La asignación de importancia a los factores de competitividad debe hacerse en función de la capacidad de las empresas para innovar, generar valor agregado y diferenciarse de la competencia. Se sugiere que los factores críticos como la transformación digital, el desarrollo del talento humano y la gestión eficiente de los recursos sean priorizados. Además, los encuestados consideran relevante asignar importancia según el impacto directo de cada factor en el éxito organizacional y su capacidad para adaptarse a los cambios del entorno.

Por ende, las variables endógenas y exógenas que inciden en la competitividad empresarial deben ser ponderadas en cada organización, a través de un ejercicio de reflexión estratégica, en el cual intervengan todos los actores o stakeholders internos y externos a la organización, con el fin de diagnosticar, medir y evaluar el nivel de competitividad empresarial alcanzado por las empresas. Dicho ejercicio debe ser democrático, permanente, crítico, estratégico, holístico y reflexivo.

Pregunta 4

¿Cómo considera que las empresas pueden mejorar su impacto social en las comunidades donde operan?

En la figura 4, se presenta la nube de palabras relacionada con las respuestas generadas por los encuestados, con respecto a la pregunta 4:

Figura 4

Nube de palabras pregunta 4



Nota. Elaboración propia basado en software Nvivo

De conformidad con la figura 4, se percibe que los encuestados asocian el impacto social en las comunidades con variables relacionadas con las dimensiones económicas, políticas, sociales, así como, la competencia tanto directa como indirecta. Sin embargo, el impacto social puede expresarse también en términos de los cambios en el comportamiento de las tendencias, de los factores ambientales, tecnológicos y gubernamentales, que determinan la competitividad sistémica de las organizaciones.

Con el fin de mejorar el impacto social, las empresas deben fomentar prácticas que promuevan la inclusión laboral y la responsabilidad con las comunidades en las que operan. Entre las sugerencias, se mencionan la creación de políticas inclusivas, el apoyo a iniciativas locales y la inversión en la educación y el desarrollo de habilidades en la población. El compromiso genuino de la empresa con el bienestar social y ambiental fortalece la confianza de las partes interesadas y puede generar un entorno laboral más inclusivo.

En este orden de ideas, la competitividad empresarial se vincula directamente con la gestión de la sostenibilidad social, ambiental y económica de las organizaciones, a través de la triada definida por Hax y Majluf (2008), denominada cultura- estructura- estrategia, ya que este bucle lleva a la formulación e implementación de estrategias de sostenibilidad, que a su vez, pueden repercutir en un alto nivel de competitividad empresarial en las organizaciones de los diferentes sectores económicos.

Pregunta 5

¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrentan las empresas en la implementación de prácticas sostenibles?

A continuación, se muestra la figura 5, en la que se visualiza la nube de palabras referente a las opiniones de los encuestados con respecto a la pregunta 5:

Figura 5

Nube de palabras pregunta 5



Nota. Elaboración propia basado en software Nvivo

Teniendo en cuenta la figura 5, se establece que, desde la perspectiva de los encuestados, los mayores desafíos que enfrentan las empresas en aras de implementar las prácticas sostenibles se fundamentan mayoritariamente en la cultura organizacional, la gestión por procesos, la valoración del talento humano y la disponibilidad de recursos. No obstante, se destacan otras variables relacionadas con la innovación en el producto o servicio, las estrategias de marketing, servicio al cliente y gestión financiera, las cuales contribuyen a la sostenibilidad económica, social y ambiental de las empresas.

Por ende, los mayores desafíos que enfrentan las empresas en la implementación de prácticas sostenibles incluyen la falta de recursos y conocimientos, así como la percepción de que la sostenibilidad es costosa. Entre las estrategias para superar estos obstáculos se destacan la inversión en tecnologías limpias, la educación ambiental dentro de las empresas y la colaboración con socios estratégicos que compartan los mismos valores de sostenibilidad.

Es así como, la promoción y desarrollo de una cultura empresarial orientada a la sostenibilidad es crucial para superar estos desafíos y limitantes, debido a que, según la percepción de los expertos, una cultura fuerte orientada a la sostenibilidad se constituye en el factor que permite la alineación estratégica entre la gestión sostenible y la competitividad organizacional.

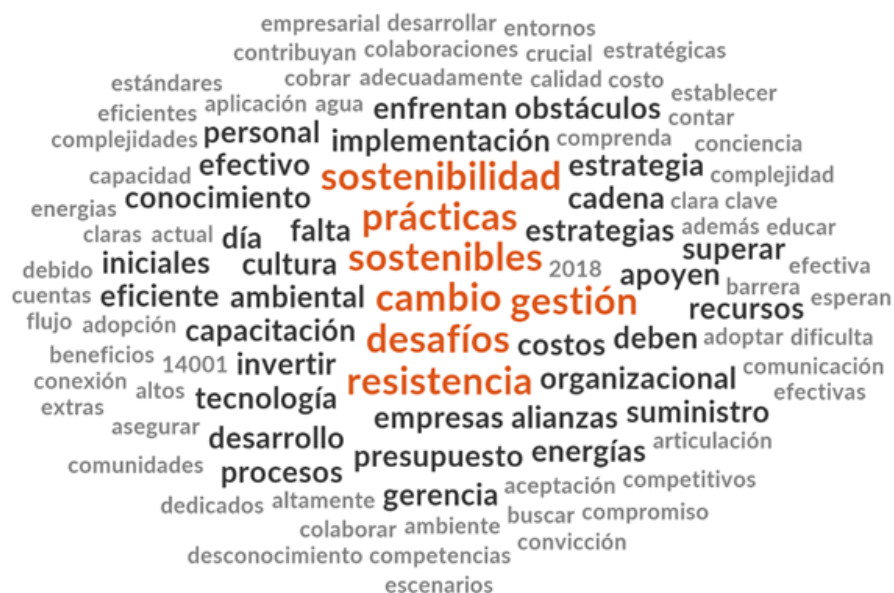
Pregunta 6

¿Cómo pueden las empresas equilibrar la necesidad de rentabilidad económica con la responsabilidad social y ambiental?

A continuación, se presenta la nube de palabras correspondiente a las respuestas otorgadas por los encuestados, con respecto a la pregunta 6:

Figura 6

Nube de palabras pregunta 6



Nota. Elaboración propia basado en software Nvivo

De conformidad con la figura 6, se identifica que, la gestión a la resistencia al cambio y las prácticas sostenibles, son dimensiones fundamentales para lograr el equilibrio en los resultados económicos, sociales y ambientales de las

organizaciones, según la percepción de los encuestados. Asimismo, otros elementos que permiten lograr dicho balance se fundamentan también en aspectos tales como la inversión en tecnología, cadena de suministro, alianzas estratégicas y gestión del conocimiento, los cuales pueden generar ventajas competitivas sostenibles en el corto, mediano y largo plazo.

Por lo tanto, las empresas pueden equilibrar la rentabilidad económica con la responsabilidad social y ambiental integrando objetivos sostenibles en sus estrategias de negocio. De este modo, la implementación de prácticas y actividades que reduzcan los costos operativos y aumenten la eficiencia operacional, mientras se minimiza el impacto ambiental, es fundamental. Además, la transparencia en la comunicación sobre las iniciativas sostenibles refuerza la confianza con los stakeholders, lo que puede mejorar la reputación de la empresa y abrir nuevas oportunidades en el mercado.

Sin embargo, estos hallazgos proponen un nuevo desafío para futuras investigaciones en cuanto a la alineación estratégica entre la competitividad empresarial y la sostenibilidad organizacional, dado que, a pesar de la disponibilidad y colaboración de los panelistas expertos, en cuanto a la aplicación de la entrevista profunda, es necesario, ahondar más en los estudios de caso de empresas que han adoptado prácticas que vinculen estas dos dimensiones. No obstante, este estudio puede tomarse como punto de referencia para identificar las prácticas sostenibles de las organizaciones que poseen altos niveles de competitividad empresarial, a través de las estrategias corporativas implementadas por dichas compañías.

CONCLUSIONES

La competitividad empresarial es esencial para el éxito y la supervivencia de las organizaciones en un entorno global cada vez más dinámico y exigente. Un análisis profundo de los factores y procesos internos clave para mejorar la competitividad permite a las empresas establecer lineamientos que faciliten una gestión alineada con los principios de sostenibilidad, optimizando su rendimiento económico y generando valor a largo plazo (Palomino y López, 2019). Para lograrlo, es fundamental que las empresas implementen acciones concretas que integren criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones, priorizando el bienestar social y el cuidado del medio ambiente (García-Vidal et al., 2023).

En este sentido, se recomienda implementar acciones de sostenibilidad en todos los niveles de decisión, asegurando que cada acción contribuya al bienestar social y al cuidado del medio ambiente. Esto implica adoptar modelos de negocio efectivos y estrategias organizativas orientadas al éxito a largo plazo, lo que no solo optimiza el rendimiento económico, sino que también fortalece la reputación de la empresa y mejora sus relaciones con la comunidad y otros stakeholders (García-Vidal et al., 2023).

Además, es esencial adoptar criterios internacionales de sostenibilidad, identificando y describiendo aquellos promovidos por entidades internacionales que son fundamentales para la preparación de informes de sostenibilidad y el diseño de planes de intervención (Hernández, 2018; Fernández y Rodríguez, 2022). Estos criterios guían a las organizaciones en la adaptación de su gestión a estándares globales, facilitando la alineación de sus prácticas con las expectativas internacionales y las demandas del mercado. Al hacerlo, las empresas pueden fortalecer su reputación y mejorar sus relaciones con los stakeholders, lo que potencia su competitividad estratégica.

La relación entre competitividad y sostenibilidad es intrínseca, ya que la implementación de prácticas sostenibles puede mejorar la eficiencia operativa, fomentar la innovación y fortalecer la reputación de la empresa, todos ellos factores que impulsan su competitividad (Meneses et al., 2021). Sin embargo, las empresas enfrentan retos significativos en la gestión de esta relación. Uno de los principales desafíos es equilibrar los objetivos financieros a corto plazo con las inversiones sostenibles a largo plazo, garantizando una rentabilidad sostenible y competitiva (Simancas-Guardo, 2024). Para superar este reto, se recomienda desarrollar estrategias que armonicen estas metas, permitiendo a las empresas responder efectivamente a las condiciones del mercado y a los desafíos de competitividad.

Asimismo, es crucial que el proceso de formulación estratégica considere criterios que abarquen tanto recursos tangibles como intangibles. Esto permitirá a las empresas responder de manera efectiva a las condiciones del mercado y a los desafíos de competitividad (Velasquez, 2022). Incluir en la formulación estratégica los recursos físicos, así como los conocimientos, habilidades y reputación, facilita la integración de los criterios de sostenibilidad en la estrategia. Esto no solo promueve la creación de valor sostenido, sino que también asegura que las organizaciones

estén preparadas para afrontar cambios y aprovechar oportunidades en un entorno empresarial cada vez más dinámico y disruptivo.

La fomentación de la capacitación en sostenibilidad es otra recomendación clave. Invertir en la formación de líderes y empleados en temas de sostenibilidad promueve una cultura organizacional que valora y practica estos principios, potenciando la innovación y el compromiso interno (Fernández y Rodríguez, 2022). Esta capacitación es esencial para integrar efectivamente la sostenibilidad en todos los niveles de la organización y para asegurar que las prácticas sostenibles se conviertan en parte integral de la cultura empresarial.

Además, es recomendable establecer mecanismos de evaluación y seguimiento que permitan monitorear el impacto de las estrategias de sostenibilidad en la competitividad (Álvarez y Ramírez, 2023; Giraud-Herrera y Morantes-Quintana, 2017). Implementar sistemas de monitoreo y evaluación facilita la toma de decisiones informadas y la mejora continua, asegurando que las acciones emprendidas contribuyan efectivamente a mejorar la competitividad y promover la sostenibilidad.

La transparencia y la rendición de cuentas son también esenciales en este proceso. Las empresas que son transparentes sobre sus prácticas y resultados de sostenibilidad construyen confianza con los grupos de interés y fortalecen su legitimidad en el mercado (Hernández, 2018; Jestrović & Jovanović, 2022). La divulgación de información clara y accesible sobre las iniciativas de sostenibilidad es crucial para demostrar el compromiso de la empresa con la responsabilidad social y ambiental.

Al integrar estas recomendaciones en sus conclusiones estratégicas, las empresas no solo mejorarán su competitividad y rendimiento económico, sino que también contribuirán significativamente al desarrollo sostenible. Las acciones concretas que se recomiendan son:

- Implementar acciones concretas de sostenibilidad en todos los niveles de decisión, asegurando que cada acción contribuya al bienestar social y al cuidado del medio ambiente (García-Vidal et al., 2023).

- Adoptar criterios internacionales de sostenibilidad, identificando y aplicando aquellos promovidos por entidades internacionales para la elaboración de informes de sostenibilidad y planes de intervención, facilitando la alineación con las expectativas globales y fortaleciendo la reputación corporativa (Hernández, 2018; Fernández & Rodríguez, 2022).
- Equilibrar objetivos financieros y sostenibles, desarrollando estrategias que armonicen las metas financieras a corto plazo con las inversiones en sostenibilidad a largo plazo, garantizando una rentabilidad sostenible y competitiva (Simancas-Guardo, 2024).
- Considerar recursos tangibles e intangibles en la estrategia, incluyendo tanto los recursos físicos como los conocimientos, habilidades y reputación, para responder efectivamente a los desafíos del mercado y facilitar la integración de la sostenibilidad (Velasquez, 2022).
- Fomentar la capacitación en sostenibilidad, invirtiendo en la formación de líderes y empleados para promover una cultura organizacional que valore y practique estos principios, potenciando la innovación y el compromiso interno (Fernández y Rodríguez, 2022).
- Establecer mecanismos de evaluación y seguimiento, implementando sistemas que permitan evaluar el impacto de las estrategias de sostenibilidad en la competitividad, facilitando la toma de decisiones informadas y la mejora continua (Álvarez y Ramírez, 2023; Giraud-Herrera y Morantes-Quintana, 2017).

Al adoptar estas recomendaciones e integrarlas en sus conclusiones y procesos estratégicos, las empresas estarán mejor posicionadas para prosperar en el largo plazo, respondiendo efectivamente a los cambios del mercado y aprovechando oportunidades en un entorno empresarial dinámico. Esto no solo beneficiará su competitividad y rendimiento económico, sino que también contribuirá al bienestar social y ambiental, fortaleciendo sus relaciones con los stakeholders y asegurando su relevancia en un mercado global en constante evolución.

La integración de la sostenibilidad en la estrategia corporativa es, por tanto, un imperativo estratégico que puede generar ventajas competitivas sostenibles.

Las empresas que logran alinear sus objetivos económicos con prácticas responsables en lo social y ambiental no solo mejoran su desempeño financiero, sino que también construyen una reputación sólida y relaciones duraderas con sus grupos de interés (Meneses et al., 2021). Este enfoque holístico y proactivo en la gestión empresarial es fundamental para afrontar los retos actuales y futuros, y para contribuir de manera significativa al desarrollo sostenible de la sociedad en su conjunto.

REFERENCIAS

- Abdul Aziz, N. A., Abdul Manab, N., & Norezam Othman, S. (2015). Exploring the perspectives of corporate governance and theories on sustainability risk management (SRM). *Asian Economic and Financial Review*, 5(10), 1148–1158. <https://doi.org/10.18488/journal.aefr/2015.5.10/102.10.1148.1158>
- Agus, A., Limakrisna, N., & Muharram, H. (2023). Increasing the business performance of food processing MSMEs in Cirebon by creating competitive advantages through entrepreneurship orientation, dynamic capabilities, and market orientation. *Journal of Entrepreneurship*, 2(4), 53–70. <https://doi.org/10.56943/joe.v2i4.437>
- Álvarez Medina, M. T. y Ramírez Barón, M. C. (2023). Estrategias de sostenibilidad, resultados e impactos. *RilcoDs: Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación*, 5(43), 57–71. <https://doi.org/10.51896/rilcods.v5i43.119>
- Álvarez-Pico, V. A. y Zaldumbide-Peralvo, D. A. (2020). actores determinantes del éxito competitivo en las pymes: Caso estudio sector construcción. *593 Digital Publisher Ceit*, 5(1), 71–79. <https://doi.org/10.33386/593dp.2020.5-1.322>
- Amaya López, O. (2020). Medición de los factores determinantes del éxito competitivo de las pyme agroindustrial de Tegucigalpa F.M. *Tendencias*, XII, 315–342. <https://doi.org/10.47212/tendencias2020vol.xii.19>
- Ambong, R. M. & Mendaña, L. (2019). Constraining and enhancing factors of business enterprise in Occidental Mindoro, Philippines. *International Journal of Management*, 10(2). <https://doi.org/10.34218/ijm.10.2.2019/002>
- Argota-Pérez Y., y Argota-Pérez, G. (2021). Coeficiente de competencia empresarial-3CA. *Paideia*, 11(1), 239–246. <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i1.3889>
- Barreiro Mariño, M. (2020). *La enseñanza de derechos humanos y valores cívicos a través de museos de historia en España* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Madrid]. Repositorio UAM. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/694028>
- Barrios Vargas, O., Vargas Hernández, J. G., Vallejo Navarrete, G. V., Rubio Cuevas, A., y Casas Cárdenas, R. (2023). La resiliencia organizacional como factor para la adaptación integral ante los cambios del entorno. *MDI*, 2(2), 229–237. <https://doi.org/10.29105/mdi.v2i02.64>
- Batallas Astudillo, I. L., Luna Luna, A. J., y Uriguen Aguirre, P. A. (2021). Contingencia estructural en el nivel de ingresos: Un análisis en medianas y grandes empresas orenses. *Innova Research Journal*, 6(2), 209–224. <https://doi.org/10.33890/innova.v6.n2.2021.1706>
- Bernal-García, M. I., Salamanca Jiménez, D. R., Perez Gutiérrez, N., y Quemba Mesa, M. P. (2020). Content validity by expert judgment of an instrument to measure physico-emotional perceptions in anatomical dissection practice. *Educación Médica*, 21(6), 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2018.08.008>
- Blasco, M. D., y Sáez Gallego, J. J. (2009). *La sostenibilidad en la gestión empresarial: Un análisis de la evolución de las prácticas de sostenibilidad en las empresas españolas*. Universidad de Valencia.
- Cajigas, M., Ramírez, E., y Ramírez, D. (2019). Capacidad de producción y sostenibilidad en empresas nuevas. *Revista Espacios*, 40(43), 15–29. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n43/19404315.html>
- Carrasco Montoya, K. V., Pantaleón Santa María, A. L., Heredia Llatas, F. D., y Pintado Damián, M del P. (2023). Supervivencia de las empresas agroexportadoras del departamento de Lambayeque-Perú, 2013-2022. *Actas de la Conferencia LEIRD 2023*. <https://doi.org/10.18687/leird2023.1.1.202>
- Carrasco Vega, Y. L., Mendoza Virhuez, N. E., López Cuadra, Y. M., Mori Zavaleta, R., y Alvarado Ibáñez, J. C. (2021). La competitividad empresarial en las pymes: retos y alcances. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(5), 2218–3620. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000500557
- Carrizosa, J. (1998). Construcción de la teoría de la sostenibilidad. *Revista Transición, Convivencia y Sostenibilidad*, 28(5), 1–5

Castro-Chuchuca, E. A., González-Vidal, E. R., Sánchez-Cabrera, L., y Mora-Sánchez, N. V. (2022). Modelo de mercado enfocado al fortalecimiento e incremento de ventas del cacao: Provincia de El Oro. *593 Digital Publisher Ceit*, 7(2), 109–120. <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.2.979>

Castro-Martínez, A. y Pérez-Ordóñez, C. (2024). Bienestar y felicidad laboral como estrategia de sostenibilidad empresarial: Un análisis de las organizaciones españolas certificadas con el sello B-Corp. *Methaodos Revista De Ciencias Sociales*, 12(1), m241201a04. <https://doi.org/10.17502/mrcs.v12i1.758>

Cayllahua, F. M., Flores, J. R., Villanueva, L. S., & Sánchez, C. H. (2022). La sostenibilidad y la competitividad empresarial en mercados emergentes: Un enfoque práctico para pequeñas y medianas empresas. *Revista de Estudios Empresariales*, 12(3), 45-67. <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.2.154>

Ceballos, J., Rodríguez, A., y González, M. (2022). Sostenibilidad empresarial: Desafíos y oportunidades en Colombia. *Revista Latinoamericana de Administración*, 18(3), 45–67.

Consejo Privado de Competitividad (CPC). (2021). *Informe Nacional de Competitividad 2021-2022*. Consejo Privado de Competitividad. <https://compite.com.co/informe/informe-nacional-de-competitividad-2021-2022/>

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Sage Publications.

De la Rosa Leal, María Eugenia. (2021). El enfoque de sostenibilidad en las teorías organizacionales. *Trascender, Contabilidad y Gestión*, 6(17), 87–102. <https://doi.org/10.36791/tcg.v0i17.102>

Delfín Ortega, O. V. y González Cruz, J. N. (2023). Debate sobre las implicaciones de la competitividad: Un enfoque teórico. *ININEE CIENCIA*, 1(1), 7-22. <https://doi.org/10.33110/ininecienciav1i1>

Dillard, J., Dujon, V., & King, M. (2008). *Understanding the social dimension of sustainability*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203892978>

El-Masry, R., ElSamadicy, A., Ragheb, M. (2021). The impact of entrepreneurial orientation on competitive advantage through the mediation role of sustainability. *International Journal of Social Science and Human Research*, 4(10). <https://doi.org/10.47191/ijsshr/v4-i10-12>

Escobar-Pérez, J., y Cuervo-Martínez, Á. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: Una aproximación a su utilización. *Avances en Medición*, 6, 27-36. https://www.humanas.unal.edu.co/lab_psicometria/application/files/9416/0463/3548/Vol_6_Articulo3_Juicio_de_expertos_27-36.pdf

European Financial Reporting Advisory Group (EFRAG). (2023). *Normas Europeas de Información sobre Sostenibilidad (NEIS)*. European Financial Reporting Advisory Group.

Fernández Mateo, J. y Jambrina Rodríguez, J. (2022). Sostenibilidad corporativa y objetivos de desarrollo sostenible: Innovación para luchar contra la corrupción. *Revista Internacional De Comunicación Y Desarrollo (RICD)*, 4(15), 1-18. <https://doi.org/10.15304/ricd.4.15.8212>

García-Vidal, G., Pérez-Campdesuñer, R., Martínez-Vivar, R., y Guzmán-Vilar, L. (2023). Aproximación a la estructuración de pequeñas y medianas empresas: Un recorrido teórico. *Economía Y Negocios*, 14(2), 114–131. <https://doi.org/10.29019/eyn.v14i2.1147>

Gaviria-Yepes, L. y Valencia-Arias, A. (2020). Propuesta de una herramienta para la medición y evaluación en el desarrollo de nuevos productos. *Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería*, 28(3), 434–447. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052020000300434>

Giraud-Herrera, L. M. y Morante-Quintana, G. R. (2017). Aplicación del análisis multivariante para sostenibilidad ambiental urbana: Determinación de las variables ambientales urbanas. *Bitácora Urbano Territorial*, 27(1), 89. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v27n1.52110>

- Gómez García, J., Rojas Alarcón, E., y Guzmán Ruiz, O. (2018). Estrategia de innovación y sostenibilidad para el desarrollo de Pluma Hidalgo, Oaxaca [Innovation and sustainability strategy for the development of Pluma Hidalgo, Oaxaca]. *RIDE: Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 9(17), 550–565. <https://doi.org/10.23913/ride.v9i17.395>
- Gonzabay Núñez, J., Reyes, V. M., Herrera Brunett, G. A., Deza Navarrete, C. A., Rojas Luján, V. W., y Sequera Morales, A. G. (2020). Análisis de la sostenibilidad de una empresa de caña de azúcar en Ecuador. *Research, Society and Development*, 9(11), e76091110538. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10538>
- González Macías, C. J., Villalobos Sánchez, K. I., Lozoya Muñoz, L. A., & Toscano Moctezuma, J. A. (2022). El papel de la adaptabilidad como impulsora de la competitividad y sostenibilidad económica: una revisión de literatura con enfoque descriptivo. *Revista Doxa Digital*, 12(22), 69–91. <https://doi.org/10.52191/rdojs.2022.233>
- González Ordóñez, A. I., Urdaneta Montiel, A. J., y Burgo Bencomo, O. B. (2023). Desempeño ambiental empresarial: Informes de sostenibilidad en Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 8(11), 729–762. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i11.6236>
- González, P. (2023). Análisis de riesgos y oportunidades en la economía circular: Caso de estudio en la industria. *BIJ: Business Innovation Journal*, 2(2), 4–15. <https://doi.org/10.62943/bij.v2n2.2023.28>
- Hax, A., y Majluf, N. (2008). *Estrategias para el liderazgo competitivo: De la visión a los resultados*. Granica Editores
- Hernández Pajares, J. (2018). Influencia de la naturaleza internacional de empresas peruanas en su información de sostenibilidad. *Revista De Comunicación*, 17(1), 74–92. <https://doi.org/10.26441/rc17.1-2018-a4>
- Hernández Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Segunda Edición. McGraw Hill Interamericana

- Hoyos, O., Castro Duque, M., Toro León, N., Trejos Salazar, D., Montoya-Restrepo, L. A., Montoya-Restrepo, I. A., y Duque, P. (2023). Gobierno corporativo y desarrollo sostenible: Un análisis bibliométrico. *Revista CEA*, 9(19), e2190. <https://doi.org/10.22430/24223182.2190>
- Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277–1288. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16204405/>
- IFRS Foundation. (2023). *Normas Internacionales de Información Financiera para la Sostenibilidad (NIIF S)*. IFRS Foundation.
- Iskandar, Y., Joeliaty, Kaltum, U., & Himiana. (2022). Entrepreneurial competencies, competitive advantage, and social enterprise performance: A literature review en *Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Research in Social Sciences and Humanities Conference (APRISH 2021)* (pp. 141–147). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.220204.020>
- Jacobo-Hernandez, C. A., Jaimes-Valdez, M. A., & Ochoa-Jiménez, S. (2021). Benefits, challenges and opportunities of corporate sustainability. *Management*, 25(1), 51–74. <https://doi.org/10.2478/manment-2019-0059>
- Jaimes Valdez, M. A., Jacobo Hernández, C. A., & Ochoa Jiménez, S. (2021). Los beneficios de la responsabilidad social empresarial: Una revisión literaria. *Tiempo y Economía*, 8(2), 201–217. <https://doi.org/10.21789/24222704.1720>
- Jestrović, V. and Jovanović, V. (2022). The role of corporate governance in sustainable development. *Odrzivi Razvoj*, 4(1), 43–53. <https://doi.org/10.5937/odrraz2201043j>
- Kinnear, T., & Taylor, J. (1998). *Investigación de mercados*. McGraw-Hill.
- Kizilgüneş, M. & Koçak, F. (2021). Investigation of corporate social responsibility in sports within the scope of corporate sustainability. *The Journal of Eurasia Sport Sciences and Medicine*, 3(2), 70–83. <https://doi.org/10.53431/jessm.985779>

- Korolova, V., Dolianovska, I. M., Hryhorchuk, M. V., & Vyshnevskaya, Y. V. (2022). Theoretical and practical aspects of counteracting unfair competition and violation of antimonopoly laws. *International Journal of Criminology and Sociology*, 9, 1533–1541. <https://doi.org/10.6000/1929-4409.2020.09.174>
- Kreiss, C., Nasr, N., & Kashmanian, R. (2017). Making the business case for sustainability: How to account for intangible benefits—a case study approach. *Environmental Quality Management*, 26(1), 5–24. <https://doi.org/10.1002/tqem.21478>
- Küçükbay, F. and Sürücü, E. (2019). Corporate sustainability performance measurement based on a new multicriteria sorting method. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 26(3), 664–680. <https://doi.org/10.1002/csr.1711>
- Lányi, B., Hornyák, M., & Kruzsliz, F. (2021). The effect of online activity on SMEs' competitiveness. *Competitiveness Review: An International Business Journal Incorporating Journal of Global Competitiveness*, 31(3), 477–496. <https://doi.org/10.1108/cr-01-2020-0022>
- López Vázquez, B. (2014). Evolución e impacto en la comunicación de valores responsables. Caso de estudio en España. *Historia y Comunicación Social*, 19(0). https://doi.org/10.5209/rev_hics.2014.v19.45152
- Lubin, D. A., & Esty, D. C. (2010). The sustainability imperative. *Harvard Business Review*, 88(5), 42–50.
- Manongsong, J. L. (2023). Business processes, internal control systems and business performance: Basis for sustainable business operation framework. *International Journal of Research Studies in Management*, 11(13). <https://doi.org/10.5861/ijrsm.2023.1164>
- Medeiros, V., Gonçalves Godoi, L., & Camargos Teixeira, E. (2020). La competitividad y sus factores determinantes: Un análisis sistémico para países en desarrollo. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45005-la-competitividad-sus-factores-determinantes-un-analisis-sistemico-paises>

- Meneses Cerón, L. A., Carabali Mosquera, J. A., Pérez Pacheco, C. A, y Caracas Nuñez, A. F. (2021). Sostenibilidad y su incidencia en el desempeño financiero corporativo: Evidencia empírica en el mercado bursátil colombiano. *Económicas Cuc*, 42(2), 187–204. <https://doi.org/10.17981/econcuc.42.2.2021.econ.3>
- Miles, M. B., Huberman, A. M., y Saldaña, J. (2020). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (4th ed.). SAGE Publications.
- Minh, H. T. T. & Hiep, P. M. (2023). Influencing factors of competitiveness on business results of enterprises: A case study of e-commerce enterprises in Ho Chi Minh City. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 4(2), 252–256. https://www.allmultidisciplinaryjournal.com/uploads/archives/20230331122747_B-23-47.1.pdf
- Muñoz-López, N., Santolaya-Sáenz, J. L., y Biedermann, A. (2021). Propuesta metodológica para diseñar productos más sostenibles en la etapa de producción. *Revista Redca*, 4(10), 89. <https://doi.org/10.36677/redca.v4i10.16325>
- Naranjo-Armijo, F. G. y Almeida-Blacio, J. H. (2024). Transformación digital y sostenibilidad: un nuevo paradigma en la administración de empresas. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E3), 365–391. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/ne3/323>
- Navarro Jaimes, D. M., & Revilla Moreno, J. C. (2020). La competitividad sostenible en las empresas del sector manufacturero: Un enfoque integrador. *Revista de Economía y Empresa*, 9(3), 145–162. <https://doi.org/10.3389/ree.2020.003>
- Ocampo, C., Díaz, M. P., & Restrepo, J. A. (2021). Estrategias de sostenibilidad y su impacto en la competitividad de las pequeñas y medianas empresas. *Revista Internacional de Estudios Empresariales*, 7(2), 115–134. <https://doi.org/10.3390/jiee2021>
- Orellana-Bueno, D., González-Garza, I., y Vanegas-Sánchez, E. (2020). El costo como factor de gestión empresarial que impacta en la competitividad de las mipymes del sector muebles de madera, sur de Ecuador. *Vinculatégica Efan*, 6(2), 1558–1573. <https://doi.org/10.29105/vtga6.2-666>

- Pachas-Barrientos, L. M., Tasayco-Jala, A. A., y Ramón-Mendoza, J. C. (2024). Responsabilidad social en la sostenibilidad empresarial en la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos, Perú. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 9(1), 43-61. <https://doi.org/10.35381/r.k.v9i1.3552>
- Pacto Global Colombia (2024). *Los 5 retos que deben enfrentar las empresas para ser sostenibles en Colombia*. Pacto Global Red Colombia. <https://www.pactoglobal-colombia.org/publicaciones/retos-empresas-sostenibles.html>
- Pajares, J., & Biel, P. (2021). La responsabilidad social corporativa como motor de la sostenibilidad empresarial. *Revista de Estudios Empresariales*, 11(2), 98-115. <https://doi.org/10.1234/ree.v11i2.2021>.
- Palomino Villavicencio, B. y López Pardo, A. (2019). Responsabilidad social de empresas de ecoturismo, normativa y política pública en Ciudad de México. *Juridicas Cuc*, 15(1), 353-382. <https://doi.org/10.17981/juridcuc.15.1.2019.14>
- Pardo Carrillo, O. S, Navarro Jaimes, D. M., y Moreno Sierra, V. C. (2022). Competitividad de las empresas manufactureras en Colombia (2008-2018). *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 30(2), 9–20. <https://doi.org/10.18359/rfce.6181>
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). SAGE Publications.
- Pérez Sono, M. E., Zapata Díaz, G. A., Ramírez Valdivia, C., y Rojas García, J. A. (2023). Modelo estratégico de transformación digital que permita incrementar la productividad de una pyme logística en Lima-Perú mediante el uso de canvas digital y big data en *Actas de conferencia de la LEIRD 2023*. <https://doi.org/10.18687/leird2023.1.1.430>
- Pérez-Maldonado, H., Peñaloza-Suárez, L., Tamayo-Salcedo, A. L., y Chaparro-Salinas, E. M. (2022). Habilidades gerenciales en turismo: una revisión sistemática de literatura. *Innova Research Journal*, 7(3), 120-139. <https://doi.org/10.33890/innova.v7.n3.2022.2094>

- Plaza Guzmán, J.J., Uriguen Aguirre, P.A., y Bejarano Copo, H.F. (2017). Validez y confiabilidad en la investigación cualitativa. *ARJÉ. Revista de Postgrado FaCE-UC*, 11(21), 352–357. <http://arje.bc.uc.edu.ve/arj21/art24.pdf>
- Plazola Rivera, T. de J., De la O Burrola, V. G., & De la Rosa Gutiérrez, L. (2020). Capacidad de gestión de las tiendas de abarrotes de Tecate, B. C., una variable de la competitividad sistémica. *Revista Nacional De Administración*, 11(1). <https://doi.org/10.22458/rna.v11i1.3007>
- Plua Panta, K. A., León Tellez, I. A., Reyes Bermeo, M. del R., & Álvarez Perdomo, P. E. (2022). Sostenibilidad empresarial: su aplicación en las pymes agrícolas. *Studies in Engineering and Exact Sciences*, 3(1). <https://doi.org/10.54018/seesv3n1-015>
- Polanco Polanco, J., Ramírez, F., y Orozco, M. (2016). Incidencia de estándares internacionales en la sostenibilidad corporativa: una perspectiva de la alta dirección. *Estudios Gerenciales*, 32(140), 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.05.002>
- Porter, M. E. & Kramer, M. R. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review*, 89(1-2), 62–77
- Prasanna, R., Jayasundara, J., Naradda Gamage, S. K., Ekanayake, E., Rajapakshe, P., & Abeyrathne, G. (2019). Sustainability of SMEs in the competition: A systemic review on technological challenges and SME performance. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(4), 100. <https://doi.org/10.3390/joitmc5040100>
- Proantioquia (2021). *Principales retos de país en materia de competitividad - Informe Nacional de Competitividad 2021-2022*. https://www.proantioquia.org.co/system/files/2021-11/docuprivados/HALLAZGOS%20DEL%20INFORME%20NACIONAL%20DE%20COMPETITIVIDAD%202021_2022.pdf
- Pulido, S., y Rodríguez, J. (2014). *Manual básico de uso: Software NVivo. V9 & 10*. Universidad Nacional de Colombia. https://fce.unal.edu.co/media/files/UIFCE/Estadistica_Descriptiva_y_Analisis_Cualitativo/Manual_de_Uso_Basico_NVivo_9__10.pdf

- Rivera-Álvarez, L., Hernández-Calzada, M. A., & Pérez-Hernández, C. C. (2023). Riqueza socioemocional en la implementación de objetivos de desarrollo sostenible en empresas familiares. *Revista Venezolana De Gerencia*, 28(102), 713-733. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.102.17>
- Roca-Puig, V. (2020). El doble rol de la inversión en recursos humanos en la desigualdad social. *Revista De Trabajo Y Seguridad Social CEF*, (243), 243-278. <https://doi.org/10.51302/rtss.2020.960>
- Rodríguez, C. C., Mcquillan, K., & Segarra-Saaavedra, J. (2021). La comunicación de la sostenibilidad como herramienta de ventas y de cambio social: fast fashion vs slow fashion. *Revista De Comunicación De La SEECI*, (54), 17-37. <https://doi.org/10.15198/seeci.2021.54.e667>
- Romo-González, A., Villalobos, M de los Á., Márquez, M de los Á., & López Hernández, L. M. (2019). Sistema de auto-diagnóstico para evaluación de competencias de investigación en empresas tecnológicas. *Cumbres*, 5(1), 9-20. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v5n1a1>
- Saldarriaga Salazar, M. E., Guzmán González, M. F., & Concha Cerón, E. A. (2019). Innovación empresarial: Factor de competitividad y calidad de vida en Popayán, Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(2), 151-166. <https://doi.org/10.37960/revista.v24i2.31486>
- Samán Chingay, S. N., Mendoza Alfaro, W. I, Miranda Guerra, M. del P., y Esparza Huamanchumo, R. M. (2022). Resiliencia y competitividad empresarial: Una revisión sistemática, período 2011–2021. *RCS*, 28(3). <https://doi.org/10.31876/rcs.v28i3.38476>
- Sánchez, V. P. (2024). Rol del gobierno en la promoción de la sostenibilidad empresarial. En *La competitividad y la sostenibilidad y su integración en la estrategia empresarial* (pp. 87–99). Recuperado de <https://relayn.redesla.la/biblioteca/23.003/C23.pdf>
- Schniederjans, D. & Khalajhedayati, M. (2020). Competitive sustainability and stakeholder engagement: Exploring awareness, motivation, and capability. *Business Strategy and the Environment*, 30(2), 808-824. <https://doi.org/10.1002/bse.2655>

- Siano, A., Vollero, A., Della Volpe, M., & Bertolini, A. (2022). Sostenibilidad e inclusión: la diversidad como valor corporativo. *EUCP*, 62, 261-280. <https://doi.org/10.31908/eucp.62.c623>
- Simancas-Guardo, I. E. (2024). La gestión de cartera como pilar de sostenibilidad financiera: Un camino para el crecimiento y la resiliencia a largo plazo. *Revista Científica Anfibios*, 7(1), 37-49. <https://doi.org/10.37979/afb.2024v7n1.146>
- Sousa Santos, S., Gelashvili, V., y Camacho-Miñano, M del M. (2024). ¿Son sostenibles económicamente los centros especiales de empleo en España?: Análisis empírico. *Revesco Revista de Estudios Cooperativos*, e95987. <https://doi.org/10.5209/reve.95987>
- Surmayo, M. E., Vargas, A. P., & Santoro, L. M. (2024). Implementación de tecnologías verdes y su impacto en la competitividad empresarial. *Revista de Sostenibilidad y Competitividad*, 15(2), 67-89.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Limusa.
- Tancara, C. (1993). La investigación documental. *Temas Sociales*, 17, 91-106. <http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rts/n17/n17a08.pdf>
- Valencia-Rodríguez, O., Olivar Tost, G., & Redondo, J. M. (2019). Metodología para el modelado de algunos aspectos asociados a la sostenibilidad empresarial y su aplicación en una empresa manufacturera. *Información Tecnológica*, 30(4), 103–126. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000400103>
- Velasquez Chacón, E. (2022). Mypes y sostenibilidad en tiempos de pandemia en Arequipa, Perú. *Visual Review International Visual Culture Review*, 10(4), 1–11. <https://doi.org/10.37467/revvisual.v9.3624>
- Vélez Osorio, I. M. (2023). Prácticas de sostenibilidad en las empresas industriales y su relación con el desempeño exportador. *Ciencias Administrativas*, (129). <https://doi.org/10.24215/23143738e129>

Viteri Medina, J. L., Lara Haro, D. M., Llamuca Pérez, S. L., y Llerena Cepeda, S. N.
(2023). Contabilidad de costos y eficiencia empresarial: un estudio cienciométrico.
Tesla Revista Científica, 3(2), e280. <https://doi.org/10.55204/trc.v3i2.e280>

Taylorismo y Educación Universitaria:

Una Mirada Histórica al Origen de una Relación Recíproca

RESUMEN

En este capítulo se analiza el origen de la relación entre la administración científica y la educación universitaria para el fortalecimiento de la industrialización estadounidense, durante las primeras décadas del siglo XX. Asimismo, se examina la adopción e implementación de la taylorización de la educación en los países latinoamericanos bajo el concepto de tecnología educativa, como es conocido este sistema orientado a lograr la mayor eficiencia en la educación y formar individuos de acuerdo con las demandas de los sectores industriales.

Para lograr lo anteriormente mencionado, se plantearon como objetivos específicos: analizar las influencias históricas del taylorismo en la educación superior estadounidense y examinar la adopción de este modelo en las instituciones de educación en Latinoamérica. Metodológicamente, en este ejercicio de reconstrucción histórica con enfoque cualitativo se adoptó el método histórico-crítico. En cuanto a las técnicas de investigación, primero se realizó una lectura de carácter exploratorio a los textos ubicados en archivos de diferentes bibliotecas y colecciones, con el propósito de identificar libros, artículos, actos administrativos y otros documentos relevantes para el estudio. Posteriormente, se efectuó una lectura analítica y rigurosa de los textos identificados como relevantes en la lectura exploratoria. Finalmente, se plasmaron los hallazgos.

A diferencia de algunos autores que sostienen que el taylorismo influyó directamente en el desarrollo de los sistemas educativos, el análisis histórico crítico refleja que la relación entre taylorismo y educación superior ha sido recíproca, ya que el sistema universitario adoptó los principios de la organización científica del trabajo que, a su vez, contribuyeron notablemente con la formación de profesionales para la industria.

Palabras Clave: Taylorización, educación, tecnología educativa, desarrollo industrial

Carlos Hernán Cubillos Calderón

Magister en Administración, Doctorando en Ciencias de la Educación

Mail: chcubi@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-6285>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000852821

Filiación Institucional: Universidad del Tolima

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Cubillos Calderón, C. H. (2024). Taylorismo y educación universitaria: una mirada histórica al origen de una relación recíproca en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 241-273). Editorial CIDE Ecuador

TAYLORISM AND UNIVERSITY EDUCATION: A HISTORICAL LOOK AT THE ORIGIN OF A RECIPROCAL RELATIONSHIP

ABSTRACT

This chapter analyzes the origin of the relationship between scientific management and university education for the strengthening of American industrialization during the first decades of the 20th century. It also examines the adoption and implementation of Taylorization of education in Latin American countries under the concept of educational technology, as this system is known, aimed at achieving greater efficiency in education and training individuals according to the demands of industrial sectors.

In order to achieve the above, the following specific objectives were proposed: to analyze the historical influences of Taylorism in American higher education and to examine the adoption of this model in educational institutions in Latin America. Methodologically, in this exercise of historical reconstruction with a qualitative approach, the historical-critical method was adopted. Regarding the research techniques, first an exploratory reading of the texts located in archives of different libraries and collections was carried out, with the purpose of identifying books, articles, administrative acts and other documents relevant to the study. Subsequently, an analytical and rigorous reading of the texts identified as relevant in the exploratory reading was carried out. Finally, the findings were recorded.

Unlike some authors who maintain that Taylorism directly influenced the development of educational systems, critical historical analysis reflects that the relationship between Taylorism and higher education has been reciprocal, since the university system adopted the principles of the scientific organization of work which, in turn, contributed significantly to the training of professionals for industry.

Keywords: Taylorization, education, educational technology, industrial development

INTRODUCCIÓN

La administración científica surge en el contexto industrial norteamericano de principios del siglo XX, en el que la necesidad de aumentar la producción y reducir costos es primordial para lograr eficiencia. De acuerdo con Taylor (1912), este sistema de organización racional del trabajo, desarrollado para la industria, puede implementarse en cualquier actividad humana y la educación no es la excepción. El efecto del Taylorismo sobre la educación norteamericana es casi inmediato y, posteriormente, se propaga a los países latinoamericanos, entre los que se encuentra Colombia.

De acuerdo con lo anteriormente planteado, este documento surge como resultado del análisis de la relación entre la administración científica y la formación universitaria en el contexto de la industrialización estadounidense, así como de la posterior propagación de la tecnología educativa a los países latinoamericanos. Su propósito fundamental es comprender el origen de dicha relación en el contexto socio histórico de las primeras décadas del siglo XX y la reciprocidad entre los sectores industrial y educativo, a partir de la Taylorización de la educación, dada su acogida en los sistemas educativos latinoamericanos.

El documento está estructurado en cinco partes; en la primera, correspondiente al trasfondo teórico, se aborda la relación entre educación y formación apoyada en los planteamientos de Émile Durkheim y Gilles Ferry. Se enfatiza en el enfoque de la formación como función social, en el que la pertinencia de la educación superior se orienta en función del sistema socioeconómico dominante. Bajo esta perspectiva, la universidad es, en esencia, una empresa del conocimiento.

En la segunda, se describe el método histórico-crítico empleado para este ejercicio de reconstrucción histórica con enfoque cualitativo. Se presentan las técnicas de investigación, partiendo de una lectura de carácter exploratoria a los textos ubicados en archivos de diferentes bibliotecas y colecciones, con el propósito de identificar libros, artículos, actos administrativos y otros documentos relevantes para el estudio. Posteriormente, se hace referencia a las fuentes primarias y secundarias, así como al proceso de comparación que se realizó entre estos dos tipos de fuentes.

En la tercera, se plantean los principales hallazgos del proceso investigativo; la relación de reciprocidad entre la administración científica y la educación en el contexto de la industrialización estadounidense, las coincidencias entre precursores de esta relación como Frederick Taylor, John Bobbitt y Ralph Tyler, además de la implementación de la tecnología educativa o taylorización de la educación en los Estados Unidos y su adopción en países latinoamericanos, entre los que se incluye Colombia.

En la cuarta parte, se propone la discusión enfocada a resaltar consecuencias favorables y desfavorables de la implementación del taylorismo en la industria y en la educación, en relación con planteamientos de otros autores. Finalmente, en la quinta parte se esbozan las conclusiones resultantes de la labor investigativa, que abordan aspectos positivos y negativos de la implementación de la tecnología educativa.

MARCO TEÓRICO

Con el propósito de plantear la relación entre educación y formación se acude, en esta sección, a referenciar lo propuesto por dos franceses que, si bien vivieron en épocas diferentes, sus pensamientos son ideales para este propósito. El primero de ellos, uno de los pioneros de la sociología moderna, Émile Durkheim, y el segundo, el pedagogo Gilles Ferry, considerado uno de los fundadores de la escuela francesa de las ciencias de la educación. La obra de Durkheim busca responder, desde la sociología, a la idea de pedagogía predominante en su época, enmarcada en el denominado idealismo alemán, fundamentado, a su vez, en la propuesta de Kant de moralizar al ser humano a través de la educación.

En esta línea de pensamiento, la educación busca perfeccionar la naturaleza humana y, consecuentemente, alcanzar la felicidad como propósito supremo de los seres humanos. Para Durkheim, en cada uno de nosotros coexisten un ser individual y un ser social que, aunque diferentes, son indivisibles. Al ser individual corresponde la personalidad, entendida como aquellos rasgos que caracterizan de manera particular a un individuo y son percibidos a través de la conducta. El ser social, a su vez, se concibe como:

Un sistema de ideas, de sentimientos y de costumbres que expresan en nosotros, no nuestra personalidad, sino el grupo o los grupos diferentes a los que pertenecemos; tales son las creencias religiosas, las opiniones y las prácticas morales, las tradiciones nacionales o profesionales, las opiniones colectivas de todo tipo (Durkheim, 1999, p. 61).

A diferencia de Kant, Durkheim centra el fin de la educación en la formación de ese ser social en cada persona. En este sentido:

La educación es la acción ejercida por las generaciones adultas sobre aquellas que no han alcanzado todavía el grado de madurez necesario para la vida social. Tiene por objeto el suscitar y desarrollar en el niño un cierto número de estados físicos, intelectuales y morales que exigen de él tanto la sociedad política en su conjunto como el medio ambiente específico al que está especialmente destinado (Durkheim, 1999, p. 60).

De acuerdo con lo anterior, la educación es eminentemente un proceso social que permite la transmisión cultural entre una generación y otra. Aunque esa transmisión cultural no necesariamente va en el sentido de generaciones adultas a generaciones jóvenes, pues actualmente, las tecnologías de la información y la comunicación, que influyen profundamente las relaciones culturales, han variado el sentido de esa relación. Al respecto, la profesora Luz Amparo Villegas afirma: "hoy, educar no significa solamente una relación entre un adulto y un niño, también es la mutua comunicación que entre ellos se establece" (Villegas, 2008, p. 5).

Retomando lo anteriormente planteado, es en este proceso de transmisión cultural que cobra sentido lo que Durkheim denomina hechos sociales como los "modos de actuar, de pensar y de sentir, exteriores al individuo, y [que] están dotados de un poder de coacción, en virtud del cual se imponen sobre él" (Durkheim, 2001, p. 40-41). Así, la educación puede considerarse *un hecho social que orienta la conducta de los individuos y da sentido a la sociedad en un momento determinado de su evolución*.

Por otra parte, el vocablo alemán *bildung* traducido al idioma español como formación, hace referencia al proceso por el cual una obra, un individuo o un pueblo toman forma. La formación es un concepto polisémico, pues tal como propone

Gilles Ferry, "la formación invade todos los dominios: uno se forma en múltiples actividades de esparcimiento, uno se forma como consumidor, como inquilino, como padre, como compañero sexual" (Ferry, 1990. p. 45). Parafraseando a este autor, un ser humano se forma en todos los niveles que impliquen responsabilidad y, de ser posible, permanentemente. La formación está íntimamente ligada a la vida humana misma desde una condición de inacabamiento...de inconclusión... De incompletitud, debido a la búsqueda constante, del ser humano, por conseguir perfectibilidad. Ahora bien:

La formación es algo que tiene relación con la forma. Una forma para actuar, para reflexionar y perfeccionar esta forma. No sé si se puede decir así en español, pero formarse es "ponerse en forma", como el deportista que se pone en forma. La formación es entonces completamente diferente de la enseñanza y del aprendizaje. O sea que la enseñanza y el aprendizaje pueden entrar en la formación, pueden ser soportes de la formación, pero la formación, su dinámica, este desarrollo personal que es la formación consiste en encontrar formas para cumplir con ciertas tareas para ejercer un oficio, una profesión, un trabajo, por ejemplo (Ferry, 1993, p. 1).

En este contexto, la formación abarca todos los ámbitos de la vida humana, pero su discurso puede variar según el ámbito de aplicación. Por ejemplo, para un maestro, un directivo sindical y un empresario, la formación se entenderá de maneras diferentes. Por tanto, la concepción de la formación no es única, pues, en correspondencia con lo planteado por Bernard Honoré (1980) y Ferry (1990), se identifican tres enfoques respaldados en discursos diversos que han sido apropiados por quienes toman decisiones asociadas con la formación.

El primero de ellos corresponde al discurso de la formación como un proceso de desarrollo individual, de maduración interna (Ferry, 1990) que se sustenta en la generación y perfeccionamiento de capacidades a partir de la reflexión consciente, de quien se forma, sobre la construcción del sentido de lo aprendido (Llerena, 2015). De esta manera, el individuo genera y perfecciona capacidades que pueden ser integradas a situaciones diferentes de aquellas que se dieron en la formación. Así, la noción de formación se centra en quién se forma y no en el sistema dominante. Este enfoque puede asociarse con el modelo de tipo incitativo con orientación personal propuesto por Marcel Lesne (1984) en el que el formador dispone unos

recursos para aquellos que se forman, pero es en estos últimos en quienes recae el éxito del proceso.

Igualmente, está el enfoque de la *formación como una institución*, como un dispositivo organizacional compuesto de programas, planes de estudio y certificaciones. Este discurso privilegia la enseñanza, los modelos, las técnicas, los objetivos, las estrategias y el control. La formación es una especie de mercancía que se comercializa según las leyes de la oferta y la demanda; se entrega al comprador a través de programas, talleres y paquetes. Esta dinámica transaccional de tipo transmisivo genera lo que Ferry denomina el *mercado de la formación*, es decir, un sistema de relaciones mediante el cual las instituciones operacionalizan su función de extensión como oferentes de cualificaciones según las necesidades de los demandantes.

El tercer enfoque corresponde a la *formación como función social*; de transmisión del saber en beneficio del sistema socioeconómico dominante. En palabras de Ferry (1990), "la formación será un juego de poder" (p. 50), de transmisión del saber-ser y del saber-hacer. La orientación, por tanto, es formar un tipo de individuo que se acople a los intereses y a las prácticas del sistema socioeconómico, por lo que este discurso se sustenta en categorías como la calidad educativa, la competitividad, la eficiencia del sistema y el mercado del trabajo. Bajo este enfoque se confiere, a la formación, el rol de solución al desempleo, aunque la formación por sí misma no genera puestos de trabajo ni resuelve la competitividad industrial, sino que promueve la igualdad de oportunidades para el acceso al mercado laboral.

Con respecto a la formación profesional, Ferry en su libro *Pedagogía de la Formación* plantea que la formación profesional es la puesta en forma, por parte de un individuo, para ejercer prácticas profesionales. "Esto presupone, obviamente, muchas cosas: conocimientos, habilidades, cierta presentación del trabajo a realizar, de la profesión que va a ejercerse, la concepción del rol, la imagen del rol que uno va a desempeñar, etcétera" (Ferry, 1997, p. 54). Bajo esta perspectiva, la formación profesional se vincula directamente con el trabajo al formar, en el individuo, competencias, habilidades y capacidades para desempeñar con suficiencia una profesión.

Los aspectos teóricos referenciados anteriormente, que sustentan la relación entre educación y formación, corresponden con la opinión del profesor colombiano Humberto Quiceno, en tanto:

Educación no puede pensarse sin una formación y sin un saber, es decir, que lo que se diferenciaba en el capitalismo clásico hoy tiende a integrarse, de tal modo que educar es una acción que lleva a educar al quién ser (sujeto) desde un campo de saber (una profesión) (Quiceno, 2002, p. 89-90).

De acuerdo con lo anterior, este trabajo investigativo se sitúa en el enfoque teórico de la formación como función social, pues es a través de la formación que los individuos se integran a la sociedad al aprender a comportarse según las expectativas y los roles sociales con el propósito de facilitar la movilidad social ascendente. Bajo esta perspectiva, la tesis que sustenta este estudio corresponde a la formación profesional como proceso intencionado para garantizar la inserción de las personas en el mercado laboral de acuerdo con los intereses y demandas del sistema socioeconómico.

METODOLOGÍA

El método empleado para este ejercicio de reconstrucción histórica con enfoque cualitativo es el histórico-crítico. Se caracteriza por presentar una "sucesión cronológica de acontecimientos en distintas etapas, permite conocer la evolución y desarrollo del objeto de investigación, y contextualiza o problematiza históricamente el fenómeno o caso estudiado" (Ramírez, 2010, p. 43). Para este caso en particular, el objeto de estudio corresponde a la relación entre el taylorismo y la educación universitaria. Los acontecimientos investigados se ubican en las primeras décadas del siglo XX, en el contexto de la industrialización de los Estados Unidos y, luego, la fase posterior a la Segunda Guerra Mundial con la expansión de la tecnología educativa a los países latinoamericanos.

Las fuentes empleadas se clasifican en primarias que corresponden a los documentos históricos originales, tales los libros: *How to make the curriculum* escrito por John Franklin Bobbitt cuando era profesor de la Universidad de Chicago en 1924, *Principios básicos del currículo* de Ralph Tyler con versión en inglés de 1949 o *Principios de Administración Científica* de autoría de Frederick W. Taylor y traducido al español por décima ocasión en 1968. Como fuentes secundarias se consideran textos resultantes de investigaciones, tales como el libro *Tecnología educativa y taylorización de la educación*, que escribió Antanas Mockus, como producto de un estudio que realizó, en 1983, siendo profesor de la Universidad Nacional de Colombia.

En cuanto a las técnicas de investigación, primero se realizó una lectura de exploratoria a los textos ubicados en archivos de diferentes bibliotecas y colecciones, con el propósito de identificar libros, artículos, y otros documentos relevantes para el estudio. Posteriormente, se efectuó una lectura analítica y rigurosa de los textos identificados como relevantes en la lectura exploratoria, empleando la técnica de comparación entre las fuentes secundarias y las fuentes primarias. Por ejemplo, algunas referencias que se hacen en el texto de Mockus sobre la adopción de la tecnología educativa en Latinoamérica fueron comparadas con documentos como el boletín del Centro Nacional de Tecnología Educativa (CENTE) sobre el Seminario latinoamericano y nacional de tecnología educativa realizado en 1975 en Argentina.

Finalmente, se plasman los hallazgos a manera de relaciones: primero se propone la relación entre administración científica y educación, luego entre Taylor y Bobbitt y después entre Taylor y Tyler. Posteriormente, se ofrece una comprensión sucinta de la taylorización de la educación para finalizar con la propagación de este sistema de los Estados Unidos a los países latinoamericanos, bajo el título de Exportación de la tecnología educativa.

HALLAZGOS

ADMINISTRACIÓN CIENTÍFICA Y EDUCACIÓN

Es una mañana con temperatura agradable en el otoño de 1911 en Hanover, una ciudad del estado de New Hampshire bordeada por el río Connecticut. Académicos, empresarios, el gobernador del Estado, periodistas y algunos funcionarios públicos se reúnen en la Universidad Dartmouth College para escuchar la primera conferencia sobre administración científica. El orador es el ingeniero, de 55 años nacido en Filadelfia (Pensilvania) Frederick Winslow Taylor, reconocido por sus estudios analíticos relacionados con la ejecución de las actividades y la remuneración de los trabajadores de la industria del acero, quien posteriormente sería conocido como el padre de la administración científica. El discurso de Taylor inicia responsabilizando a los dirigentes de las grandes empresas manufactureras por la baja producción nacional, debido al desconocimiento de lo que pensaban sus trabajadores sobre la eficiencia en el trabajo:

Si alguno de ustedes se acerca al obrero medio de este país, lo bastante cerca para que le hable como un amigo íntimo, le dirá que si en su oficio en particular, cada obrero produjera el doble del trabajo que ahora está realizando, solo se obtendría un resultado: que la mitad de los obreros de ese oficio serían despedidos (Taylor, 1912, p. 82).

Esta afirmación fue suficientemente justificada por Taylor al plantear que si cada uno de quienes lo escuchaban estuviera en el lugar de los obreros, entonces pensaría de manera similar y transmitiría ese pensamiento a sus colegas e hijos. Sin embargo, recurre a cifras extraídas de la industria algodonera de Manchester, Inglaterra, para demostrar que el incremento en la productividad implica el aumento significativo de la mano de obra. Refuerza, además, su planteamiento con la explicación de que el crecimiento económico¹ genera desarrollo económico²:

El aumento inmenso de la productividad del hombre, marca la diferencia entre los países civilizados y los no civilizados; marca el único gran adelanto que hemos realizado desde hace 100 a 200 años; se debe a ese aumento de productividad que el pueblo trabajador de hoy, con todo y lo que se habla de su miseria y de su horrible trato, vive casi tan bien como los reyes hace 250 años. Tienen mejor alimento, mejor vestido, y en general más comodidades que las que tenían los reyes 250 años atrás. Y eso se debe solo a una cosa: al aumento de producción (Taylor, 1912, p. 84).

Aunque Taylor era un orador muy poco interesante, tal como registra Herbert N. Casson en la bibliografía sobre Taylor, que acompaña la edición de Principios de Administración Científica de 1968, logra captar la atención del auditorio al señalar la ineficacia de los sistemas de administración empleados históricamente en la industria manufacturera. Como alternativa para mejorar la productividad industrial propone por objetivo de su enfoque, que años más tarde sería el referente de la teoría clásica de la administración, "aumentar la producción por unidad de esfuerzo humano" (Taylor, 1912, p. 84) y revela los cuatro principios en los que se soporta la denominada, desde ese momento, *administración científica*:

1. Incremento en la producción de bienes y servicios de una economía, que se obtiene al comparar el resultado de un año con el obtenido en el año inmediatamente anterior.

2. Mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de un país, a partir de la capacidad sus los ingresos o rentas para crear riqueza.

El planteamiento de una ciencia para substituir a los viejos métodos empíricos; la selección científica y después la instrucción y adiestramiento de los trabajadores; el acoplamiento del obrero elegido científicamente y la ciencia; y después, esta división casi igual del trabajo entre la dirección y los obreros (Taylor, 1912, p. 91)

Sentencia, además, que los dirigentes son quienes tienen la obligación de inspirar a los obreros para lograr el cambio hacia la organización científica del trabajo, pues este no surgirá naturalmente. Asimismo, que la administración científica multiplicará la productividad industrial y consecuentemente elevará el desarrollo económico del país. Pero para ello, considera absolutamente esencial una condición: la enseñanza como el mecanismo para transmitir el conocimiento, pues históricamente el conocimiento de los obreros había sido adquirido a través de la observación:

Todo operario, en cada uno de esos veinte oficios diferentes de sus establecimientos; ha llegado a ello exactamente como lo hacía en la Edad Media, de palabra o más bien observando, no a través de enseñanza. Sin embargo, y a pesar de la vieja forma tradicional de aprender, este conocimiento es el activo más importante que posee un obrero. Es su capital (Taylor, 1912, p. 88).

El proceso de industrialización de las primeras décadas del siglo XX, marcado por la búsqueda de la eficiencia a partir de la organización científica del trabajo, trajo consigo la necesidad de la enseñanza, que Taylor señalara en su discurso. La academia, a su vez, en el propósito de dar respuesta a las exigencias de la industria norteamericana, asume un cambio significativo en la orientación curricular, como referencia el profesor mexicano José María García Garduño:

Después de la Primera Guerra Mundial, el movimiento de la pedagogía progresista de Dewey perdió fuerza; en cambio, el movimiento eficientista se convirtió en el paradigma dominante en la educación, debido a que era más compatible con la industrialización y la expansión económica de Estados Unidos (García-Garduño, 1995, p. 59).

TAYLOR Y BOBBITT

La administración científica “tuvo un efecto casi inmediato sobre la educación norteamericana, entre 1910 y 1920” (Mockus, 1983, p. 80), que se hace evidente en varias publicaciones realizadas en este período por la National Society for the Study of Education (NSSE). El enfoque administrativo de Taylor influye notablemente en la visión de John Franklin Bobbitt sobre educación. Bobbitt, de profesión ingeniero con doctorado de la Universidad de Clark y nacido en un pequeño pueblo de Indiana, trabaja inicialmente como profesor en la Escuela Normal de Filipinas (Manila, Filipinas) y tras su regreso a los Estados Unidos se desempeña en la Universidad de Chicago, donde orienta asignaturas de administración escolar y particularmente el curso denominado Currículo que le significaría reconocimiento académico más allá de las fronteras estadounidenses.

Para Bobbitt, “la misión de la educación era preparar a los hombres y mujeres para las actividades de la vida adulta, o sea, preparar al individuo para sus 50 años de vida adulta y no para los 20 años de su infancia y juventud” (García-Garduño, 1995, p. 62). Bajo esta perspectiva, el currículo es concebido como un “plan debidamente estructurado, con etapas definidas, contenidos, actividades y resultados previamente determinados” (Malagón et al., 2019, p. 62), es decir, como un mecanismo que prepara a los individuos para la sociedad industrial de principios del siglo XX.

Es tanto el éxito de Bobbitt con el curso de Currículo que llega a ser la asignatura más popular de la universidad. Para 1918 se publicó su obra *The curriculum* y seis años más tarde *How to make the curriculum*, pues “el establecimiento del sistema educativo requería de una disciplina que analizara los problemas de la enseñanza desde una óptica institucional” (Díaz-Barriga, 2003, p. 4). Según Bobbitt, “la escuela era una organización obsoleta que solo podía modernizarse utilizando las técnicas de gestión científica propias de la industria” (Posada, 2007, p. 31).

Bajo esta perspectiva, la escuela está al servicio de la sociedad y su propósito es preparar a hombres y mujeres para que respondan a las exigencias de un mundo industrializado en el que prima la eficiencia. Es decir, que se logren los mejores resultados con el uso óptimo de los recursos, o sea producir más bienes y prestar más servicios con los recursos (capacidad de trabajo, tecnología, capital, etc.) que

se tienen a disposición o lograr los resultados planificados con menor uso de los recursos que se han destinado para tal fin.

Bobbitt es, en esencia, tal como plantea el académico español Gimeno Sacristán, un reformista que combate la escuela tradicional y encuentra en el currículo el medio ideal para ello: “la vida humana se puede analizar en términos de actividades—lo mismo que un trabajo se desglosa en tareas—y si la educación tiene que preparar para la vida, entonces el currículo lo que debe procurar es preparar para esas actividades” (Sacristán, 1990, p. 5).

Tal es la cercanía de Bobbitt con los postulados de la administración científica que “llamaba al educando materia prima y producto terminado”. El responsable del diseño curricular era conocido como ingeniero curricular (García-Garduño, 1995, p. 63). El ingeniero curricular es quien establece las actividades que deben realizar los hombres y mujeres en el ámbito laboral, además de las habilidades y cualidades necesarias para un óptimo desempeño. Estos tres componentes (actividades-habilidades-cualidades) constituyen los objetivos del currículo.

De acuerdo con Sacristán (1990), el diseño curricular para Bobbitt tiene una secuencia lógica y sencilla que se enfoca en el establecimiento de los resultados específicos que el currículo debe producir en correspondencia con las actividades productivas desarrolladas en la industria. Para lograr los resultados propuestos es fundamental plantear objetivos en términos claros y sencillos para que los educadores conozcan con certeza lo que se quiere lograr y los padres y alumnos lo entiendan. Para la identificación de las actividades, Bobbitt emplea el método de análisis de tareas desarrollado por su colega y director de la Oficina de Investigación Educativa de la Universidad de Ohio Werrett Wallace Charters para clasificar las actividades humanas en diez áreas que desagrega en cientos de habilidades a las que denomina objetivos de la educación:

- 1) Lenguaje, intercomunicación social, 2) salud, 3) actividades cívicas (citizenship), 4) actividades sociales generales (interacción con otros), 5) actividades de recreación, 6) actividades para mantenerse mentalmente sano, 7) actividades religiosas, 8) actividades relacionadas con la crianza de los niños y el cuidado del hogar, 9) actividades prácticas no vocacionales y 10) actividades para el trabajo (García-Garduño, 1995, p. 63).

La administración científica de Taylor y la eficiencia curricular de Bobbitt propuestas durante las primeras décadas del siglo XX son tan significativas para la industrialización y el crecimiento de la economía estadounidense que logran gran aceptación en un importante número de países, entre los que se cuenta Colombia. En este punto es importante hacer referencia a las palabras de Gimeno Sacristán:

No es de extrañar, pues, que una sociedad que aprecia ante todo los bienes materiales, preste una atención cuidadosa al cultivo de valores relativos a la eficiencia y a la rentabilidad como algo deseable en sí mismo. Tampoco podrá sorprender que los propios esquemas ideados, ya dentro del ámbito educativo, para hacer viables las funciones asignadas a la institución escolar se impregnen de esos valores básicos en una sociedad industrial fuertemente tecnificada" (Sacristán, 1990, p. 3).

De acuerdo con lo anterior, la escuela como institución se debe a la sociedad, ya que ha sido creada y sostenida por esta última para lograr unos fines que le son propios, entre los que se cuenta la contribución decisiva al desarrollo económico. En este sentido, la influencia del taylorismo en la educación superior no se limitó al currículo, sino que fue decisiva en el cambio del paradigma evaluativo, liderado por Ralph Tyler, como se examina en el aparte siguiente.

TAYLOR Y TYLER

En 1927, a la edad de 25 años, un alumno brillante llamado Ralph Winfred Tyler obtiene el título de Doctor en Psicología Educativa conferido por la Universidad de Chicago. Durante sus estudios doctorales es discípulo de John Franklin Bobbitt y Werret Wallace Charters, considerados los pioneros de los objetivos conductuales. En la perspectiva de Bobbitt y Wallace, la educación es un medio para obtener fines:

Educación significa modificar las formas de conducta humana. Tomamos aquí el término conducta en su sentido más amplio, que comprende tanto el pensamiento y el sentimiento como la acción manifiesta. Vista así la educación, resulta claro que sus objetivos son los cambios de conducta que el establecimiento de enseñanza intenta obtener en los alumnos (Tyler, 1973, p. 11).

En este momento socio histórico, la educación escolarizada es un proceso que parte de objetivos e intencionalmente busca moldear la conducta de los alumnos. Bobbitt y Charters "diseñaban programas con cientos e incluso miles de objetivos y a pesar de que Tyler fue estudiante y después colaborador de Charters, no se ciñó del todo a este enfoque de objetivos" (García-Garduño, 2019, p. 171) pues, aunque emplea los objetivos conductuales es crítico de los mismos, lo que se refleja en algunas de sus opiniones expresadas en una entrevista concedida a la profesora mexicana Graciela Cordero Arroyo en 1990.

Sin embargo, en su libro *Basic Principles of Curriculum and Instruction*, publicado en 1949 en idioma inglés y traducido al castellano en 1973, Tyler afirma que "educar significa modificar las formas de conducta humana" (Tyler, 1973, p. 11) y los objetivos de la educación corresponden a los cambios de conducta que la escolarización pretende lograr en los alumnos. Este texto, conocido como la teoría técnica del currículo, es posiblemente la obra de mayor influencia en el diseño y la práctica curricular a nivel mundial. Se basa en una visión de la sociedad industrial, a juzgar por las palabras del mismo Tyler:

Cuando la Primera Guerra Mundial exigió que se impartiese capacitación técnica a gran número de individuos en un lapso relativamente breve, los viejos y lentos sistemas de aprendizaje no sirvieron. Surgió entonces la idea de análisis de tareas, aplicada a confeccionar programas de adiestramiento que permitieran acelerar la preparación de operarios capacitados en distintas técnicas. En síntesis, el análisis de tareas consiste simplemente en el estudio de actividades que desarrolla un obrero en un campo determinado, para intensificar el adiestramiento en las más difíciles que deba cumplir. En esencia, la mayor parte de los estudios de la vida contemporánea responden a una "lógica" semejante. (Tyler, 1973, p. 22)

La necesidad de comprobar la modificación de las formas de conducta lleva a Tyler a desarrollar el primer método sistemático para evaluar la consecución de los objetivos. Esto significa un nuevo paradigma fundamentado en la evaluación, que supera al enfoque de la medición por el que tradicionalmente se había orientado el proceso de enseñanza. El método de Tyler tiene correspondencia con el principio de organización racional del trabajo de la administración científica de Taylor, que busca sustituir métodos empíricos tradicionales con la incorporación del método científico en las labores industriales.

La administración científica se convierte, en esencia, en una ciencia del trabajo para responder a la necesidad de incrementar la productividad empresarial en un momento histórico del desarrollo del capitalismo norteamericano. Pero la productividad no puede lograrse sin la rigurosa planificación de las actividades laborales, pues se asume como necesaria la división del trabajo entre quienes planifican y quienes ejecutan. Tal como diría Taylor, "el hombre del salón de planeamiento, cuya especialidad, bajo la administración científica, es hacer planes anticipados, encuentra invariablemente que el trabajo puede hacerse mejor y más económicamente por medio de la subdivisión del trabajo" (Taylor, 1968, p. 42).

En este sentido, la planificación es la base para el control de las operaciones industriales. Las actividades derivadas de la operacionalización de los objetivos de producción deben ser realizadas de acuerdo con las instrucciones que el obrero recibe, por parte de su superior, para posteriormente ser medidas y determinar la productividad de las operaciones. De manera similar, la técnica curricular propuesta por Tyler, se fundamenta "en la formulación de objetivos curriculares muy precisos y en la comprobación de la consecución o no de los mismos" (Alcaraz, 2015, p. 14).

La administración científica de Taylor y el modelo curricular de Tyler guardan afinidad en tanto son sistemas basados en objetivos, que emplean un lenguaje común fundamentado en la eficiencia, con el propósito de lograr cambios en la conducta de los obreros y de los alumnos. Privilegian la planificación, la estandarización, la instrucción, el control y la comparación. Tanto el modelo de administración industrial de Taylor como el educativo de Tyler generan momentos disruptivos, pues ocasionan rupturas profundas en la administración industrial y en la educación, respectivamente. Superan las prácticas de la administración de iniciativa e incentivo y la medición de destrezas escolares por medio del testing, que se venía empleando hasta las primeras décadas del siglo XX, y se expanden rápidamente por los Estados Unidos y desde allí a un importante número de países incluyendo Colombia.

TAYLORIZACIÓN DE LA EDUCACIÓN

La administración científica asumida como ciencia del trabajo influye notablemente en la educación norteamericana en la segunda década del siglo XX, a juzgar por las publicaciones de la National Society for the Study of Education, durante

1915, 1916 y 1918, en las que se plasmaron métodos, normas y pruebas, derivadas de la propuesta taylorista, para medir la eficiencia de maestros, escuelas y productos. Tal como afirma Antanas Mockus, "taylorizar la educación presupone que la educación quede incluida dentro de la esfera de lo taylorizable, es decir, que sea asimilable a una actividad de fabricación" (Mockus, 1983, p. 84). El sentido de la educación se reduce, por tanto, a su utilidad social, pues busca producir sujetos que se requieren para el fortalecimiento del creciente sistema capitalista estadounidense.

Las autoridades académicas, en quienes se concentra el poder del proceso educativo, realizan una rigurosa planificación para conseguir los objetivos que se enfocan en la modificación de la conducta de los alumnos, siguiendo los principios de eficiencia y eficacia que rigen la actividad empresarial. Los profesores y ejecutores, carentes de autonomía, son garantes del estricto cumplimiento de la planificación y consecuentemente de los resultados, con un rol similar al de los supervisores y sobrestantes³ de la organización científica del trabajo. La implementación de los principios de la administración científica en la educación origina una "reorganización minuciosa del proceso educativo y abarca desde la instrucción programada hasta el diseño instruccional" (Mockus, 1983, p. 4), lo que se constituye en un *modelo de tecnificación de la educación* que, rápidamente, se propaga por los Estados Unidos y de allí a los países latinoamericanos.

Para el caso particular de Colombia, la incorporación de la administración científica de Taylor en el currículo universitario se ubica, entre 1911 y 1912, en la Escuela Nacional de Minas en la ciudad de Medellín. Las ideas tayloristas son difundidas en las asociaciones de ingenieros, a las que tienen acceso algunos colombianos que las implementan en la formación de los ingenieros antioqueños, a través de una cátedra denominada Economía Industrial en la que se estudia el sistema de salarios de Taylor (Mayor, 1990). Por cerca de cuatro décadas, la Escuela de Minas de Medellín lidera la enseñanza del pensamiento administrativo como parte de los estudios que debían cursar los ingenieros.

La enseñanza de la administración científica es soportada, en sus inicios, en las escuelas de ingeniería, pues tal como afirma Pérez (2009) "las facultades de

3. Supervisores de mayor nivel

ingeniería fueron las abanderadas de los iniciales estudios de administración que se consideraron de gran importancia para fortalecer los profesionales de la ingeniería" (p. 56). No obstante, esta situación no se da en la Facultad de Matemáticas e Ingeniería de la Universidad Nacional debido a su enfoque en altos estudios matemáticos, por lo que la formación en administración para los estudiantes de ingeniería de la capital del país es relegada al Instituto Técnico Central, considerado para ese entonces como una institución de segundo orden.

Para 1918, en Argentina, el pedagogo José Rezzano asume como Inspector Técnico General para la gestión de las escuelas primarias en Buenos Aires. Desde este cargo, Rezzano emprende una reforma educativa, influenciada por el trabajo de Jhon Franklin Bobbitt titulado *The elimination of waste in education*, que implementa en la capital porteña y difunde a través de la revista *La Obra*. Para Rezzano, en un buen sistema de trabajo se debe eliminar el desperdicio de energía y materiales, al incorporar la ciencia y prescindir del empirismo (Frechtel, 2021), enfoque que guarda estrecha correspondencia con la propuesta de Taylor sobre la organización racional del trabajo para las empresas industriales. Para Rezzano:

La nueva organización del trabajo escolar descansa en estos dos grandes principios: 1. La eliminación de las prácticas y procedimientos que importan un desperdicio de fuerzas y energías y, por ende, de valores. 2. La ordenación sistemática del trabajo mediante la definición precisa de las funciones de cada uno de los órganos y la correlación e integración de las mismas con un criterio de cooperación común (Rezzano, 1921, p. 435).

No obstante, esta taylorización de la educación no se da en el vacío, sino con la concurrencia de una serie de circunstancias históricas que propician su éxito. Siguiendo a Mockus (1983), el taylorismo encuentra, en las instituciones militares estadounidenses, condiciones ideales para su implementación. La concentración del poder, así como su carácter totalitario, facilita la impartición de órdenes de cumplimiento perentorio que favorecen ampliamente la eficiencia en la fabricación de armamento y el entrenamiento en las instituciones militares.

Tal como plantea el español Martínez de Campos (1949); "el resultado concreto de la intensa compenetración entre la máquina y el hombre es que la potencia destructiva de la fuerza se ha elevado enormemente" (p. 27). El taylorismo probado

inicialmente con éxito en los arsenales de la Marina estadounidense demuestra su potencial, durante la Segunda Guerra Mundial, en actividades de reclutamiento, entrenamiento, fabricación de armas y municiones, abastecimiento y tácticas de combate que requieren máxima precisión y eficiencia.

Al terminar la Segunda Guerra Mundial, el éxito del ejército estadounidense desencadena el nacionalismo norteamericano. El trinomio Estado-Fuerzas Armadas-Investigación Científica y Tecnológica, tal como lo expresa Mockus (1983), ocupa un lugar importante en esa revitalizada identidad nacional; la gran América. Los éxitos de la administración científica y su aplicación tecnológica con fines militares se trasladan a la industria. Se desata un culto a lo que se considera científico (cientificismo), a la implementación irracional del método de la ciencia positiva en todos los modos de producción.

El Taylorismo, probado con éxito en el entrenamiento militar, es implantado masivamente en la educación de los civiles y encuentra, en la psicología conductista, un aliado indiscutible para su legitimación; "el mundo está más poblado que nunca, y la mayor parte de sus habilidades necesitan instrucción. Con solo edificar más escuelas y formar un mayor número de educadores, es imposible satisfacer tal demanda. "La instrucción, la educación, debe hacerse más eficaz" (Skinner, 1970, p. 21). La eficacia de la educación, a la que se refiere Skinner, está soportada en la organización racional del trabajo industrial. En razón de esto, Álvarez-Uría y Varela (1991) sostienen: "será fundamentalmente en América, patria del taylorismo y del conductismo, donde el trasvase entre la organización científica del trabajo y la organización de los sistemas educativos funcione a pleno rendimiento" (p. 266).

LA EXPORTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EDUCATIVA

Luego de la Segunda Guerra Mundial, la consolidación de los Estados Unidos como la más grande economía del mundo llevó al país del norte a convertirse en un exportador de la tecnología educativa a los países, denominados, por aquel entonces, del tercer mundo o subdesarrollados. Las misiones económicas que se realizan en los países latinoamericanos, entre los que se incluye Colombia, sirven a este propósito. Tal como lo registran Acevedo-Tarazona y Lizcano-Herrera (2021): en 1955, durante la II Reunión de ministros de educación en Lima (Perú), nuestro país es presentado como uno de los primeros estados latinoamericanos en planificar su

desarrollo y se destaca su avance en la proyección educativa, producto de la primera misión del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (posteriormente Banco Mundial) a una economía en desarrollo⁴.

Dicha misión se origina en el establecimiento de garantías para un empréstito solicitado por Colombia, por la suma de US\$78 millones, para obras de reconstrucción necesarias a raíz de la situación nacional desatada con el denominado Bogotazo (Arévalo, 1997). Esta misión, dirigida por el economista canadiense Lauchlin Currie y efectuada durante el segundo semestre de 1949, sirve de modelo para ejercicios similares en otros países latinoamericanos. Los resultados de la Misión Currie revelan la necesidad de modernizar los obsoletos sistemas productivos y formar individuos con capacidades para afrontar el proceso de transferencia tecnológica.

La forma de hacerlo, sentencia el Banco Mundial, es invertir en educación orientada al trabajo racionalizado. Por tanto, "será prioritario empezar a vincular la educación técnica con la industria" (Acevedo-Tarazona y Lizcano-Herrera, 2021, p. 255). Para difundir este propósito se realizan eventos como The Educational Technology Conference organizada por la American Management Association en Nueva York en 1965. A su vez, los países latinoamericanos implementan diversos mecanismos como la creación del Centro Nacional de Tecnología Educativa (CENTE) en Argentina, como sede del proyecto Multinacional de Tecnología por convenio entre el Ministerio de Educación y la Organización de los Estados Americanos (OEA).

El CENTE inició en 1969 la impartición de cursos multinacionales sobre diseño instruccional y evaluación, con la participación de 11 becarios de nueve países: Argentina, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Chile, Honduras, Nicaragua, Perú y Venezuela (CENTE, 1975). Posteriormente, los becarios continúan sus *actividades de perfeccionamiento* en la Universidad Federal de Pernambuco en Brasil, el Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas en Santiago de Chile y en el Instituto Nacional de Radio y Televisión (INRAVISION) en Colombia. Finalmente, regresan a sus países de origen con el propósito de contribuir con la celeridad en la implementación de la tecnología educativa en los sistemas educativos latinoamericanos.

4. Término empleado por Currie en el informe de 1950 titulado Bases de un programa de fomento para Colombia.

La tecnología educativa es bien recibida en varios países de la región y encuentra valiosos precursores. En México, por ejemplo, Emilio Uranga en 1971 promueve la idea de que la educación debe organizarse de manera eficiente de tal manera que se adapte a las demandas sociales y económicas de la época. Aunque su enfoque principal no se centra exclusivamente en la tecnología educativa, sus ideas sobre la sistematización y la eficiencia de la educación reflejan principios tayloristas. Posteriormente, al iniciar la década de 1990, José Antonio Arnaz contribuye notablemente con la implementación de la tecnología educativa en México y la sistematización de los procesos de enseñanza. Para Arnaz, la educación es un proceso científico que busca resolver problemas a través la planificación y la evaluación sistemática de los resultados.

DISCUSIONES

El modelo taylorista implementado durante las primeras décadas del siglo XX, en las empresas industriales estadounidenses, apalanca su éxito en la división del trabajo y la estandarización de los procesos para lograr alta eficiencia en las operaciones productivas. La especialización del trabajador en actividades específicas minimiza la posibilidad del error, reduce considerablemente los tiempos productivos y, consecuentemente, el costo del producto. La división del trabajo contribuye notablemente al entrenamiento de los trabajadores, así como a la consistencia en la calidad de los productos al garantizar el cumplimiento de los estándares establecidos.

Sin embargo, este modelo productivo ha sido objeto de férreas críticas debido a desventajas significativas como la deshumanización de los trabajadores, al reducirlos a simples engranajes de la maquinaria productiva. En este sistema, las personas son tratadas como identidades intercambiables sin reconocimiento individual. La rigidez del control exhaustivo a los procesos altamente estandarizados limita la respuesta a los cambios y la adaptación de las empresas al mercado. La especialización extrema genera la percepción de un trabajo repetitivo y carente de significado que reduce la satisfacción del trabajador y disminuye la calidad de vida laboral.

Lo anterior, corresponde con el planteamiento del profesor Mockus: "El estudio de tiempos y movimientos implica claramente una visión del hombre como máquina

mecánica estudiada físicamente." "Como tal pretende llevarse al estado de máxima eficiencia" (Mockus, 1983, p. 61). Por supuesto, Mockus no desconoce la importancia del taylorismo para el fortalecimiento del capitalismo norteamericano de inicios del siglo XX, pues la llamada segunda revolución industrial, enmarcada en una *locura* por la eficiencia, logró como propósitos fundamentales; productividad y expansionismo.

Por otra parte, aunque el enfoque original del taylorismo se centra en la industria, sus principios se han aplicado a diversas áreas entre las que se encuentra la educación, concediendo razón a lo que anticipara Taylor (1912) en el sentido que la organización racional del trabajo puede implementarse en cualquier actividad humana. Tal como expresa Monteiro; "taylorismo y fordismo acabaron, en la práctica, por funcionar como grandes principios orientadores de modales o corrientes de organización y administración de empresas y, por esa vía, penetraron fuertemente en los sistemas de educación media y superior" (Monteiro, 1996, p. 36).

La estandarización de los métodos de enseñanza y evaluación han significado mayor coherencia en la calidad educativa al asegurar que los estudiantes reciban un nivel similar de instrucción. Las instituciones educativas han optimizado recursos como el tiempo de los docentes y el uso de materiales, implementando controles más rigurosos para la medición del rendimiento y haciendo la administración más eficiente. La formación basada en procesos altamente estandarizados prepara a los estudiantes para un entorno laboral en el que se privilegia la productividad y la eficiencia.

No obstante, de manera similar como sucede en los procesos industriales, la implementación del taylorismo en la educación ocasiona una despersonalización, de sus principales actores, en la que priman las estadísticas y los rankings. Los estudiantes son vistos como cifras en lugar de personas con necesidades y talentos. A su vez, los profesores se conciben como operadores de un sistema estandarizado y específicamente diseñado para garantizar la modificación de la conducta de los alumnos de acuerdo con las necesidades del mercado. Así, aspectos formativos esenciales como la creatividad y el pensamiento crítico son sofocados por la tecnología educativa.

De acuerdo con lo anterior, la escuela y la industria son dos sistemas con marcadas similitudes pues, tal como plantea el académico norteamericano Philip Hall Coombs; la educación se concibe como "un conjunto de factores intrínsecos que están sujetos a un proceso destinado a conseguir una determinada producción, que se propone satisfacer los objetivos del sistema" (Coombs, 1985, p. 19). La cercanía entre los sistemas universitario y productivo se ha visto favorecida "como resultado de que ambos sistemas manejan un lenguaje común: flexibilidad, calidad, competitividad, resultados, productividad" (Malagón, 2003, p. 116).

Otro factor que propicia la cercanía entre estos sistemas y genera una relación de reciprocidad, como se expresa en el título de este capítulo, corresponde al conocimiento; pues la universidad funciona para generar conocimiento que es la base de los sistemas productivos, tal como lo afirmara Taylor en su conferencia de 1911. Esta relación se ha nutrido además del proceso de globalización de la educación en tanto "la Universidad sustituye el concepto humboldtiano de "Formación" ('Bildung') por el de instrucción, llevando a formatear y funcionalizar sus cuadros con el "nuevo" tipo de competencias y disponibilidades exigidas por el mercado" (Bianchetti, 2016, p. 13).

Por otra parte, pese al agotamiento del sistema de producción en serie que ha venido siendo superado progresivamente por modelos de producción industrial flexible, muchas de las características del modelo taylorista se conservan en la educación:

La uniformidad del programa de estudios para los alumnos de un mismo nivel educativo, la metodología dirigida a la enseñanza colectiva, los agrupamientos rígidos de los alumnos, el aislamiento del profesor, la escasez de recursos materiales de aprendizaje, la uniformidad del diseño espacial, la uniformidad de los horarios, los controles discontinuos, la disciplina formal, la dirección unipersonal y las insuficientes relaciones con la comunidad (Goudemar et al., 2006, pp. 3-4).

Pese a las problemáticas derivadas de la tecnología educativa en nuestro tiempo, según Goudemar et al. (2006), la permanencia de este modelo obedece a que está regido por una normatividad uniforme que favorece su aplicación, en las instituciones educativas, mediante una legislación común. Además, corresponde

a una organización estable, sin modificaciones relevantes y económicamente rentable desde el punto de vista de la eficiencia de la administración educativa. Tal vez como ha sucedido con el sistema de producción en serie, la tecnología educativa puede ser ampliamente superada por modelos como el e-learning.

El chileno Salazar (2010) plantea que el modelo taylorista aplicado a la educación, en su versión industrial de inicios del siglo XX o en su versión mercantil de las últimas décadas, ha sido insuficiente para generar verdaderas transformaciones requeridas por el país austral. Afirma que Chile no ha logrado construirse como país industrial, ni como Estado democrático-participativo, ni ha logrado una sociedad igualitaria, así como tampoco una cultura nacional de autoeducación y desarrollo, pues "la mayoría de los expertos tratan el problema educativo como si fuera un problema técnico que afecta a todos los países del mundo" (Salazar, 2010, p. 6), reduciéndolo a un asunto de estándares y rendimientos comparables enmarcados en la competitividad.

En Colombia, por ejemplo, como señalan las profesoras Agudelo y Aristizábal, la educación orientada a la eficiencia, derivada de la política curricular estadounidense, llegó para quedarse: "durante cerca de cincuenta años de vida educativa, en Colombia nos hemos movido en torno a objetivos, logros, indicadores de logros, estándares, estándares de competencia, derechos básicos de aprendizaje y resultados de aprendizaje" (Aristizábal y Agudelo, 2021, p. 262). En el ámbito de la educación superior, esta orientación eficientista ha sido favorecida por normas y procedimientos de obligatorio cumplimiento expedidas por el Ministerio de Educación Nacional como resultado de la creación del Sistema Nacional de Acreditación mediante la Ley 30 de 1992, que actualmente está en proceso de reforma.

En esta misma línea las argentinas Perilli, Garatte y Todone afirman que, con la entrada en vigencia de la Ley Federal de Educación en 1993, "se ve nuevamente acentuada la visión economicista de la educación que impone el mercado, colocando al sujeto en formación en el lugar del recurso humano que esa área necesita" (Perilli et al., 2020, p. 11). Aunque esta Ley fue derogada en 2006, las autoras plantean continuidad entre el pensamiento tecnicista ligado al taylorismo, las orientaciones-imposiciones de los Estados Unidos para los países latinoamericanos mediante la Alianza para el Progreso y la incorporación de las políticas neoliberales a inicios

de la década de 1990, lo que ha marcado el desarrollo del sistema educativo en Argentina.

A su vez, los peruanos Flores-Manghiert y Espinal (2022) afirman: "hoy seguimos aplicando el conductismo, pero este no es el eje principal, sino que se complementa con otras ciencias de la educación" (p. 129). En esta visión contemporánea de la educación, reconocen la complementariedad del conductismo con otras disciplinas y enfatizan en la importancia de la filosofía de la educación para fomentar el pensamiento crítico y servir de marco para el análisis y la reflexión en torno a las prácticas educativas. También resaltan la necesidad de considerar el proceso histórico y las influencias del contexto económico, político y social en la transformación de la realidad educativa.

CONCLUSIONES

A diferencia de algunos autores como Álvarez-Uría y Varela (1991), y Monteiro (1996) quienes sostienen que el taylorismo influyó directamente en el desarrollo de los sistemas educativos, el análisis histórico crítico refleja que la relación entre taylorismo y educación superior fue recíproca, ya que el sistema universitario adoptó los principios de la organización científica del trabajo que, a su vez, contribuyeron notablemente con la formación de profesionales para la industria. En este sentido, la educación se nutre del sistema taylorista para mejorar su eficiencia, a la vez que produce sujetos que se requieren para el desarrollo industrial.

La taylorización de la educación representa un esfuerzo por aplicar principios de eficiencia y productividad en el ámbito educativo, reflejando una tendencia más amplia hacia la industrialización de los procesos de enseñanza. A medida que la educación evoluciona, es fundamental encontrar un equilibrio entre la eficiencia y la calidad, asegurando que los estudiantes no solo adquieran habilidades y competencias para integrarse al mercado laboral, sino que también desarrollen habilidades críticas y creativas que les permitirán enfrentar los desafíos del mundo contemporáneo.

La denominada tecnología educativa ha promovido la formación de individuos con habilidades específicas que respondan a las demandas del mercado laboral, alineando la educación con las necesidades de la industria. Sin embargo,

históricamente ha sido objeto de constantes críticas por su tendencia a deshumanizar el proceso educativo, limitando la creatividad y la capacidad crítica de los estudiantes al enfocarse en la eficiencia y la productividad. Asimismo, este sistema genera que los docentes deban adaptarse a métodos de enseñanza más estructurados y orientados a resultados, lo que puede ir en detrimento de su autonomía y estilo pedagógico.

Sin embargo, la taylorización de la educación originada en las políticas curriculares de Estados Unidos no ha sido un fenómeno pasajero, sino una tendencia con fuerte presencia histórica en los sistemas educativos latinoamericanos. Pese a la importancia que se le concede a los estándares y los rankings bajo el enfoque de la competitividad que permea los sistemas y las instituciones, se requiere continuar avanzando hacia una educación más holística y multidimensional, que considere diferentes aspectos del aprendizaje y el desarrollo humano, sin desconocer el contexto social, económico e histórico propio de nuestros países.

REFERENCIAS

- Acevedo-Tarazona, Á. y Lizcano-Herrera, D. L. (2021). Misiones económicas en Colombia y su incidencia en la educación técnica industrial (1930-1960). *Revista CS*, 34, 241–264. <https://doi.org/10.18046/recs.i34.4193>
- Alcaraz Salarirche, N. (2015). Aproximación histórica a la evaluación educativa: De la generación de la medición a la generación ecléctica. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 8(1), 11–25. <https://revistas.uam.es/riee/article/view/2973>
- Álvarez-Uría, F. y Varela, J. (1991). *Arqueología de la escuela*. Ediciones de La Piqueta. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=168944>
- Arévalo Hernández, D. (1997). Misiones económicas internacionales en Colombia 1930-1960. *Historia Crítica*, 1(14), 7–24. <https://doi.org/10.7440/histcrit14.1997.01>
- Aristizábal, M. y Agudelo Cely, N. (2021). Otra vuelta de tuerca... A propósito de los resultados de aprendizaje: ¿Otros caminos son posibles? *Revista Historia de la Educación Latinoamericana*, 23(36). 255-270 <https://www.redalyc.org/journal/869/86969306013/>
- Bianchetti, L. (2016). *El proceso de Bolonia y la globalización de la educación superior: Antecedentes, implementación y repercusiones en el quehacer de los trabajadores de la educación*. CLACSO; Mercado de Letras. <https://biblioteca-repositorio.clacso.edu.ar/bitstream/CLACSO/16502/1/ElProcesoDeBolonia.pdf>
- Centro Nacional de Tecnología Educativa (CENTE). (1975). *Boletín informativo del CENTE*. Dirección Nacional de Investigación, Experimentación y Perfeccionamiento Educativo, Ministerio de Educación y Cultura.
- Coombs, P. H. (1985). *La crisis mundial de la educación: Perspectivas actuales*. Santillana S. A.

Díaz-Barriga, Á. (2003). Currículum: Tensiones conceptuales y prácticas. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 5(2), 1-13 <https://www.scielo.org.mx/pdf/redie/v5n2/v5n2a5.pdf>

Durkheim, É. (2001). *Las reglas del método sociológico*. Fondo de Cultura Económica. https://acms.es/wp-content/uploads/2018/11/durkheim_emile_-_las_reglas_del_metodo_sociologico_0.pdf

Durkheim, É. (1999). *Educación y sociología*. Ediciones Península.

Ferry, G. (1997). *Pedagogía de la formación*. Ediciones Novedades Educativas; Universidad de Buenos Aires. <https://www.noveduc.com/productos/pedagogia-de-la-formacion/?srsId=AfmBOopxspqN8ZFei3Rsz2Ju5YhmV8cBzdxCTVSTO0sl8-AEbqjPIpJx>

Ferry, G. (1993). Acerca del concepto de formación en *Novedades Educativas* (Cap. 1). Eds. FFL-UBA. https://isfd147-bue.infod.edu.ar/aula/archivos/repositorio/0/241/ferrygilles_acerca_del_concepto_de_formacion_2.pdf

Ferry, G. (1990). *El trayecto de la formación: Los enseñantes entre la teoría y la práctica*. Editorial Paidós. <https://repositorio.iberopuebla.mx/bitstream/handle/20.500.11777/5445/10.22.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Flores Manghiert, R., & Espinal, J. (2022). La Pedagogía Tecnista Fundamentos y Concepciones. *Revista EDUCA UMCH*, (20), 117-132. <https://doi.org/10.35756/educaumch.202220.23>

Frechtel, I. (2021). Una apropiación del taylorismo en la pedagogía argentina: Las ideas y las propuestas de José Rezzano para organizar la escuela primaria. *RELAPAE*, 14, 65-76. <https://revistas.untref.edu.ar/index.php/relapae/article/view/1021>

García-Garduño, J. M. (2019). El modelo tyleriano del currículum y el papel de los objetivos conductuales: ¿Tyler fue realmente conductista? *Revista Historia de la Educación Colombiana*, 22(22), 167-177. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rhec/article/view/4929>

García-Garduño, J. M. (1995). Los pioneros de la teoría curricular (segunda parte): La consolidación de la teoría curricular en los Estados Unidos (1912-1949). *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México)*, XXV(2), 57-81. https://www.cee.edu.mx/rlee/revista/r1991_2000/r_texto/t_1995_2_03.pdf

Goudemar Pérez, J., García Fernández, P., Rodríguez González, E. M., y De la Torre Domingo, C. (2006). Modelos educativos: Del taylorismo al e-learning. *Saberes, Revista de estudios jurídicos, económicos y sociales*, 4, 1-13. <https://revistas.uax.es/index.php/saberes/article/view/786>

Honoré, B. (1980). *Para una teoría de la formación*. Editorial Narcea. <https://es.scribd.com/doc/162108398/Honore-Para-una-teoria-de-la-formacion>

Lesne, M. (1984). *Lire les pratiques de formation d'adultes*. Edilig. <https://www.librairie-grangier.com/livre/1362204-lire-les-pratiques-de-formation-d-adultes-essa--marcel-lesne-edilig>

Llerena, O. (2015). El proceso de formación profesional desde el punto de vista complejo e histórico-cultural. *Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación*, 15(3), 1-23. <https://www.redalyc.org/pdf/447/44741347028.pdf>

Malagón Plata, L. A. (2003). La pertinencia en la educación superior: Elementos para su comprensión. *Revista de la Educación Superior*, 32(127), julio-septiembre. http://publicaciones.anui.es.mx/pdfs/revista/Revista127_S4A1ES.pdf

Malagón Plata, L. A., Rodríguez Rodríguez, L. H. y Nández Rodríguez, J. J. (2019). *El currículo: Fundamentos teóricos y prácticos*. Sello Editorial de la Universidad del Tolima. <https://repository.ut.edu.co/entities/publication/6e832bbc-5969-43aa-89c1-247ad3f8b249>

Martínez de Campos, C. (1949). La máquina y el hombre. *Revista de Estudios Políticos*, 47, 11-43.

- Mayor Mora, A. (1990). La profesionalización de la administración de empresas en Colombia en R. D. Echeverry, A. Chanlat, y C. Dávila (Eds.), *En búsqueda de una administración para América Latina. Experiencias y desafíos* (pp. 97–109). Editorial Oveja Negra. <https://biblioteca.unimeta.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8607>
- Mockus, A. (1983). *Tecnología educativa y taylorización de la educación*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Matemáticas y Física. <https://biblioteca.usco.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=16832>
- Monteiro Leite, E. (1996). *El recate de la calificación. Herramientas para la transformación N.º 1*. Cinterfor/OIT. https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/leite.pdf
- Pérez Gómez, C. H. (2009). *Antecedentes de la formación en administración en Colombia*. Editorial Universidad del Rosario. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/d99cb7ee-7347-4116-90c1-e648c6a8a74b/content>
- Perilli, V. C., Garatte, M. L., & Todone, V. (2020). *Teorías pedagógicas: Las perspectivas fundantes (Parte II)*. Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de <https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/109525/Documentocomple-to.pdf-PDFA.pdf?sequence=1>
- Posada Álvarez, R. (2007). *Currículo y aprendizaje en la formación superior fundamentados en competencias*. Universidad de Los Llanos. https://acreditacion.unillanos.edu.co/CapDocentes/contenidos/3_jornada_pedagogica/formacion_encompetencias_curso.pdf
- Quiceno Castrillón, H. (2002). Educación y formación profesional. *Cuadernos de Administración*, 18(28), 87–98. https://cuadernosdeadministracion.univalle.edu.co/index.php/cuadernos_de_administracion/article/view/132
- Ramírez Bacca, R. (2010). Introducción teórica y práctica a la investigación histórica. Guía para historiar las ciencias sociales. Facultad de Ciencias Humanas y Económicas, Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/19972>

- Rezzano, J. (1921). La organización del trabajo escolar de acuerdo con nuevos principios. *Humanidades*, 1, 427–436. http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.1447/pr.1447.pdf
- Sacristán, J. G. (1990). *La pedagogía por objetivos: Obsesión por la eficiencia* (6ª ed.). Ediciones Morata S. A. https://www.terras.edu.ar/biblioteca/11/11DID_Gimeno_Sacristan_1_Unidad_2.pdf
- Salazar, G. (2010). Bicentenario en Chile: balance histórico, tareas pendientes y autoeducación ciudadana. En Docencia. Año XV No. 40. Pp. 4-11. <https://revistadocencia.cl/sitio/ediciones-anteriores/>
- Skinner, B. F. (1970). *Tecnología de la enseñanza*. Editorial Herder. https://conductitlan.org.mx/02_bfskinner/skinner/3.%20b_f_skinner_tecnologia_de_la_ensenanza.pdf
- Taylor, F. W. (1968). *Principios de la administración científica*. Ediciones Herrero Hermanos, Sucs. S. A.
- Taylor, F. W. (1912). Disertación presentada en la Primera Conferencia sobre Administración Científica, The Amos Tuck School, Dartmouth College en *Scientific management* (pp. 22–55). Dartmouth College.
- Tyler, R. W. (1973). *Principios básicos del currículo*. Editorial Troquel S. A. https://www.terras.edu.ar/biblioteca/1/CRRM_Tyler_Unidad_1.pdf
- Villegas, L. A. (2008). Formación: apuntes para su comprensión en la docencia universitaria. *Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 12(3), 1–14. Universidad de Granada. <https://www.redalyc.org/pdf/567/56712875013.pdf>

Desafíos para la Policía Nacional ante las Emergentes Amenazas a la Protección de Personas en Colombia

Álvaro Gómez Peña

Magister en Docencia e Investigación Universitaria. Mando del Nivel Ejecutivo

Mail: ciclope991@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5400-6692>

Filiación Institucional: Policía Nacional de Colombia

Camilo Andrés Galindo Gallego

Magister en Didáctica Digital. Oficial Superior.

Mail: changomil451@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1897-3260?lang=es>

Filiación Institucional: Policía Nacional de Colombia

Nancy Eliana Corredor Pinzón

Magister en Pedagogía y Desarrollo Humano. Profesional en Psicología

Mail: psiconancyacademico@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9580-8392>

Filiación Institucional: Policía Nacional de Colombia

Este capítulo hace parte de los resultados del proyecto de investigación "Retos a desarrollar por parte de la Policía Nacional, ante las nuevas amenazas a la seguridad y protección personal en Colombia", del Grupo de Investigación Escuela de Policía en Protección y Seguridad (ESPRO), perteneciente a la Institución Universitaria Dirección de Educación Policial

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Gómez Peña, Á., Galindo Gallego, C. A., & Corredor Pinzón, N. E. (2024). Desafíos para la policía nacional ante las emergentes amenazas a la protección de personas en Colombia en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 274-310). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

Con el fin de aumentar la efectividad en la prevención y control por parte de la Policía Nacional en la protección de la seguridad personal y de las instalaciones, en respuesta a las nuevas amenazas que se enfrentan en este ámbito, se plantea un estudio descriptivo que permite contribuir al servicio policial y mejorar la percepción de la ciudadanía sobre la seguridad. Se desarrolla por medio de la técnica de entrevista semiestructurada el acercamiento al enfoque temático de las vulnerabilidades que conllevan el avance tecnológico y los cambios en las actuaciones delincuenciales; abordando personal de las 52 seccionales de protección de la Dirección de Protección y Servicios Especiales (DIPRO). Por otra parte, se realiza el análisis documental de la experiencia obtenida en el marco del "Congreso Internacional sobre Incidentes y Buenas Prácticas en Protección de Personas e Instalaciones", experiencia organizada por la DIPRO y la Escuela de Policía en Protección y Servicios Especiales (ESPRO); cuyo objetivo fue consolidar la experiencia de los mecanismos de cooperación internacional policial AMERIPOL, INTERPOL y EUROPOL, organismos de seguridad estatal, académicos expertos en protección y seguridad, misiones diplomáticas y organismos multilaterales; con el fin de diseñar líneas comunes de cooperación que permitan incrementar las capacidades académicas y operacionales de quienes ejercen actividades en protección de personas e instalaciones. Dentro del actual contexto del país, una de las conclusiones que se encuentran son los riesgos asociados a la ciberseguridad que mantienen su relevancia y se convierten en un factor de atención institucional, siendo un desafío para la Policía Nacional, en su misión de prestar protección integral a los derechos de seguridad personal e intimidad de los beneficiarios del programa de protección. Es así, que se deben fortalecer las habilidades y destrezas necesarias en los funcionarios, para abordar de manera oportuna los efectos de los ciberataques y demás amenazas latentes. El estudio realizado contribuye al desarrollo de un marco analítico innovador para identificar y mitigar las nuevas amenazas globales que afectan los programas de protección a personas e instalaciones; principalmente, permitiendo tomar decisiones más informadas y efectivas para preservar la vida, libertad e integridad de las personas que hacen parte del programa de protección a cargo de la Policía Nacional; respondiendo así a un desafío cada vez más complejo y dinámico, convirtiéndose en una referencia para futuras investigaciones.

Palabras Clave: Protección de la seguridad personal, servicio de policía, nuevas amenazas, ciberseguridad, programa de protección.

CHALLENGES FOR THE NATIONAL POLICE IN THE FACE OF EMERGING THREATS TO THE PROTECTION OF PERSONS IN COLOMBIA

ABSTRACT

To increase the effectiveness of prevention strategies and police control in the protection of personal safety and facilities, in response to the new threats faced in this area, a descriptive study is proposed to contribute to the police service and improve citizen perception of security. A semi-structured interview technique is used to approach the thematic focus of the vulnerabilities brought about by technological progress and changes in criminal actions, approaching personnel from the 52 protection sections of the Directorate of Protection and Special Services (DIPRO). On the other hand, a documentary analysis of the experience obtained in the framework of the "International Congress on Incidents and Good Practices in the Protection of People and Facilities", organized by the DIPRO and the School of Police in Protection and Special Services (ESPRO); whose objective was to consolidate the experience of the international police cooperation mechanisms AMERIPOL, INTERPOL and EUROPOL, state security agencies, academic experts in protection and security, diplomatic missions and multilateral organizations; in order to design common lines of cooperation to increase the academic and operational capabilities of those involved in the protection of persons and facilities. One of the main conclusions in the current context, are the risks associated with cybersecurity that remain relevant and become a factor of institutional attention, being a challenge for the National Police, in its mission to provide comprehensive protection to the rights of personal safety and privacy of the beneficiaries of the protection program. Thus, the necessary skills and abilities of the officers must be strengthened to address in a timely manner the effects of cyber-attacks and other latent threats. The study contributes to the development of an innovative analytical framework to identify and mitigate the new global threats that affect the protection programs to people and facilities; mainly, allowing to make more informed and effective decisions to preserve the life, liberty and integrity of the people who are part of the protection program in charge of the National Police; thus, responding to an increasingly complex and dynamic challenge, becoming a reference for future research.

Keywords: Personal Security Protection, Police Service, New Threats, Cybersecurity, Protection Program.

INTRODUCCIÓN

Considerando las nuevas amenazas emergentes a nivel mundial que representan riesgos para las personas bajo protección de la Policía Nacional de Colombia y su seguridad, resulta imperativo explorar las medidas adicionales que la Dirección de Protección y Servicios Especiales debe implementar, con el fin de mitigar los peligros asociados con las nuevas formas delictivas que han surgido en el entorno actual y que se han manifestado recientemente. Por consiguiente, es crucial identificar y proponer estrategias que amplíen los entornos de seguridad para aquellos individuos que son beneficiarios del programa de protección institucional, como lo determina el Decreto 1066 del 2015 en su Artículo 2.4.1.2.5 donde especifica: "situación de riesgo extraordinario o extremo o debido al cargo" (Función Pública, 2015). Por lo tanto, se refiere a líderes políticos y sociales, dirigentes de partidos políticos en oposición, activistas de derechos humanos, sindicalistas, líderes étnicos, etc. Testigos y víctimas, personas que han sido testigos de violaciones a los derechos humanos, víctimas de estas violaciones, y aquellos que reclaman tierras en situaciones de riesgo. Profesionales como periodistas, comunicadores y forenses involucrados en casos de derechos humanos. Dirigentes desmovilizados que suscribieron acuerdos de paz. Servidores públicos, funcionarios encargados de implementar políticas de derechos humanos y paz, entre otros, en virtud de su situación de riesgo (Función Pública, 2015).

Por otra parte, como lo menciona el Artículo 2.4.1.2.7 del mismo Decreto 1066, menciona a las personas que reciben protección en virtud del cargo que desempeñan, como son:

1. Presidente de la República de Colombia y su núcleo familiar.
2. Vicepresidente de la República de Colombia y su núcleo familiar.
3. Ministros del Despacho.
4. Fiscal general de la Nación.
5. Procurador General de la Nación.
6. Contralor General de la República.
7. Defensor del Pueblo en el orden nacional.
8. Senadores de la República y Representantes a la Cámara.
9. Gobernadores de Departamentos.

10. Magistrados de la Corte Constitucional; Corte Suprema de Justicia; Consejo de Estado; Consejo Superior de la Judicatura; Consejo Nacional Electoral; Magistrados del Tribunal para la Paz; ella Directoria de la Unidad de Investigación y Acusación de la JEP; y el/la directoria de la Unidad de Búsqueda de Personas dadas por Desaparecidas en el contexto y en razón del conflicto armado (Función Pública, 2015).

Este programa de protección, al ser ejecutado por la Institución, debe garantizar los derechos fundamentales, tales como la vida, la libertad, la integridad y la reputación de los protegidos. De este modo, las acciones a ser implementadas deben priorizar la protección de estos derechos en todo momento.

Las amenazas a la seguridad y protección personal de los protegidos, en el pasado se limitaba a su atención desde los esquemas de protección, utilizando la técnica de establecimiento de espacios seguros rodeados por un perímetro de seguridad, desde donde se pudiese controlar el acceso y garantizar la protección; y la utilización de la técnica de anillos concéntricos de seguridad alrededor del protegido, con diferentes niveles de restricción y control de acceso, para evitar amenazas y garantizar su protección; pero en la actualidad este tipo de esquemas dejan de lado múltiples amenazas y situaciones que no habían sido consideradas en tiempos anteriores.

En los últimos años, la humanidad ha presenciado un progreso tecnológico sin igual y una disminución en los precios de adquisición de esta tecnología. Este fenómeno ha generado un progreso significativo en ciertos sectores de la población, pero también ha brindado oportunidades para que se cometan actos delictivos por actores violentos. Los ciberdelincuentes han perfeccionado sus técnicas, haciendo uso de redes maliciosas, programas y diversas herramientas cibernéticas para no solo amenazar la seguridad personal de las personas, sino también vulnerar su derecho a la privacidad. Esta situación pone en riesgo la protección de la vida privada, la imagen y el desarrollo personal de las personas, impactando de manera negativa en sus familias.

Bajo este contexto, la evolución de las amenazas a la seguridad y protección personal ha sido significativa, estas amenazas han evolucionado en respuesta a los adelantos de la tecnología y los cambios en la forma en que se trabaja y se vive; es así como, las amenazas digitales se han vuelto cada vez más sofisticadas, y

con el aumento del trabajo en línea, ha surgido una forma de amenaza para la seguridad personal; en tanto la seguridad física, que incluye el control de acceso, la protección, la ingeniería social y la implementación de políticas de seguridad física, se ha visto impactada por las diversas formas de posibles amenazas; como son las armas químicas y el envenenamiento; implicando la ampliación de las medidas de protección a nivel de ciberseguridad, seguridad física y de las instalaciones.

Este estudio fusiona perspectivas teóricas y conceptos en torno a la seguridad personal y la prevención del delito, explorando la noción de seguridad humana a través de sus tres enfoques de libertad. Se adapta esta idea al contexto actual para proponer políticas de seguridad acordes a las circunstancias presentes. De igual forma, se analiza cómo los principios de la perspectiva de elección racional se entrelazan con nuevas oportunidades delictivas generadas por el uso de tecnologías. Se profundiza en la relación entre el entorno y el individuo como factores determinantes en la comisión de un delito, destacando que el comprender y examinar el entorno puede convertirse en una herramienta informativa para prevenir y contener la actividad delictiva, en pro de la seguridad preventiva. Finalmente, se vincula la teorización del triángulo del fraude con conceptos de motivación y capacidad para evaluar el nivel de amenaza que la estructura pentagonal representa para los individuos protegidos en relación con los delitos cibernéticos. En este ámbito, se exponen las nuevas formas de delito transnacional, su tendencia y su impacto en la seguridad y protección personal en Colombia, así como los desafíos que enfrentan los esquemas de protección y la Policía Nacional de Colombia ante estas modernas amenazas.

Durante este estudio, se concibió como objetivo principal, desarrollar acciones que permitan el mejoramiento de la seguridad de personas en Colombia, por parte de la Dirección de Protección y Servicios Especiales, ante las nuevas amenazas contra la integridad de los protegidos. De acuerdo a lo anterior, se desarrollan los objetivos específicos, identificando cuáles son las nuevas amenazas susceptibles de materializarse en Colombia contra la seguridad de los protegidos; posteriormente se caracterizan las medidas actuales de protección que se han implementado frente a las nuevas amenazas y los hechos internacionales relacionados, para finalmente, diseñar acciones doctrinales y las metodologías necesarias, en colaboración con las instancias autorizadas, para enfrentar las nuevas amenazas y métodos delictivos contra la seguridad personal.

Estas responsabilidades están fundamentadas en los numerales 1 y 4 del artículo 16 del Decreto 00113 de 2022, el cual reorganiza la estructura del Ministerio de Defensa Nacional y establece las directrices para la gestión y ejecución de funciones asignadas a la Policía Nacional en materia de prevención y protección (Función Pública, 2022). En este contexto, el objetivo es orientar, asesorar y desarrollar el programa de prevención y protección para las personas bajo la responsabilidad de la Policía Nacional, en conformidad con el marco normativo vigente.

Además, estas funciones se alinean con el artículo 15 de la Constitución, que reconoce el derecho de toda persona a la intimidad personal y familiar, imponiendo al Estado la obligación de respetar y garantizar este derecho. En este sentido, la Corte Constitucional ha enfatizado que la protección de la intimidad abarca múltiples aspectos de la vida del individuo, incluyendo la salvaguarda de la proyección de su imagen personal y la preservación de espacios privados donde realiza actividades que le conciernen exclusivamente (Corte Constitucional de Colombia, 1991).

MARCO REFERENCIAL

Los marcos de referencia fueron abordados desde la seguridad personal, el servicio de policía, herramientas tecnológicas, riesgos y amenazas cibernéticas, entre otras que han sido empleadas los últimos años.

De acuerdo con el informe del Ministerio del Interior y la Policía Nacional (Ministerio del Interior - Policía Nacional, 2020), la noción de seguridad ha experimentado una transformación hacia un enfoque más centrado en las personas. Este enfoque ya no se limita únicamente a la protección del territorio, sino que abarca la salvaguarda de los derechos y libertades individuales de todos los ciudadanos. En vista de la constante evolución de las amenazas a la seguridad y protección personal, la Policía Nacional de Colombia se enfrenta a un desafío crucial: ajustar sus estrategias y tácticas para asegurar la paz y tranquilidad de los ciudadanos que requieren protección.

MARCO TEÓRICO

El principio de dignidad humana es la piedra angular del desarrollo de los derechos contenidos en “la Declaración Universal de los Derechos Humanos, la Declaración Americana de los Derechos y Deberes del Hombre, la Convención Americana sobre Derechos Humanos y el Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos”, que versan en sus nociones sobre el derecho a la vida, a la libertad y a la seguridad de las personas, premisas que en el marco de la función de prevención general del derecho, el ordenamiento jurídico Colombiano ha tutelado como bien jurídico fundamental, supranacional e inviolable. De allí que, como sustento al contrato social de Jacques Rousseau, la Constitución Política de Colombia faculta a los ciudadanos para exigir del Estado, la protección y garantía de sus derechos y libertades públicas (Corte Constitucional de Colombia, 1991). En ese orden de ideas, el estudio de los retos que enfrenta la Policía Nacional de Colombia, ante las nuevas amenazas a la seguridad y protección personal, sugiere un abordaje de las diferentes teorías de pensamiento y conceptualizaciones claves en materia de seguridad y prevención del delito.

Agozino (2013) señala que el término “seguridad” en español tiene su origen etimológico en la palabra latina “securitas”, derivada de “securus” de “secura”, formada por “sine” (que significa sin) y “cura” (cuidado, ansiedad, esfuerzo, preocupación). Desde la época del Imperio Romano, se adoptó la expresión “securitas” para describir la estabilidad de una persona o de un Estado, implicando estar libre de preocupaciones. En términos etimológicos, esto significaría estar exento de cuidados. Esta concepción de seguridad está estrechamente ligada a la percepción de confianza y a la ausencia de riesgo de sufrir algún daño. Sin embargo, existen varios enfoques conceptuales en relación con la seguridad, siendo destacados entre ellos la seguridad democrática, ciudadana, personal y humana.

Una aproximación para definir seguridad consiste en la acción de garantizar la protección de los derechos y libertades constitucionales y legales de las personas en el territorio nacional, lo cual representa una perspectiva conceptual más afín a la seguridad ciudadana que se caracteriza por ser un servicio público de carácter general que busca garantizar los derechos de todos los habitantes de un territorio (Sánchez, 2021).

No obstante, también se reconoce el concepto de seguridad personal y/o especial, que tiene un carácter público particularizado y se dirige a garantizar los derechos de personas que enfrentan un nivel de riesgo extraordinario y extremo. Esta tesis está respaldada por la Corte Constitucional Colombiana en la sentencia T-719 de 2003, donde se establece que la seguridad personal es un derecho que permite a las personas recibir una protección adecuada por parte de las autoridades cuando se enfrentan a riesgos excepcionales que no están obligadas a tolerar, ya que superan los niveles aceptables de peligro inherentes a la vida en sociedad (Corte Constitucional de Colombia, 1991).

En este sentido, el derecho a la seguridad se manifiesta como un principio de igualdad ante las cargas públicas, cumpliendo con los propósitos fundamentales asignados a las autoridades por el Constituyente, y garantizando la protección de los derechos fundamentales de los individuos más vulnerables, discriminados y perseguidos (Corte Constitucional, 2003).

TEORÍAS SOPORTE PARA LA SEGURIDAD Y PROTECCIÓN PERSONAL

La seguridad personal se ha convertido en una preocupación primordial en el mundo contemporáneo. Para abordar esta problemática de manera efectiva, es fundamental comprender las dinámicas subyacentes a la conducta delictiva. Se exploran diversas teorías criminológicas que permiten analizar las razones por las que las personas cometen delitos, desde la perspectiva tanto individual como social. Se inicia con la teoría de la elección racional, la cual postula que los delincuentes toman decisiones calculadas al cometer un delito, evaluando los costos y beneficios potenciales. Se continúa profundizando el concepto de patrón delictivo, que permite identificar patrones recurrentes en la comisión de delitos y a comprender cómo se relacionan con el entorno físico y social. Finalizando con el modelo del pentágono del fraude, una herramienta útil para identificar los factores que facilitan la comisión de fraudes.

Es importante destacar que, más allá de estos enfoques individuales, la seguridad personal debe entenderse en el marco más amplio de la seguridad humana. Esta perspectiva integral reconoce que la seguridad no se limita a la ausencia de violencia, sino que implica también la protección de los derechos humanos, el acceso a oportunidades y el bienestar general de las personas.

Al comprender las motivaciones detrás de los delitos y al adoptar una visión holística de la seguridad, se pueden desarrollar estrategias más efectivas para la protección de las personas a cargo de la Policía Nacional en calidad de protegidos frente a las nuevas amenazas.

TEORÍA DE LA SEGURIDAD HUMANA

El concepto de seguridad humana se incorpora en la agenda de las Naciones Unidas con la publicación del Informe sobre Desarrollo Humano del PNUD en 1994. Este enfoque representaba un nuevo paradigma que implicaba un cambio desde la seguridad convencional, enfocada en el Estado, hacia la seguridad en la vida diaria y la protección primordial de las personas frente a amenazas como enfermedades, carencias alimentarias, desempleo, crimen, conflictos sociales, represión política y riesgos ambientales (Instituto de Interamericano de Derechos Humanos [IIDH], 2010).

La revisión de la literatura acerca de la Teoría de la Seguridad Humana destaca, tal como lo señala la Asamblea General de las Naciones Unidas (2012) en la resolución 66/290, documento de la cumbre mundial del 2005; la importancia de una concepción centrada en el ser humano. Este enfoque se define como una herramienta que asiste a los Estados en la identificación y superación de desafíos generalizados e intersectoriales que impactan en la supervivencia, la subsistencia y la dignidad de sus ciudadanos. Por lo tanto, "la seguridad humana engloba el derecho de las personas a vivir con dignidad, libertad e igualdad de oportunidades de disfrute de todos sus derechos y a desarrollar plenamente su potencial humano" (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2012). Los gobiernos continúan teniendo la función y la responsabilidad primordial de garantizar la supervivencia, los medios de subsistencia y la dignidad de sus ciudadanos. Por su parte, la comunidad internacional tiene la tarea de complementar las acciones gubernamentales y brindar apoyo cuando sea requerido, para reforzar su capacidad de hacer frente a las amenazas presentes y emergentes. La seguridad humana requiere una mayor cooperación y colaboración entre los gobiernos, las organizaciones internacionales y regionales, así como la sociedad civil (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2012).

De acuerdo con la Comisión sobre Seguridad Humana (CSH); que fue sugerida por

el Gobierno del Japón en el 2001, como efecto de la Cumbre del Milenio; la seguridad humana "consiste en libertad para vivir: sin miedo, sin miseria o necesidad y con dignidad" (IIDH, 2012, p. 20) y propone estos 3 enfoques para su aplicación:

Libertad para vivir sin miedo

Está vinculada con la supervivencia y la paz, y se refiere a la protección de las personas frente a amenazas directas a su seguridad e integridad física. Esto abarca diversas formas de violencia, tanto provenientes de Estados extranjeros, como de la acción del propio Estado contra sus ciudadanos, de grupos entre sí, y de individuos contra otros individuos.

Libertad para vivir sin miseria

Está enfocada en los medios de vida y la protección necesaria para que las personas puedan satisfacer sus necesidades básicas, abarcando aspectos económicos, sociales y ambientales relacionados con su sustento y bienestar.

Libertad para vivir con dignidad

Hace referencia a la igualdad y la equidad, y está centrada en la protección y el empoderamiento de las personas para liberarlas de la violencia, la discriminación y la exclusión. En este sentido, la seguridad humana no solo implica la ausencia de violencia, sino que también reconoce la existencia de otras amenazas que afectan la supervivencia, los medios de vida y la dignidad de las personas, como el abuso físico, la inseguridad alimentaria, el desempleo, las violaciones a los derechos humanos, entre otras (IIDH, 2012, p. 20).

Esta teoría de la seguridad humana busca convertirse en un elemento fundamental dentro del ámbito del servicio público de Policía en Colombia. Como se establece en el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 donde el Congreso de la República de Colombia, incorpora la seguridad humana como un cambio significativo en la política social, con el propósito de reducir los riesgos para la protección de la vida, integrando aspectos de seguridad jurídica, económica y social de manera institucional. Se introducen también cambios estructurales en la protección social basados en la justicia y en el respeto de los derechos y libertades fundamentales.

Este enfoque considera la seguridad como la defensa integral de los territorios, comunidades y poblaciones, con el objetivo de crear las condiciones que alivien la privación y fomenten el desarrollo de competencias en términos de diversidad y pluralidad (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2022).

Como señala Rodríguez (2005), la seguridad humana se presenta como “una herramienta valiosa no solo para establecer alianzas temporales orientadas a la acción política, sino también para cuestionar las políticas de seguridad actuales y proponer alternativas más adecuadas” (Rodríguez, 2005, p. 2). El tema de la seguridad humana se enfrenta a una serie de desafíos complejos en la actualidad, que reflejan la interconexión de problemas a nivel global y local. Algunos de los principales desafíos son los conflictos armados y el terrorismo, que representan una violencia generalizada, poniendo en peligro la seguridad y el bienestar de las personas, desplazando a millones de individuos y afectando sus derechos fundamentales. También se debe considerar la migración y los refugiados. El aumento de movimientos migratorios forzados debido a conflictos, persecuciones, desastres naturales y condiciones socioeconómicas precarias plantea desafíos en términos de protección de derechos y bienestar de las personas desplazadas.

Por otra parte, está el tema de la ciberseguridad, incluidos los ataques informáticos, el robo de datos y la manipulación de información, plantea desafíos para la seguridad de las personas en un mundo cada vez más interconectado digitalmente. Este tema evidencia también la brecha digital y el acceso desigual a la tecnología, que pueden exacerbar las desigualdades y dificultar la participación equitativa en la sociedad digitalizada actual (Rodríguez, 2005).

Abordar estos desafíos requieren enfoques integrales, cooperación internacional efectiva, políticas inclusivas y sostenibles, así como un compromiso renovado con la protección de los derechos humanos y la dignidad de todas las personas.

TEORÍA DE LA PERSPECTIVA DE LA ELECCIÓN RACIONAL

Las nuevas amenazas a la seguridad y protección personal pueden abordarse desde la teoría de la elección racional, la cual integra diversos elementos y es clave para el análisis de las conductas criminales y los actos que transgreden la moral social, las normas y las leyes. Los delitos se cometen de distintas maneras, y en

cada caso el objetivo del perpetrador puede variar, conforme a su lógica criminal. En este sentido, examinar estas nuevas amenazas y comportamientos que atentan contra los bienes jurídicos protegidos permite obtener información valiosa para mejorar la protección de la vida, la libertad y la integridad de las personas incluidas en el programa de protección que gestiona la Policía Nacional en Colombia.

La teoría de la elección racional en Criminología, de acuerdo con Felson & Clarke (2008), busca entender el mundo desde la perspectiva del infractor. Su objetivo es analizar cómo el delincuente toma decisiones criminales, influenciadas por un motivo específico y en un contexto que le proporciona oportunidades para cumplir dicho propósito. Esta teoría presenta al delincuente como alguien que, aunque brevemente, reflexiona antes de actuar, considerando algunos de los beneficios y costos asociados al delito. Sin embargo, el infractor suele enfocarse principalmente en los resultados más inmediatos y evidentes, dejando de lado las consecuencias más distantes, tanto del crimen como de su evitación (Felson & Clarke, 2008).

Es evidente que el criminal actúa impulsado por motivos que lo apasionan y lo conducen a la comisión de actos delictivos. No se trata únicamente de una búsqueda de beneficios económicos, sino de satisfacer una necesidad infractora o criminal, y en algunos casos, de infligir daño a personas, grupos o comunidades. Esta teoría refuerza la idea de que muchos delincuentes en Colombia no cometen delitos exclusivamente por un objetivo lucrativo o tras la expectativa de impunidad, sino porque encuentran en estos actos una fuente de satisfacción personal, que incluso se transforma en una necesidad emocional.

Las oportunidades juegan un papel crucial en la comisión de cualquier delito, ya que el momento adecuado surge cuando ciertas condiciones o circunstancias lo permiten, ya sea a través de una motivación premeditada o por impulsos circunstanciales, como mencionan Felson & Clarke (2008): “Como es sabido por todos los policías, la oportunidad juega un papel hasta en el delito de asesinato más cuidadosamente planificado y profundamente motivado. No existe ninguna clase de delito donde la oportunidad no cumpla su papel” (p. 207).

Al centrar la atención en la identificación de nuevas amenazas, se hace relevante el papel que desempeña el esquema de protección para mitigar estos riesgos. No permitir que estas oportunidades se materialicen puede garantizar, en gran medida,

la seguridad del protegido, ya sea frente a riesgos convencionales o a aquellos que podrían surgir en el futuro. Sin embargo, en ocasiones, la oportunidad de actuar no dependerá directamente de la víctima, sino de factores externos a su control. De igual forma, considerar cómo una vez se intenta cometer un delito surge la oportunidad de involucrarse en otros delitos.

De igual manera, uno de los aspectos más relevantes y acorde al estudio e identificación de nuevas amenazas en relación con esquemas de protección, se puede evidenciar en los cambios sociales y tecnológicos que producen nuevas oportunidades delictivas, ya que el entorno social sin lugar a duda sigue siendo el principal generador del riesgo, también será el principal suministro de material y/u oportunidad para la comisión de ataques.

TEORÍA DEL PATRÓN DELICTIVO

La teoría formulada por Brantingham & Brantingham (1991), conocida también como "geometría del delito", se enmarca en las teorías de la oportunidad que emergieron en las décadas de los setenta y ochenta, desarrollándose a partir de la "criminología ambiental". Esta teoría se basa en tres premisas fundamentales:

- Los comportamientos delictivos están influenciados por los espacios en los que ocurren, ya que dichos espacios juegan un papel crucial en el inicio y la consumación del delito.
- La realización de delitos en un entorno físico no es aleatoria; se observa que los delitos tienden a concentrarse en lugares específicos u "hot spots", así como en momentos determinados, que ofrecen mayores oportunidades para que el infractor lleve a cabo el acto delictivo de manera efectiva.
- La coincidencia entre el infractor, su víctima, una norma que se infringe y el espacio para que ocurra, es una premisa que lleva a la comprensión y el análisis del papel que desempeñan los lugares se constituyen en un factor clave para el desarrollo de herramientas que ofrezcan información a las fuerzas policiales o entidades administrativas, con el fin de prevenir y contener la actividad delictiva en las ciudades (Ponce, 2022).

Es así como, las teorías de la oportunidad se basan en la interacción entre el sujeto y el ambiente, teniendo presente que el último asume un rol importante de oportunidad hacia la comisión del delito, a su vez, en ellas se afirma que las conductas delictivas se presentan cuando coinciden tres escenarios: un delincuente predispuesto, una víctima propicia y ausencia de control; como resultado, se considera que el ataque o disminución directa de oportunidades focalizadas, puede resultar en una alta reducción de hechos delictivos (Di Angellis da Silva Alves, 2021).

La teoría del patrón delictivo concibe al delincuente como un actor racional que toma decisiones basadas en el análisis del entorno. Sus actividades rutinarias y motivaciones personales, combinadas con las características del lugar, influyen en la selección de objetivos y en la elección de las tácticas delictivas, estableciendo zonas, horas y tipos de delitos con mayor oportunidad en el espacio (Delgadillo et al., 2022).

Sí bien, el tipo de actos delictivos determinan la cercanía de estas acciones al hogar de los delincuentes, la presente teoría afirma que estos actores suelen ejecutar estos actos en cercanías de su vecindario, puesto que se identificó que casi la mitad de estas acciones, suceden a menos de un kilómetro del hogar del delincuente. Es la interacción del sujeto con el ambiente, así como el mismo accionar delictivo, que le permitirá conocer las posibilidades existentes en la zona, de modo que esté se irá adaptando a estas condiciones (Navarro, 2020).

TEORÍA DEL PENTÁGONO DEL FRAUDE

A partir de la teoría del triángulo del fraude, se puede entender la del pentágono. Menciona Hernandez et al. (2018) que el triángulo se compone de tres elementos que son la oportunidad, la presión y la racionalización. De allí entonces se da paso al pentágono del fraude que agregaría la motivación y la capacidad como componentes primordiales del fraude.

De tal manera que: la motivación representa la causa principal que impulsa a un individuo a cometer fraude. La presión, en segundo lugar, surge al perseguir intereses personales y particulares, ya sea para satisfacer necesidades económicas o emocionales. La racionalización se refiere a las justificaciones o creencias que una persona emplea para explicar su comportamiento, tanto a sí misma como a

los demás. La capacidad implica que el individuo ya cuenta con las habilidades, conocimientos y destrezas necesarias para llevar a cabo el fraude de manera competente. Por último, la oportunidad surge cuando diversas circunstancias del entorno crean un escenario propicio que coloca a las personas en el momento oportuno para cometer el fraude (Hernandez et al., 2018).

De acuerdo con esta teoría se abordan dos tipos principales de delitos relacionados con el uso de tecnología:

1. Delitos informáticos

Se incluyen acciones como el acceso no autorizado a sistemas informáticos, la suplantación de sitios web para obtener datos personales, el uso indebido de esos datos y la transferencia no autorizada de activos. Estos delitos pueden impactar a personas que cuentan con medidas especiales de seguridad y protección.

2. Delitos convencionales

Se llevan a cabo mediante medios informáticos, como la estafa, extorsión, amenazas, injuria y calumnia, son los que más afectan a personas con medidas de protección, ya que suelen ser figuras públicas o personas expuestas al escrutinio público. Estas personas se convierten en víctimas de este tipo de delitos cibernéticos, lo que hace necesario implementar mecanismos de protección. Es esencial que quienes cuentan con medidas especiales comprendan las vulnerabilidades del ciberespacio y tomen medidas para mitigarlas (Acurio, 2016).

METODOLOGÍA

Se llevó a cabo un proceso de investigación de tipo cualitativo con enfoque descriptivo. La recolección de datos se realizó con el fin de adquirir conocimientos y opiniones de expertos referentes de las nuevas amenazas a la seguridad protectora ante las cuales la Dirección de Protección y Servicios Especiales (DIPRO), debe desarrollar acciones que permitan mitigar esos riesgos y vulnerabilidades que conllevan el avance tecnológico y cambio en el modo de actuar de los delincuentes que en asocio con el crimen transnacional y las economías ilícitas, actúan para la consecución de sus objetivos criminales.

Para la poblacional se tuvo en cuenta la DIPRO, las 52 seccionales de protección, 34 departamentos y 18 metropolitanas de policía, la muestra fue seleccionada de manera aleatoria, garantizando así la representatividad de la población en estudio, se contó con 20 expertos con al menos 5 años de experiencia en la seguridad y protección de personas. A través de las entrevistas semiestructuradas de duración variable, se realiza la recolección de datos. Este diseño muestral permitió obtener una visión amplia y diversa de las perspectivas sobre las amenazas a la protección de personas. Los datos obtenidos fueron analizados mediante la codificación y categorización, por medio del software ATLAS.ti, que permitió identificar tres categorías principales: amenazas a la seguridad de personas, experiencias en otros países y estrategias doctrinales y metodológicas. Este enfoque permitió identificar patrones, temas recurrentes y construir una narrativa coherente a partir de las voces de los participantes.

Por otra parte, se realizó la revisión documental y el análisis de la información adquirida durante el “Congreso Internacional sobre Incidentes y Buenas Prácticas en Protección de Personas e Instalaciones”, evento realizado por parte de la DIPRO, en asocio con la Escuela de Policía en Protección y Servicios Especiales, (ESPRO), cuyo objetivo fue consolidar la experiencia de los mecanismos de cooperación internacional policial AMERIPOL, INTERPOL y EUROPOL, organismos de seguridad estatal, académicos expertos en protección y seguridad, misiones diplomáticas y organismos multilaterales en materia de protección de personas y seguridad física de instalaciones, para el diseño de líneas comunes de cooperación que permitan incrementar las capacidades académicas y operaciones de quienes ejercen actividades en protección de personas e instalaciones. Mediante el software Atlas.ti, se realizó el análisis de la información, obteniendo datos relevantes para plantear los retos a desarrollar por parte de la Policía Nacional, ante las nuevas amenazas a la seguridad y protección personal en Colombia.

RESULTADOS

En el desarrollo de este estudio, se identificaron las nuevas amenazas para la seguridad, situación que obliga a mejorar las estrategias que permitan afrontarlas, especialmente en el campo de la protección a personas que requieren por sus características el servicio de la Policía Nacional. Esto implica el fortalecimiento de la capacidad de respuesta de los sistemas de seguridad. Este enfoque proactivo

permitirá optimizar la protección de las personas y sus bienes, lo que repercute en la buena imagen del servicio de policía, entre los principales aspectos encontrados están la implementación de la innovación tecnológica, el enfoque en la seguridad humana, la prevención directa de la violencia y la integración de normas internacionales de derechos humanos y derecho humanitario, acompañado del trabajo de apoyo internacional.

RETOS EN LA UTILIZACIÓN DE DRONES FRENTE A LA SEGURIDAD DE PROTECCIÓN A PERSONAS

En la evolución de la sociedad, ha jugado un papel importante el desarrollo de la tecnología, permitiendo interacciones más directas con herramientas que facilitan la vida cotidiana y generan condiciones de bienestar que antes parecían inalcanzables. Sin embargo, esta abundancia de información y avances tecnológicos también ha llevado a un desarrollo paralelo de las mentes criminales, quienes han encontrado nuevas formas de operar en el ámbito del delito. Esto pone de manifiesto cómo el ingenio humano, cuando se orienta de manera negativa, puede desvirtuar grandes innovaciones. Un ejemplo claro de esto es el uso de drones, que en la última década se han convertido en dispositivos tecnológicos versátiles. Su capacidad para transportar elementos cortopunzantes, armas letales, así como agentes biológicos y químicos, los convierte en herramientas que pueden potencialmente intensificar los riesgos asociados a las nuevas amenazas.

Los drones, conocidos técnicamente como vehículos aéreos no tripulados, los cuales pueden operarse de forma remota o la programación mediante software y GPS permitiéndoles operar de forma autónoma; puede apoyarse en la Inteligencia Artificial y tomar decisiones con respecto al entorno y la misión para la cual se ha diseñado (idc.apddrones.com, s.f.). Existen discrepancias frente a la posición dentro del marco del Derecho Internacional de los Derechos Humanos (DIDHH) y el Derecho Internacional Humanitario (DIH), en relación con el uso de drones, especialmente en conflictos armados convencionales y asimétricos; Gómez (2015) señala que los drones no están prohibidos por el DIH debido a que no son armas indiscriminadas. No obstante, su empleo en el contexto de un conflicto armado debe respetar siempre los principios de distinción, proporcionalidad, necesidad militar y humanidad. Esto es particularmente relevante, ya que actualmente más de setenta estados poseen o están desarrollando drones para tareas de operaciones militares.

Además, se evidencian que grupos armados no estatales, como organizaciones criminales y terroristas, también han adquirido estos dispositivos para actividades como el contrabando, tráfico de drogas y ataques con explosivos (Gómez, 2015).

Por su parte, la amenaza que supone el uso de drones comerciales con fines terroristas, explicada por Marín (2018), reseña atentados perpetrados por grupos no estatales desde 1994 al 2018, donde el pionero fue la secta japonesa Aum Shinrikyo, actualmente Aleph, que en junio de 1994 intentó dispersar agente nervioso sarín, por medio de un helicóptero controlado remotamente y equipado con un sistema de dispersión. De igual forma, organizaciones armadas ilegales como Lashkar-e-Toiba (Ejército de los Puros), Hezbolá, Hamás, Al Qaeda, el Estado Islámico y las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) han operado este tipo de artefactos.

Comprendiendo que el objetivo del terrorismo es infundir miedo, encuentran en los drones una herramienta eficaz para alcanzar sus propósitos, especialmente debido a su accesibilidad y capacidad bélica letal, se configura un riesgo significativo para la seguridad. Organizaciones terroristas como el Estado Islámico han utilizado estos dispositivos en misiones de ataque de forma exitosa, estableciendo un precedente y resaltando las vulnerabilidades actuales frente a esta amenaza. Como señala Haluani (2014), los actos de violencia terrorista ya no se planifican únicamente contra las fuerzas militares, sino también contra las autoridades locales y nacionales, que se convierten en objetivos designados de los extremistas islámicos.

Un estudio realizado por el "Combating Terrorism Center" (Rassler, 2016), reveló un listado de países en los cuales se habrían frustrado planes de ataques con drones, entre los cuales se encontraban: Siria, Irak, Irán, Palestina, Israel, Egipto, Alemania, España, Estados Unidos, Japón, Pakistán, Afganistán y Colombia. En cuanto a antecedentes históricos de atentados con drones, se documenta que en agosto de 2018, durante una ceremonia oficial, el presidente de Venezuela, Nicolás Maduro, fue víctima de un confuso supuesto ataque fallido con drones que resultó en siete personas heridas y que se adjudicó el llamado "Movimiento Nacional Soldados de Franelas"; sin embargo, Maduro señaló sin evidencias demostradas que fue una iniciativa del entonces presidente de Colombia, Juan Manuel Santos, quién rechazó esta acusación señalándola como "absurda y carente de fundamentos" (BBC.COM, 2018).

Se puede ampliar el impacto de los drones en acciones controversiales en el mundo como el caso del primer ministro iraquí Mustafa al-Kadhimi, quien, en 2021, sobrevivió a un atentado contra su integridad por medio de drones- bomba, en su residencia en Bagdad, hiriendo miembros de sus cuerpos de seguridad, sin que hubieran sido identificados los autores del hecho (BBC.COM, 2020).

Similar ejemplo el del General Qasem Soleimani, quien era el comandante de la Fuerza de Élite Al Quds de la Guardia Revolucionaria Iraní, que estaba a cargo de operaciones realizadas en el exterior, quien fue asesinado por las fuerzas armadas de Estados Unidos, a través de un ataque llevado a cabo con drones en el aeropuerto de Bagdad en Irak; de acuerdo con el Pentágono en Washington, el ataque fue ejecutado con misiles lanzados desde un dron MQ-9 Reaper. El dron lanzó dos misiles de alta precisión contra los dos vehículos del convoy poco después de que rebasaran una curva, cerca de una terminal de carga en la salida del aeropuerto. La cadena árabe Al Arabiya informó que se trató de dos misiles Hellfire R9X, también llamados "Ninja", un proyectil aire-tierra diseñado para destruir vehículos blindados desde helicópteros o aviones. La relatora de Naciones Unidas para ejecuciones extrajudiciales, Agnès Callamard, cuestionó la legalidad de la muerte del general iraní y de otras personas durante el ataque, bajo las leyes internacionales: "Las muertes selectivas de Qasem Soleimani y Abu Mahdi al Muhandis son ilegales y violan el derecho internacional humanitario: fuera del contexto de hostilidades activas, el uso de drones u otros medios para muertes selectivas casi nunca será legal", indicó en la aplicación X (BBC.COM, 2020).

En el contexto colombiano, en el año 2019, el Ejército Nacional reportó un mapa de avistamientos de drones a escala nacional cuyas principales áreas de influencia son las instalaciones militares, se registra la ubicación y posterior destrucción de dos drones comerciales que estaban cargados con explosivos con fines terroristas, lo que ocasionó que las unidades militares prestaran mayor atención al espacio aéreo, ya que al tratarse de una amenaza latente, se requiere de protocolos y medios técnicos que permitan enfrentarla (Buitrago, 2019). El principal factor que permite este tipo de incursiones es la facilidad de adquirir drones comerciales en el mercado, sin requisitos ni restricciones, frente a una amplia gama de posibilidades, funciones y precios; el hecho es que un dron en manos de terroristas puede emplearse para actividades como espionaje, movilizar explosivos o esparcir agentes químicos; sin delatar al autor de las acciones delictivas (Amaya & Fiol, 2018, como se citó en Hernández, 2021).

LAS ARMAS QUÍMICAS COMO AMENAZA A LA SEGURIDAD PERSONAL

De acuerdo a lo identificado en el uso de drones con intenciones de ocasionar daño a los objetivos determinados, se encuentra que uno de los factores vinculantes son las armas químicas de destrucción masiva (ADM) compuestos altamente tóxicos que pueden causar daño grave o muerte, compartiendo similitudes con armas biológicas y nucleares. La Real Sociedad Española de Química clasifica estas armas en letales y no letales, incluyendo agentes neurotóxicos, gases nerviosos, asfixiantes, sanguíneos, vesicantes, entre otros. A lo largo de la historia, estas armas han sido empleadas en contextos políticos, militares y sociales para debilitar adversarios, ganar poder y sembrar temor en la sociedad (Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons OPAQ, 2024).

De acuerdo con González y Hidalgo (2019), se han presentado tres casos concretos sobre el uso de las armas químicas en el mundo, donde se ven involucradas personas con altos cargos, uno de ellos es el asesinato del político Kim Jong Nam, hermano del dictador norcoreano Kim Jong-un; asesinado el 13 de febrero de 2017 en el aeropuerto de Kuala Lumpur, por dos mujeres quienes le untaron en la cara una sustancia química binaria denominada agente nervioso VX; con repercusiones políticas y afectaciones internacionales (p. 497).

En la Europa occidental, Rusia ha expuesto el acontecimiento del homicidio de un exagente ruso de nombre Sergei Skripal, quien fue atacado con un agente nervioso de la serie novishock conocido como A-234 el 4 de marzo de 2018, hallado junto a su hija en un banco de Salisbury en estado de inconsciencia por envenenamiento (González y Hidalgo, 2019, p. 500). Las armas químicas han ido tomando un auge en las milicias y en las guerras a lo largo del tiempo, donde se han utilizado este tipo de armas para causar daño a tropas y a la población civil.

Colombia no ha sido ajena a ataques con armas químicas, ya que estas han sido utilizadas en diversos casos de violencia contra las mujeres, especialmente; el caso de la abogada Natalia Ponce de León quien el 27 de marzo de 2014, fue atacada de forma irracional por un vecino obsesionado con ella, con agente químico sulfúrico, causándole la pérdida de la visión y desfiguración de su rostro; es uno de los ejemplos que ayudó a cambiar la penalidad de este delito con la ley promulgada en su nombre por el presidente Juan Manuel Santos, que determinó que quien

le cause daño a otro por medio de algún tipo de agente químico, será condenado entre 12 a 20 años de cárcel. Por su parte, la abogada se ha dedicado a liderar un movimiento de defensa de los cientos de víctimas que sufren ataques de este tipo, que hasta el 2016 se hablaba de más de 199 personas al año (BBC.COM, 2016).

Aunado a lo anterior, (Gaviria et al., 2015) afirma que, en Colombia desde el año 2010 hasta julio de 2013, se han presentado 62 casos de ataques a personas con armas químicas, con el fin de causar daño a su integridad o la muerte en consecuencia, en Colombia los ataques químicos cada año van en incremento y su posicionamiento como arma se afianza más, lo que nos constituye una grave amenaza para la seguridad protectiva.

ATAQUES MEDIANTE ENVENENAMIENTO

En el ámbito de la protección a personas con nivel de riesgo comprobado, una amenaza que se puede presentar es el envenenamiento de forma directa o indirecta; en el contexto nacional colombiano; el caso Odebrecht, uno de los casos más grandes de corrupción en América Latina en los últimos de 30 años, involucró la misteriosa muerte de Jorge Enrique Pizano, testigo clave para la investigación y su hijo Alejandro Pizano, quienes presuntamente habrían ingerido cianuro en una botella de agua saborizada que se hallaba en un escritorio en la finca de su padre ubicada en Subachoque – Cundinamarca y de la cual ingirió un sorbo. Aún no se precluye la investigación en el caso de la muerte de Alejandro, en medio de contradicciones y dudas que rodean los hechos, mientras que en el año 2022, la fiscalía archivó la investigación de la muerte de quien había sido auditor, controller de la concesión Ruta del Sol II, Jorge Enrique quien murió 3 días antes de su hijo (Angarita, 2024).

INMOLACIÓN O FANATISMO - AMENAZA A LA SEGURIDAD PERSONAL

La Real Academia Española (Real Academia Española [RAE], 2023), en su definición de la palabra inmolarse, menciona que proviene del latín “Inmolare” que significa una víctima, ofrecer en reconocimiento de la divinidad, dar la vida en honor a algo. Existen múltiples casos que se han presentado en el mundo, con fines terroristas, bien sea por fines políticos o religiosos, entre otros.

En 2004, en la ciudad de Leganés, Madrid, España, siete terroristas islamistas se

suicidaron al ser descubiertos por las fuerzas policiales. Según Reinares (2004) de la Universidad Rey Juan Carlos, los terroristas detonaron los explosivos que llevaban consigo, acabando con sus vidas dentro de un edificio. Además, el 11 de marzo de ese mismo año, este grupo terrorista causó la muerte de más de 200 personas mediante una serie de ataques cerca de estaciones de tren durante las horas de mayor afluencia. Este evento se convirtió en el atentado terrorista más letal ocurrido en España.

De esta misma forma, se han perpetuado atentados terroristas con las mismas características, donde el hecho de ser llevados a cabo por suicidas asegura el cumplimiento del objetivo, dejando de lado el afán por huir; cómo fue el caso de las torres gemelas en New York, los atentados en Jerusalén y medio oriente. Muchos de los antecedentes refieren un fanatismo religioso con fines terroristas, mezclados con ideales políticos, pensamiento heroico y hasta la creencia de la dignificación familiar propia de ciertas culturas y religiones.

En el caso de Colombia, la inmolación con fines terroristas se convirtió en una amenaza a partir de la materialización del ataque perpetrado por el Ejército de Liberación Nacional (ELN) contra las instalaciones de la Escuela de Policía General Santander en la ciudad de Bogotá, Alma Mater de oficiales en preparación de la institución. Hechos ocurridos el 17 de enero del 2019, donde fallecieron 22 personas a causa del estallido de un carro bomba que ingresó a las instalaciones, conducido por un integrante del ELN que militaba hace más de 25 años en sus filas, José Aldemar Rojas, de 56 años, quien murió en la explosión. Este hecho fue referenciado por el ELN como parte de una acción muy bien planificada en el marco de la lucha armada, que causó gran impacto. Este hecho se considera el primer ataque suicida dentro del conflicto armado que vive el país; convirtiéndose en una nueva amenaza. Este hecho fue relevante para terminar los llamados diálogos de paz adelantados por el gobierno del presidente Juan Manuel Santos y el ELN (Portafolio, 2019). Frente a los hechos ocurridos, las Naciones Unidas condenaron el ataque y fue llamado “un acto criminal absolutamente inaceptable” que representa una grave violación a los Derechos Humanos (UNICEF, 2019).

EL CRIMEN TRASNACIONAL COMO AMENAZA A LA SEGURIDAD PERSONAL

La delincuencia organizada transnacional impacta negativamente la productividad al comprometer directamente la seguridad. Este tipo de criminalidad abarca una amplia gama de conductas delictivas, lo que refleja los múltiples desafíos que el Estado colombiano ha enfrentado. Entre estos, se destaca el terrorismo, que ha sido parte de un prolongado conflicto armado interno de más de cincuenta años, así como la criminalidad organizada, estrechamente vinculada al terrorismo en Colombia. Además, surge el fenómeno del narcoterrorismo, con el cártel de Medellín como uno de los protagonistas, que han marcado el surgimiento de esta amenaza a la protección personal en Colombia, como menciona Torres-Vásquez (2013).

Menciona Giménez (2022), en el marco del Congreso Internacional sobre Incidentes y Buenas Prácticas en Protección de Personas e Instalaciones, que:

Las amenazas contemporáneas han evolucionado significativamente; el terrorismo y sus organizaciones tradicionales han cedido protagonismo a la delincuencia transnacional y al crimen organizado. La ideología y los fundamentos políticos que antes motivaban a los grupos terroristas han sido reemplazados por intereses económicos y estilos de vida asociados al lucro. En consecuencia, las estrategias de protección deben adaptarse para enfrentar estas nuevas formas de criminalidad que operan a escala global.

Lo anterior se refleja en los acontecimientos en el mundo donde aparecen colombianos como principales mercenarios o sicarios implicados en eventos, como lo refirió France 24, cadena mundial de información en el (2021): "Combaten en Yemen o Afganistán, vigilan oleoductos en Emiratos Árabes y hasta complotan en Haití. Curtidos en medio siglo de conflicto interno, militares colombianos en retiro y combatientes ilegales alimentan el mercado siniestro de los mercenarios en el mundo" (France24, s.f.). Se pone en evidencia un mercado transnacional, donde además se considera que con la amplia experiencia de combate y la delincuencia que se sirve del sicariato fomentada por el narcotráfico, los convierten en buenos postulantes que además se consideran "mano de obra barata" menciona Hernández investigador de fenómenos criminales de la Universidad de Illinois citado en France 24 (s.f.).

Esta modalidad criminal se encuentra también relacionada con los atentados a altos funcionarios y la desestabilización de los estados, como ocurrió con el presidente de Haití, Jovenel Moïse, con la implicación de exmilitares colombianos mercenarios pagados por Estados Unidos; lo que hace referencia a la teoría de privatización de la guerra, donde en el caso de Estados Unidos están sustituyendo tropas en el medio oriente por empresas de seguridad privada con menores costes a nivel político, legal en el marco del Derecho Internacional Humanitario y bajas propias; como lo menciona Hernández (France 24, s.f.).

Es importante contextualizar el concepto de mercenario en el marco del protocolo I del convenio de Ginebra de 1977, (ONU) en su sección II, sobre combatientes y prisioneros de guerra, artículo 47, que señala que un mercenario es toda persona local o extranjera reclutada, para participar directamente combatiendo en el conflicto armado, con la finalidad de obtener remuneración personal, y que no es nacional o residente del territorio en el cual ejerce esta actividad (Comité Internacional de la Cruz Roja [CICR], 2011).

El crimen transnacional afecta profundamente los diversos ámbitos culturales, sociales y geográficos, manifestándose en múltiples modalidades que han dado lugar a una economía ilegal estructurada. Esta economía clandestina amenaza la estabilidad global debido a su poder delictivo arraigado y a la infiltración de capitales ilícitos en negocios legítimos, un fenómeno conocido en Colombia como economía subterránea o lavado de activos. Estas actividades no solo erosionan la seguridad y el desarrollo económico, sino que también socavan la confianza en las instituciones y el orden social.

Queda un camino por recorrer para contrarrestar este fenómeno a nivel mundial, tanto en Colombia como el país de origen de la movilización de los mercenarios y sicarios, como los países destino donde llegan a desarrollar las actividades que afectan la seguridad de las personas. Estas acciones exigen un trabajo conjunto, especialmente de los 170 países, en la Convención de las Naciones Unidas contra la Delincuencia Organizada Transnacional, medidas que estableció la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC); con el fin de ayudar a localizar las ganancias mal habidas, producto del delito y así determinar las acciones para combatir dichas actividades delictivas y el lavado de dinero (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito [UNODC], 2004).

DELITOS CIBERNÉTICOS

Los ciberdelincuentes han perfeccionado sus técnicas utilizando redes maliciosas, programas y diversas ciberarmas, con el fin de comprometer no solo la seguridad personal de los individuos, sino también su derecho a la intimidad. Esta situación expone a las personas a la vulnerabilidad de sus vidas privadas, su imagen y, al mismo tiempo, afecta el libre desarrollo de su personalidad, impactando también a sus familias. Los cibercriminales, mediante sus ciberataques, no respetan fronteras, ya sean físicas o virtuales, causando daños significativos y representando una amenaza real para víctimas en todo el mundo (Peña, 2023).

Durante las últimas dos décadas, la globalización y el creciente uso de las tecnologías de la información han consolidado un entorno de hiperconectividad y ciberinformación. Es así como con la expansión del Internet de las Cosas (IoT), la interconectividad de sistemas con datos a gran escala (Big Data) y la inteligencia artificial, han generado una amplia gama de ventajas en diversos sectores, ocasionando también un aumento significativo de las amenazas y ataques cibernéticos hacia estos sistemas, aprovechando las vulnerabilidades existentes a través de actividades maliciosas o errores humanos no intencionales.

Estos ataques informáticos mencionados tienen el potencial de lograr impactos significativos con una infraestructura mínima en términos de recursos humanos y materiales necesarios para llevarlos a cabo, lo que constituye su mayor peligro (Obando, 2024). Este nuevo escenario ha favorecido la aparición y transformación de delitos como robos, secuestros, suplantación de identidad, y divulgación de documentos confidenciales sin autorización. Además, el acceso no autorizado a sistemas informáticos compromete tanto la reputación de las personas como la seguridad nacional, debido a las intenciones conspirativas de otros países.

Esta situación no es ajena al servicio de protección y seguridad, en donde su cliente principal "el protegido", se puede ver inmerso como víctima de este tipo de problemáticas, toda vez que desde décadas, los organismos de seguridad encargados de garantizar la seguridad de las personas en virtud del cargo o del riesgo, lograban mantener un alto grado de control y prevención de riesgos y amenazas; sin embargo, en el contexto actual, con todas las amenazas descritas,

no se puede evitar de manera significativa que enemigos externos puedan vulnerar la seguridad, por lo menos en el campo digital.

Con el aumento del uso de la tecnología en la vida diaria, la seguridad se ha convertido en una preocupación cada vez más importante para las personas, las empresas y los gobiernos; desde la primera aparición del internet se ha podido evidenciar múltiples vulnerabilidades en materia tecnológica, de la información que circula a través del internet, que puede ser de carácter personal, estatal y organizacional a nivel mundial, así mismo, que es muy valiosa, ya que puede ser utilizada en el ámbito criminal, (Peña, 2023). Es así como los ciberataques son una de las mayores amenazas para la seguridad protectiva en el mundo, los hackers pueden robar información sensible, manipular sistemas y causar daños irreparables en los sistemas informáticos de organizaciones, gobiernos y personas, los cuales pueden atentar contra su privacidad e imagen; pueden ser perpetrados por individuos, grupos de hackers, organizaciones criminales y hasta por estados. Los protegidos del programa de protección pueden ser objetivos de ataques cibernéticos, como robo de información personal o financiera, acoso en línea o suplantación de identidad. Los ciberdelincuentes generan ataques multivectoriales, donde se combinan diferentes tipos de soportes como correo electrónico, mensajes en blogs, redes sociales, wikis, voz, vídeo, audio, noticias falsas, etc. (Obando, 2024).

Uno de los elementos en la Policía Nacional y sobre todo la Dirección de Protección y Servicios Especiales, para mantenerse a la vanguardia de las tecnologías más recientes y mejorar la protección de las personas, es la tecnología ADINT (Inteligencia de Anuncios a través de Internet); que permite hacer un control y seguimiento detallado de los individuos a través de sus interacciones en la red. Con el desarrollo de medidas y contramedidas efectivas, es posible evitar que los ciberdelincuentes accedan a la información de identificación (ID) de los dispositivos móviles de personas protegidas. De esta forma, se puede prevenir que se descubran sus rutinas y movimientos, así como los esquemas de seguridad que los rodean. Si las personas protegidas cumplen con todas las medidas de seguridad, pero aquellos que forman parte de su equipo de seguridad dejan rastros o huellas en Internet, los atacantes podrían planificar atentados o ataques basados en esta información. Esto generaría una vulnerabilidad significativa y aumentaría los riesgos de las personas protegidas.

En Colombia, de acuerdo al artículo publicado por el Diario la República, los delitos cibernéticos incrementaron 600% a nivel global luego de la pandemia, según las cifras del Informe de Riesgos Globales 2022 del Foro Económico Mundial; mientras que en Colombia durante 2022 este delito aumentó 133% con respecto al año 2021; basta solo con observar el periodo enero y octubre del año 2022, cuando se reportaron 54.121 denuncias por ciberataques ante el Centro Cibernético de la Policía Nacional, entre los cuales se incluyen los hackeos de 10 importantes empresas, como las prestadoras de servicios de salud “Sanitas, Salud Total y Famisanar”, las Empresas Públicas de Medellín–EPM, Carvajal e inclusive la Fiscalía General de la Nación; no obstante, los ataques no pararon allí, en enero de 2023 se presentó el hackeo de la farmacéutica “Audifarma”, la cual tiene contratos con la mayoría de EPS Colombianas para el suministro de medicamentos (Vargas, 2023).

En la actualidad, la seguridad digital se ha vuelto fundamental debido a que los ciberataques dirigidos hacia individuos protegidos por el estado no solo implican el robo de cuentas o información confidencial, sino que también pueden exponer aspectos personales, distorsionar situaciones, difundir desinformación o incluso difamar a través de las redes sociales. Estas acciones pueden tener un impacto devastador, ya que pueden destruir la reputación y la calidad de vida de una persona, afectando no solo su imagen pública, sino también su bienestar emocional y social. Por lo tanto, la protección proactiva de la seguridad digital se vuelve crucial para salvaguardar la integridad y el bienestar de los individuos en un entorno cada vez más interconectado y vulnerable a este tipo de ataques.

DISCUSIONES

Los retos que se presentan ante las nuevas amenazas a la seguridad y protección personal en Colombia son cada vez más complejos y multifacéticos. A partir de la revisión bibliográfica realizada y la información recolectada durante el Congreso Internacional sobre Incidentes y Buenas Prácticas en Protección de Personas e Instalaciones; se evidencia cómo las tendencias internacionales en materia delincriminal y criminal están evolucionando, fortaleciendo sus técnicas, tácticas, recursos y objetivos. Este panorama obliga a una adaptación sustancial en las estrategias de protección personal, ya que las amenazas actuales no solo son más sofisticadas, sino que se desarrollan en un entorno globalizado, donde la tecnología y los nuevos métodos criminales juegan un papel preponderante.

Una de las conclusiones más relevantes de este análisis es la necesidad de adoptar una perspectiva holística y prospectiva para abordar las amenazas emergentes. El enfoque tradicional de la seguridad personal ya no es suficiente ante la creciente diversidad del modus operandi de los agresores. Las amenazas modernas incluyen, entre otras, el uso de drones con fines malintencionados, la colocación estratégica de explosivos, el envenenamiento como medio de ataque, el aumento de las actividades del crimen transnacional y, en algunos casos, el fanatismo ideológico como motivación para la comisión de delitos. Estas amenazas requieren estrategias más complejas, integradas y tecnológicamente avanzadas, que superen las respuestas convencionales.

Ante este panorama, se requiere una revisión integral de las estrategias actuales de protección personal en Colombia. Esto implica la adopción de tecnología avanzada, la formación especializada de los equipos de seguridad y la implementación de tácticas basadas en inteligencia y prevención proactiva. Asimismo, es crucial establecer una cooperación internacional más estrecha, dado que muchas de estas amenazas trascienden las fronteras nacionales. La capacidad de respuesta ante estos nuevos riesgos debe ser robusta, coordinada y, sobre todo, flexible para adaptarse a la naturaleza cambiante de las amenazas.

Se debe resaltar que la efectividad de los programas de protección de la Policía Nacional depende en gran medida de la sinergia entre las acciones institucionales y la actitud preventiva del protegido. Este último debe ser consciente de que su seguridad es una responsabilidad compartida. Por ello, es crucial que adopte hábitos que minimicen su vulnerabilidad, como evitar rutinas predecibles, informarse sobre las últimas amenazas y mantenerse alerta ante cualquier cambio inusual en su entorno. Asimismo, debe establecer canales de comunicación fluidos con su equipo de protección para reportar cualquier situación sospechosa o inquietante. Solo a través de esta colaboración estrecha y activa se podrá garantizar la protección integral de los individuos bajo amenaza. De igual forma, es materia obligada, el establecimiento de protocolos de actuación en seguridad, dado el caso de una emergencia o ataque recibido por el esquema de seguridad y del protegido.

El presente estudio pone de relieve la importancia de modificar y adaptar las labores de protección personal a un entorno de seguridad más dinámico y complejo. Si bien los desafíos son significativos, también es una oportunidad para mejorar los sistemas de protección y garantizar la seguridad de las personas en un mundo en constante cambio.

CONCLUSIONES

Dentro del contexto del estudio se obtienen los siguientes aspectos concluyentes:

- Las estrategias tradicionales de protección personal ya no son suficientes para enfrentar las amenazas emergentes en Colombia. Es necesario modificar y actualizar sustancialmente los enfoques de seguridad para estar a la altura de los nuevos riesgos que incluyen el uso de tecnología avanzada y la evolución del crimen organizado.
- La inclusión de tecnologías innovadoras, como el uso de drones, vigilancia avanzada y la inteligencia artificial, es esencial para prevenir y mitigar las amenazas actuales, especialmente las que involucran actores criminales con acceso a recursos tecnológicos avanzados.
- Para afrontar de manera efectiva las nuevas amenazas, se debe adoptar un enfoque integral que contemple tanto las motivaciones psicológicas, como las tácticas y modus operandi de los criminales. La diversidad de métodos delictivos, como el envenenamiento, el terrorismo y el crimen transnacional, exige una perspectiva amplia y anticipatoria en la planificación de la protección.
- Dada la globalización de las amenazas y la capacidad de los grupos delictivos para operar más allá de las fronteras, es imprescindible fortalecer las alianzas internacionales y la colaboración en materia de inteligencia y seguridad.
- Los equipos encargados de la protección personal deben recibir una formación constante y especializada que les permita adaptarse a los nuevos riesgos y a las amenazas más sofisticadas, incluyendo el manejo de situaciones de alto riesgo y el uso adecuado de herramientas tecnológicas.
- La prevención proactiva basada en la inteligencia de datos y en la vigilancia constante debe ser uno de los pilares de la protección personal. Es crucial identificar y neutralizar amenazas antes de que puedan materializarse, evitando así vulneraciones graves a la seguridad.
- Las nuevas formas de crimen, como el fanatismo ideológico y el uso de tecnologías cibernéticas, requieren una respuesta más compleja que las amenazas convencionales. Las medidas de protección deben estar diseñadas para enfrentar estos peligros emergentes de manera efectiva.
- Las instituciones encargadas de la seguridad y protección personal deben estar preparadas para responder de manera rápida y eficiente a las nuevas amenazas, lo que implica un proceso de modernización continua en sus capacidades de respuesta y planificación.

REFERENCIAS

- Acurio del Pino, S. (2016). *Delitos Informáticos: Generalidades*. Organización de Estados Americanos (OEA). https://www.oas.org/juridico/spanish/cyb_ecu_delitos_inform.pdf
- Agozino, A. (19 de noviembre de 2013). En torno a la ciencia de la seguridad. *Adalberto Agozino*. <https://adalbertoagozino.blogspot.com/2013/11/en-torno-la-ciencia-de-la-seguridad.html>
- Angarita, J. R. (08 de marzo de 2024). *Investigación por muerte de Alejandro Pizano no se precluye: así lo decidió un juez*. W Radio. <https://www.wradio.com.co/2024/03/08/investigacion-por-muerte-de-alejandro-pizano-no-se-precluye-asi-lo-decidio-un-juez/>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2012). *Resolución 66/290: Seguridad humana*. Refworld. UNHCR/ACNUR. Recuperado de <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n11/476/25/pdf/n1147625.pdf>
- BBC MUNDO. (19 de enero de 2016). *Natalia Ponce de León: la mujer que se convirtió en el rostro de la tragedia de los ataques con ácido en Colombia*. BBC MUNDO. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/01/160118_colombia_ley_natalia_ponce_ataques_acido_bm
- BBC Mundo. (3 de enero de 2020). *Muerte de Qasem Soleimani: cómo fue el "ataque de precisión" en el que EE.UU. eliminó el militar más poderoso de Irán (y qué hay detrás)*. BBC MUNDO. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-50989553>
- BBC MUNDO. (5 de Agosto de 2018). *Venezuela: Maduro sale ileso de un atentado con artefactos explosivos durante un acto militar en Caracas*. BBC MUNDO. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-45075540>
- Brantingham, P., & Brantingham, P. (1991). *Environmental criminology*. Waveland Press. <https://krimdok.uni-tuebingen.de/Record/439304806>

- Buitrago, S. (18 de septiembre de 2019). *La operación militar, apoyada por la Policía, se registró este martes en la vía Pasto-Tumaco*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/justicia/investigacion/ejercito-desactivo-dos-drones-cargados-con-explosivos-en-tumaco-413816>
- Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR). (2011). *Protocolo I adicional a los Convenios de Ginebra de 1949 relativo a la protección de las víctimas de los conflictos armados internacionales, 1977*. Comité Internacional de la Cruz Roja. <https://www.icrc.org/es/document/protocolo-i-adicional-convenios-ginebra-1949-proteccion-victimas-conflictos-armados-internacionales-1977>
- Corte Constitucional de Colombia. (1991). *Constitución Política de la República de Colombia 1991*. <https://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia%20-%202015.pdf>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). *Plan Nacional de Desarrollo 2022 - 2026*. <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/pnd-2022-2026>
- Di Angellis da Silva Alves, G. (2021). *Estudio criminológico de la corrupción desde la teoría de la oportunidad* [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Repositorio Universidad de Granada. <https://hdl.handle.net/10481/71620>
- Felson, M., & Clarke, R. (2008). La ocasión hace al ladrón. Teoría práctica para la prevención del delito en Í. & O. Ortiz (Eds.), *Convivencia Ciudadana. Seguridad Pública y Urbanismo* (pp. 193-234). España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2735055>
- France24. (s.f.). *Los mercenarios: La siniestra exportación del conflicto colombiano. Minuto a Minuto*. France 24. <https://www.france24.com/es/minuto-a-minuto/20210710-los-mercenarios-la-siniestra-exportaci%C3%B3n-del-conflicto-colombiano>
- Función Pública. (25 de enero de 2022). Decreto 113 de 2022. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=176328>

Función Pública. (26 de mayo de 2015). Decreto 1066 de 2015. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=76835>

Giménez, A. (2022). *Incidente Aeropuerto Bruselas, cómo prevenir acciones a partir del perfilamiento del lenguaje no verbal*. Congreso Internacional sobre Incidentes y Buenas Prácticas en Protección de Personas e Instalaciones, Bogotá.

Gómez Isa, F. (2015). Los ataques armados con drones en derecho internacional humanitario. *Revista Española de Derecho Internacional*, (67), 25-50. <https://www.revista-redi.es/redi/article/download/799/791/1521>

González Sosa Suárez, E. y Hidalgo García, M. del M. (2019). El poder mediático de las armas químicas. *bie3: Boletín IEEE*, (16), 494-512. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7467579>

Haluani, M. (2014). La tecnología aviónica militar en los conflictos asimétricos: Problemáticas implicaciones de uso de los drones letales. *Cuadernos del CENDES*, 31(87), 23-67. <https://www.redalyc.org/pdf/403/40331800003.pdf>

Hernandez Aros, L., Londoño García, A. J., Vargas Ospina, K., Gutierrez Portela, F., y Flórez Guzmán, M. H. (2018). *La auditoría forense y el pentágono del fraude*. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/42107>

Hernández Mantilla, H. (2021). Seguridad aérea de las unidades militares: Prevención frente a drones utilizados con fines terroristas. *Revista de Pensamiento Estratégico y Seguridad CISDE*, 6(1), 11-24. <https://dialnet.unirioja.es/revista/27920/A/2021>

Idcapddrones. (s.f.). *¿Qué es un drone y para qué sirve?*. Apddrones.com. <https://idc.apddrones.com/educacion/que-es-un-drone-y-para-que-sirve/>

Instituto Interamericano de Derechos Humanos (IIDH). (2012). *Guía metodológica para la aplicación del enfoque de seguridad humana*. Instituto Interamericano de Derecho Humanos. <https://www.iidh.ed.cr/images/Publicaciones/Politicasseg/Guia%20metodologica%20para%20la%20aplicacion%20del%20enfoco%20de%20Seguridad%20Humana.pdf>

Marín Delgado, J. A. (2018). El uso de drones comerciales como vectores terroristas. *Boletín IEEE*, 3(9), 925-960. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6467970>

Ministerio del Interior - Policía Nacional. (2020). *Conceptos normativos de la gestión pública territorial para la convivencia y la seguridad*. <https://osc.dnp.gov.co/cartilla.pdf>

Navarro Ibañez de Sendadiano, J. (2020). *Inseguridad ciudadana a través de hechos delictivos* [Trabajo académico, Universitat Jaume I]. <http://hdl.handle.net/10234/194059>

Obando, J. (13 de febrero de 2024). *Ciberseguridad en Colombia: Panorama completo de su estado en 2023*. Blog LinkTic. <https://linktic.com/blog/panorama-completo-de-la-ciberseguridad-en-colombia/>

Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. UNODC. (2004). *Convención de las Naciones Unidas contra la delincuencia organizada transnacional*. Naciones Unidas. <https://www.unodc.org/documents/treaties/UNTOC/Publications/TOC%20Convention/TOCebook-s.pdf>

Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons (OPAQ). (2024). *Convención sobre las armas químicas*. <https://www.opcw.org/es/convencion-sobre-las-armas-quimicas>

Peña Suarez, J. S. (2023). Ciberseguridad, un desafío para las fuerzas militares colombianas en la era digital. *Perspectivas en Inteligencia*, 15(24). <https://doi.org/10.47961/2145194X.628>

Ponce Alcaraz, F. J. (2022). *Aproximación a la criminología ambiental: estudio del robo callejero en el municipio de Murcia* [Tesis de grado, Universidad de Murcia]. Digitum Biblioteca Universitaria. <http://hdl.handle.net/10201/122232>

Portafolio. (8 de agosto de 2019). *Atentado con carro bomba a escuela de policía fue un ataque suicida*. Portafolio.com. <https://www.portafolio.co/economia/atentado-con-carro-bomba-a-escuela-de-policia-fue-un-ataque-suicida-532380>

Rassler, D. (2016). *Remotely piloted innovation: Terrorism, drones and supportive technology*. Combating Terrorism Center. <https://ctc.westpoint.edu/remotely-piloted-innovation-terrorism-drones-and-supportive-technology/>

Real Academia Española (RAE). (2023). *Inmolar*. Real Academia Española. <https://dle.rae.es/inmolar>

Reinares, F. (2004). ¿Qué hay detrás del terrorismo suicida? *Araucana*, (11). <https://revistascientificas.us.es/index.php/araucaria/article/view/1026/930>

Rodríguez Alcázar, J. (2005). La noción de seguridad humana: sus virtudes y sus peligros. *Polis. Revista Latinoamericana*. <https://journals.openedition.org/polis/5805#quotation>

Sánchez Díez, I. (2021). La evolución de la seguridad: Pensarla con base en el concepto de seguridad humana. *Redalyc*, 17(29), 1-12. <https://doi.org/10.25057/2500672X.1425>

Torres-Vásquez, H. (2013). La delincuencia organizada transnacional en Colombia. *Díkaion*, 22(1). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-89422013000100005&lng=en&tlng=es

UNICEF. (17 de enero de 2019). *Las Naciones Unidas repudian atentado*. UNICEF. <https://www.unicef.org/colombia/comunicados-prensa/las-naciones-unidas-repudian-atentado>

Vargas, N. (25 de enero de 2023). Las empresas que han sido blanco de ciberataques en Colombia en el último año. La República. <https://www.larepublica.co/empresas/las-empresas-que-han-sido-blanco-de-ciberataques-en-colombia-en-el-ultimo-ano-3529667>

Recuperación y Documentación de las Técnicas Ancestrales de Tintes Naturales Usadas en los Tejidos Tradicionales de Guanga en la Comunidad Indígena de los Pastos

RESUMEN

Este capítulo tiene como objetivo general documentar y analizar el proceso de rescate y preservación de las técnicas tradicionales de tejido en el caso de la Asociación Asopicumbes, integrada por miembros de la comunidad indígena de Los Pastos, con residencia en la vereda de Tasmag, en el municipio de Cumbal (Nariño). Estas técnicas se han establecido como una actividad relevante en la protección de la cultura y de las tradiciones en la región, además de ser una fuente importante de ingresos para la comunidad indígena Los Pastos. Entre junio y septiembre del 2019, se desarrolló un proyecto enfocado en recuperar las técnicas ancestrales de tintes naturales usadas en los tejidos tradicionales de Guanga, una práctica mediante la cual la comunidad expresa sus visiones particulares sobre el entorno y sus relaciones únicas con el territorio. En este sentido, el proyecto partió de reconocer la importancia de preservar y transmitir estos saberes por medio de un trabajo colaborativo entre diseñadores, artesanos y miembros de la comunidad local, con el fin de fortalecer la identidad cultural y la resiliencia a través del mejoramiento continuo de las tradiciones textiles.

El enfoque teórico del presente capítulo integra la teoría de la gestión cultural con la etnografía participativa, para comprender cómo la comprensión y preservación de una cultura puede influir en el fortalecimiento de un conjunto de prácticas productivas, esenciales en el tejido social de una comunidad indígena. En particular, la etnografía participativa permite comprender cómo la participación de la comunidad en el proceso investigativo puede ayudar a generar una visión más integral del conjunto de necesidades y problemáticas que se deben atender, reconociendo así la importancia del conocimiento y una colaboración horizontal entre investigadores, expertos y miembros de la comunidad.

En cuanto a la metodología del proyecto, se estructura por medio del desarrollo de seis fases y cada una de estas etapas, da como resultado uno de los objetivos específicos planteados. La etapa 1, preservación, tiene como objetivo reconocer la importancia de preservar los tintes naturales en el proceso de elaboración de productos elaborados con lana de ovejo. Se incluyen charlas y mesas redondas para reconocer la importancia de los tintes naturales en la elaboración de productos textiles en la Asociación Asopicumbes. Posteriormente, la etapa 2, conservación, busca compartir la metodología de teñido artesanal y la importancia de conservar los tintes naturales en la actualidad. Se presentan resultados de talleres prácticos y sesiones

Angélica María González Flórez

Especialista en Diseño Textil

Mail: gonflo21@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6921-4077>

Filiación Institucional: Corporación Unificada Nacional de Educación Superior

Aura Vetsy Múnera Monsalve

Profesional en Diseño Gráfico

Mail: aura_munera@cun.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1897-3260?lang=es>

Filiación Institucional: Corporación Unificada Nacional de Educación Superior

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

González Flórez, A. M. y Múnera Monsalve, A. V. (2024). Recuperación y documentación de las técnicas ancestrales de tintes naturales usadas en los tejidos tradicionales de Guanga en la comunidad indígena de Los Pastos en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 311-346). Editorial CIDE Ecuador

de documentación implementadas para compartir aspectos clave de teñido, que junto a las etapas 3, transmisión de saberes, cuyo objetivo es realizar un encuentro de transmisión de saberes con las maestras artesanas para que sus conocimientos ancestrales se transmitan en la comunidad y la etapa 4, experimentación, se realiza un proceso de experimentación con la vegetación de la zona para determinar su eficacia y los mejores procesos de tinturado. Esta transmisión participativa de saberes, desde una perspectiva centrada en la Investigación Acción Participativa (IAP) como eje central en el desarrollo de procesos horizontales de integración de conocimiento, se estableció como un eje esencial para integrar a la comunidad, fortalecer los saberes ancestrales y las prácticas tradicionales. Que, en cocreación con la comunidad y los diseñadores en campo, se llevó a una etapa 5, reacciones colorantes, que determina las distintas reacciones de los colorantes naturales para la lana de ovejo y el mordiente a utilizar. Como resultado final del proyecto se generó, una última etapa 6, cartilla, que documenta los tintes naturales existentes en la zona que sean idóneos para el tinte de lana de ovejo. Este documento brinda información sobre los diferentes tintes naturales usados en el tejido de Guanga, además de las plantas tintóreas de la región de Los Pastos. Este resultado permite contar con un registro detallado del proceso de teñido, desde la recolección de plantas hasta el uso de mordientes, lo cual es esencial en los procesos de recuperación de los saberes ancestrales por medio del desarrollo colectivo de una herramienta educativa y cultural. A través del proyecto, ha sido posible mejorar la integración y participación de la comunidad en el proceso de preservación y transmisión de los conocimientos ancestrales, apoyando en la preservación y revitalización de las técnicas tradicionales de tintes naturales en la región de Cumbal, por medio de enfoques colaborativos y participativos que han sido esenciales para integrar diversos tipos de saberes y conocimientos, desde una visión holística que es esencial en los procesos de recuperación de los saberes ancestrales.

Este capítulo genera aportes relevantes en la gestión cultural y el diseño textil, centrados en la documentación y comprensión de unas prácticas ancestrales de teñido que se han venido implementando en una comunidad indígena, las cuales expresan una relación particular con el territorio, unos saberes que se han ido transformando a lo largo del tiempo, pero que expresan una profunda conexión con la naturaleza.

Por tanto, el desarrollo de este capítulo permite entender cómo el fortalecimiento de la cultura implica relacionar el conocimiento local con metodologías contemporáneas de sistematización de datos y etnografía participativa, como medio para fortalecer la identidad y la resistencia cultural en comunidades indígenas.

Palabras Clave: Gestión cultural, tejido tradicional artesanal, comunidad de Los pastos, identidad cultural, conocimientos ancestrales.

RECOVERY AND DOCUMENTATION OF ANCESTRAL NATURAL DYEING TECHNIQUES USED IN TRADITIONAL GUANGA TEXTILES IN THE INDIGENOUS COMMUNITY OF LOS PASTOS

ABSTRACT

This chapter aims to document and analyze the process of rescuing and preserving traditional natural weaving techniques in the case of the Asopicumbes Association, made up of members of the indigenous community of Los Pastos, residing in the Tasmag area, in the municipality of Cumbal (Nariño). These techniques have been established as a relevant activity in the protection of culture and traditions in the region, in addition to being an important source of income for the indigenous community of Los Pastos. Between June and September 2019, a project was developed focused on recovering the ancestral techniques of natural dyes used in traditional Guanga weaving, a practice through which the community expresses its visions of the environment and its unique relationships with the territory.

In this sense, the project started from recognizing the importance of preserving and transmitting this knowledge through collaborative work between designers, artisans and members of the local community, in order to strengthen cultural identity and resilience through the continuous improvement of textile traditions. The theoretical approach of this chapter integrates the theory of cultural management with participatory ethnography to understand how the understanding and preservation of a culture can influence the strengthening of a set of productive practices, essential to the social fabric of an indigenous community. In particular, participatory ethnography allows us to understand how community participation in the research process can help generate a more comprehensive view of the set of needs and problems that must be addressed, thus recognizing the importance of knowledge and horizontal collaboration between researchers, experts and community members.

Regarding the project methodology, it is structured through the development of six phases, and each of these stages results in one of the specific objectives outlined.

Stage 1: Preservation. Its objective is to recognize the importance of preserving natural dyes in the process of making products from sheep wool. This includes talks

and round tables to acknowledge the significance of natural dyes in textile production at the Asopicumbes Association.

Subsequently, Stage 2: Conservation aims to share the methodology of artisanal dyeing and the importance of preserving natural dyes today. Results from practical workshops and documentation sessions are presented to share key aspects of dyeing, along with Stage 3: Transmission of Knowledge, which aims to hold a knowledge-sharing meeting with master artisans to ensure their ancestral knowledge is passed down within the community, and Stage 4: Experimentation, which involves an experimental process using local vegetation to determine its effectiveness and the best dyeing processes.

This participatory transmission of knowledge, from a perspective centered on Participatory Action Research (PAR) as a central axis in the development of horizontal processes of knowledge integration, was established as an essential pillar to engage the community, strengthen ancestral knowledge, and traditional practices. In co-creation with the community and field designers, this led to Stage 5: Dye Reactions, which determines the different reactions of natural dyes for sheep wool and the mordant to be used.

As a final result of the project, a last Stage 6: Handbook was generated, documenting the natural dyes available in the area that are suitable for dyeing sheep wool. This document provides information on the different natural dyes used in Guanga weaving, in addition to the dye plants from the Los Pastos region. This outcome allows for a detailed record of the dyeing process, from the collection of plants to the use of mordants, which is essential in the processes of recovering ancestral knowledge through the collective development of an educational and cultural tool.

Through the project, it has been possible to enhance the integration and participation of the community in the preservation and transmission of ancestral knowledge, supporting the preservation and revitalization of traditional natural dyeing techniques in the Cumbal region through collaborative and participatory approaches that have been essential for integrating various types of knowledge from a holistic perspective, which is crucial in recovering ancestral wisdom.

This chapter provides relevant contributions to cultural management and textile design, focused on the documentation and understanding of ancestral dyeing practices that have been implemented in an indigenous community, which express a particular relationship with the territory, and knowledge that has transformed over time but reflects a deep connection with nature. Therefore, the development of this chapter allows us to understand how the strengthening of culture involves linking local knowledge with contemporary methodologies for data systematization and participatory ethnography, as a means to strengthen identity and cultural resistance in indigenous communities.

Keywords: Cultural Management, Traditional Artisanal Weaving, Los Pastos Community, Cultural Identity, Ancestral Knowledge.

INTRODUCCIÓN

Entre el 1 de junio de 2019 y el 28 de septiembre del 2019 se desarrolló el proyecto: "Guanga: Tejiendo Identidad y Resistencia", el cual tuvo como objetivo rescatar y fortalecer el uso de pigmentos naturales en lana de ovejo dentro de los procesos del tejido en guanga mediante talleres y enfoques de transmisión transgeneracional de saberes en la comunidad artesanal de la vereda Tasmag del municipio de Cumbal – Nariño. Este proyecto, impulsado por el grupo Identidad Latina, inició con una reunión el 28 de junio de 2019, en la cual se definió el cronograma detallado de talleres y actividades comunitarias, presentando las metodologías y materiales necesarios para el desarrollo de bitácoras, diarios de campo, herbario y otros soportes educativos. A través de procesos de revisión documental y análisis de las particularidades del contexto, se fueron diseñando las metodologías para los talleres, así como los contenidos, videos educativos, bitácora de campo sobre apropiación cultural, carteleras, enfoques para las actividades de extracción y aplicación del tinte y diseño de la cartilla.

Las reuniones culminaron con la creación del calendario de talleres, coordinado con la lideresa de la asociación de artesanos de la comunidad indígena de Los Pastos. El cronograma incluyó seis etapas, comenzando el 27 de julio con actividades de preservación y finalizando con la documentación de los tintes naturales en una cartilla, prevista para el 8 de septiembre. Cada etapa estuvo orientada a la necesidad de preservar, conservar, transmitir conocimientos, experimentar y analizar reacciones de colorantes, con el objetivo de fortalecer la tradición de teñido natural en la comunidad y documentar los tintes más adecuados para la lana de ovejo.

En este capítulo, por tanto, se documentan las experiencias y los resultados del proyecto, incluyendo análisis sobre un conjunto de procesos de experimentación desarrollados con las comunidades para comprender mejor las propiedades de la vegetación local, para evaluar la eficacia de los tintes naturales y de los procesos de tinturado. Se incluyen también análisis sobre las reacciones de los tintes naturales con los mordientes por medio de talleres teóricos y prácticos.

Finalmente, se presentan los resultados de la construcción colaborativa de una cartilla que incluyó información relevante sobre los tintes naturales, sus usos y su aplicación en la lana de ovejo, describiendo las características de las plantas

tintóreas ubicadas en la región. Por otro lado, también es importante establecer evaluaciones de impacto cultural que permitan entender cómo las prácticas documentadas en el proyecto han influido en la identidad y cohesión comunitaria, así como en la transmisión intergeneracional de los conocimientos. En este capítulo también se presentan estudios comparativos con otras comunidades indígenas que han implementado proyectos similares, para identificar mejores prácticas y adaptar estrategias exitosas en la preservación cultural.

A lo largo de cada una de las sesiones del proyecto se tuvo en cuenta la importancia de la IAP como enfoque metodológico que asegurara no solo la participación de la comunidad en los procesos de recolección de datos, sino también en la toma de decisiones y en la dirección de la investigación. Por ello, es importante que a lo largo del capítulo se tomen en cuenta las voces, percepciones y experiencias de la comunidad durante el desarrollo de las sesiones, para de esta manera profundizar los hallazgos desde perspectivas participativas.

Este capítulo se divide en 5 secciones. En la primera se presenta un marco de referencia, que permite relacionar elementos relevantes sobre el contexto en el cual se aplicó el proyecto, así como problemáticas relevantes y ejes que orientaron el diseño de la propuesta. Posteriormente, en la segunda sección se presenta un marco teórico, que ayuda a comprender y relacionar conceptos relevantes como gestión cultural y etnografía crítica, además de aspectos relevantes integrados en la propuesta como técnicas tradicionales de tejido y tintes naturales. Luego se presenta con detalle la organización de las sesiones del proyecto, objetivos, recursos y materiales empleados, que permitan comprender factores relevantes a nivel metodológico. Posteriormente, en la cuarta sección del capítulo se muestran los resultados obtenidos, integrando el recuento de las experiencias con las percepciones de la población y el análisis teórico. En la quinta parte se presenta el desarrollo de la discusión, y finalmente se señalan las principales conclusiones.

MARCO REFERENCIAL

CARACTERÍSTICAS ESENCIALES EN LOS PROCESOS DE DESARROLLO DE LA COMUNIDAD INDÍGENA DE LOS PASTOS EN LA VEREDA DE TASMAG

Cumbal es una comunidad ancestral ubicada en el nudo de los Pastos, en el departamento de Nariño, que ha venido construyendo una relación particular con el territorio a partir de una cosmovisión particular, y procesos particulares de relacionamiento con el territorio y con sus recursos. Dentro del municipio de Cumbal se encuentra la vereda de Tasmag, ubicada a 10 minutos del municipio, en la cual está la piedra de Machines, patrimonio cultural y espiritual del pueblo de los Pastos. Esta vereda corresponde a una zona rural que cuenta con una población de 37.625 habitantes, de los cuales el 93% corresponde a población indígena perteneciente a la etnia de los Pastos, mientras que el 7% es mestiza (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2021). Los habitantes de la zona viven principalmente del cultivo de productos como la papa, quinua, ullucos y habas, los cuales se cultivan a través de una técnica ancestral denominada como Shagra. Esta técnica se basa en la combinación armónica de diversas especies agrícolas en un espacio determinado, respetando los ciclos naturales y el equilibrio ecológico del suelo.

La Shagra que se practica en la vereda de Tasmag, tiene como finalidad mantener la fertilidad de la tierra y preservar la biodiversidad local, generando los productos que satisfagan las necesidades de la comunidad, sin afectar con ello la calidad de recursos como el suelo y el agua, lo cual implica establecer controles de plagas de manera natural (Tarapues, 2022). Por otro lado, la Shagra es una forma de preservar el conocimiento ancestral sobre el manejo sostenible de los recursos, el cual se transmite de generación en generación.

La comunidad ha venido desarrollando un importante énfasis en la educación, no solo en lo que tiene que ver con el aprendizaje académico, sino también en la preservación de la cultura y el conocimiento ancestral. Por ello, explica Guadir (2015), las escuelas locales integran la lengua Pasto y las prácticas culturales en su currículo. Por otro lado, las prácticas de salud tradicionales, combinadas con el acceso a servicios médicos modernos, ayudan a mantener la salud de la comunidad. La medicina tradicional sigue siendo una parte importante de la atención en salud, complementada por las prácticas

de la medicina occidental. Sin embargo, como se verá a continuación, la comunidad enfrenta una serie de retos importantes que han generado como resultado luchas y procesos de resistencia que es preciso comprender.

DINÁMICAS DE PODER Y RESISTENCIA CULTURAL DENTRO DE LA COMUNIDAD

Desde la integración de enfoques de la etnografía crítica, es importante no solo analizar la preservación de las tradiciones, sino también las dinámicas de poder y resistencia cultural dentro de la comunidad, lo cual puede enriquecer la comprensión del contexto social y cultural. Para empezar, se puede decir que el desarrollo de la actividad minera en la vereda de Tasmag ha puesto en peligro la sobrevivencia de la comunidad indígena de Los Pastos, debido no solo al desconocimiento de técnicas ancestrales de siembra como la Shagra, sino también a un progresivo deterioro del medio ambiente, debido al uso indiscriminado de insecticidas y otros productos químicos usados para mejorar la productividad y rendimiento de las cosechas.

Por otro lado, se destacan también problemáticas como la inseguridad alimentaria, que ha generado entre la comunidad la falta de disponibilidad de alimentos, la desnutrición y el desarrollo de un conjunto de enfermedades (Tarapues, 2022). Como lo señala Guadir (2015), en la región se han venido desarrollando una serie de megaproyectos y de enfoques centrados en el monocultivo, que han promovido el ingreso de alimentos transgénicos, los cuales han venido sustituyendo los alimentos propios, desconociendo además las prácticas ancestrales de la comunidad y sus relaciones con el territorio. En medio de estas situaciones, las comunidades han tenido también que enfrentar problemáticas como los altos costos para mantener sus cosechas, generando como resultado una pérdida progresiva de la producción tradicional y de la Shagra (Tarapues, 2022).

Se destaca también como problemática relevante una pérdida progresiva de las tradiciones ancestrales de la comunidad, debido a los temas ambientales, la falta de seguridad alimentaria y la constante amenaza con respecto a la posesión de los territorios. Sin embargo, una forma importante que tiene la comunidad de Los Pastos para promover su lucha es a través de la práctica de rituales culturales y tradicionales, como el Inti Raymi, las fiestas de blancos y negros, y el mantenimiento

de una serie de costumbres vinculadas con el uso de la medicina ancestral y el desarrollo de ceremonias de adoración a la tierra.

En cuanto a temas relacionados con la organización política, se observa también que al finalizar cada año la Asamblea Comunitaria nombra el nuevo Cabildo dentro de los Resguardos. De esta manera, se promueve el desarrollo de procesos de organización para que la comunidad pueda seguir sembrando productos como la quinua y la papa, además de trabajar en la fabricación artesanal de bebidas con un importante significado espiritual como la chicha y el chapil. En la región se ha tratado de mantener las tradiciones ligadas a lo comunitario, y se ha mantenido el uso del Pasto, una lengua perteneciente a la familia de lenguas Barbacoan, componente vital de la identidad cultural el que se enseña en las escuelas y se utiliza en las ceremonias y actividades cotidianas. Se puede decir, por tanto, que en medio de la implementación de técnicas agrícolas agresivas en la zona, del desarrollo de procesos de productividad que desconocen las prácticas de la comunidad, y de la presencia constante de heladas que generan importantes pérdidas, la comunidad de Los Pastos ha tenido que desarrollar continuamente estrategias de transformación que les permitan promover su seguridad alimentaria, por medio de nuevas comprensiones y usos de los recursos.

Es en este sentido en el cual se ha desarrollado la tejeduría artesanal como un elemento relevante que ha permitido a la comunidad de los Pastos diversificar sus fuentes de ingreso y fortalecer su identidad cultural en un contexto de desafíos importantes. A través de la tejeduría, los habitantes de Cumbal pueden crear productos que tienen un valor simbólico y económico, manteniendo al mismo tipo la historia y las tradiciones de su etnia. Esta práctica también fomenta la cohesión comunitaria y el orgullo cultural, ya que las piezas tejidas suelen contar historias, representar símbolos culturales o transmitir mensajes importantes para la comunidad. Además, al integrar la tejeduría en su vida cotidiana y económica, la comunidad de los Pastos refuerza su resiliencia frente a los cambios ambientales y socioeconómicos, promoviendo una forma de desarrollo que respeta y honra su legado cultural mientras se adaptan a las nuevas realidades.

Se destaca el desarrollo de la Asociación Asopicumbes, que ha venido trabajando en la técnica de tejeduría plana en telar horizontal y vertical, como un importante elemento diferenciador que ha ayudado a establecer nuevas dinámicas de organización

social y transmisión de conocimientos ancestrales. En la comunidad, los hombres ejercen el oficio del telar horizontal y las mujeres elaboran labrados en las Guangas: cintas tejidas que se utilizan en contextos ceremoniales y productivos. Estos tejidos, explica Tarapues (2022) cuentan historias, expresan un conjunto de símbolos y conocimientos ancestrales. Mientras tanto, la técnica de tejeduría plana en telar horizontal permite la creación de tejidos más amplios y versátiles, que a menudo se emplean en el desarrollo de la vestimenta tradicional, adornos y artículos ceremoniales. La colaboración entre hombres y mujeres en estos procesos artesanales fortalece los lazos comunitarios y asegura que el conocimiento y las habilidades relacionadas con la tejeduría se mantengan vivos.

De acuerdo con el informe desarrollado por Artesanías de Colombia (2019), la comunidad ha venido desarrollando un interés por la creación de productos enfocados en el sector de la moda, por medio de actividades centradas en la comercialización de prendas tradicionales. La comunidad ha entendido la necesidad de promover nuevos enfoques que le permitan mejorar los procesos de venta de los productos que se generan a través de la tejeduría artesanal, como un medio que les permita seguir luchando por el mantenimiento de su cultura y por el fortalecimiento continuo de nuevas capacidades y posibilidades de mejora.

MARCO TEÓRICO

LA GESTIÓN CULTURAL COMO EJE ESENCIAL EN LA TRANSMISIÓN DE CONOCIMIENTOS Y REVALORIZACIÓN DE LAS COSTUMBRES ANCESTRALES DE LAS COMUNIDADES INDÍGENAS

La gestión cultural se establece como un aspecto sumamente fundamental en el desarrollo, protección y reivindicación de las costumbres ancestrales y de las tradiciones de las comunidades. De acuerdo con Acea (2016), la gestión cultural implica el desarrollo de procesos por medio de los cuales se promueve, organiza y dinamiza el patrimonio cultural de las comunidades. Por ello, en palabras de Alfonso (2020), la gestión cultural permite establecer procesos de encuentro entre las comunidades por medio de los cuales se comprenda la importancia de sus costumbres, prácticas artísticas, rituales y formas de expresión, garantizando de esta manera la transmisión del conocimiento y los valores culturales.

Según Aguilar y Pacheco (2022), la gestión cultural no solo se centra en la conservación de los bienes materiales, sino también en el fortalecimiento de los vínculos sociales y en la construcción de identidades colectivas, lo cual es esencial para el reconocimiento y la integración de las diversas manifestaciones culturales en un contexto globalizado. En este sentido, es importante entender cómo la gestión cultural se refugia en lo local, en un conjunto de aspectos que componen la identidad particular de comunidades que en ocasiones no son equiparables a los marcos comunes según los cuales los modelos de desarrollo productivo comprenden el territorio y los recursos naturales.

Por tanto, la gestión cultural tiene no solamente una importante posibilidad de establecer nuevos procesos de contacto entre las comunidades que les permitan reconocer y valorar una historia común y compartida, sino que también tienen la responsabilidad de promover el rescate de un conjunto de cosmovisiones, de una serie de interpretaciones particulares sobre el entorno y sobre la realidad que incidan en los procesos de comunicación, en la forma de establecer de manera conjunta soluciones ante las privaciones y problemas que se presentan (Rodríguez, 2024). Es por ello que autores como Reguillo (2015) reconocen que la gestión cultural tiene una importante función de reivindicación de comunidades vulnerables, especialmente aquellas que han permanecido ajenas a las dinámicas globales de desarrollo, y que poseen una serie de comprensiones únicas sobre el progreso, el bienestar y la calidad de vida.

De esta manera, se puede entender con Descombes (2015) que la gestión cultural tiene un importante enfoque de articulación entre los procesos locales, teniendo en cuenta sus límites, características y fronteras, con el desarrollo de unas dinámicas globales de producción y de consumo. No se trata, sin embargo, de forzar la integración de las comunidades indígenas a lógicas de mercado capitalistas, sino más bien de promover enfoques de capacitación y asesoramiento constante, que les permitan usar los nuevos medios y enfoques que pueden ayudar a dinamizar sus estrategias de promoción cultural, social y económica, sin desconocer con ello la importancia de sus tradiciones, de unas prácticas ancestrales que es preciso rescatar pero también fortalecer a través de esquemas colaborativos y participativos.

Desde la gestión cultural, por tanto, es preciso orientar el desarrollo de procesos

conjuntos de construcción de conocimientos en los cuales el pasado se articule con el presente, para orientar capacidades y estrategias que les permitan a las comunidades no solo entender la importancia de su papel en medio de un conjunto de tradiciones históricas y culturales, sino también mejorar la forma en la cual aprovechan los diversos recursos con los que cuentan y las diversas oportunidades que ofrece el entorno (Aguilar y Pacheco, 2022). En este sentido, es importante avanzar en lo que tiene que ver con el fortalecimiento de estrategias de participación, por medio de encuentros en los cuales las comunidades comenten y discutan sus problemáticas (Szafran, 2021); generar dinámicas de organización que permitan definir puntos comunes y planear acciones concretas sobre los diversos elementos que se deben potenciar en una cultura determinada (Rodríguez, 2024); mejorar la comunicación entre las generaciones como eje esencial en la transmisión de los conocimientos (Walls, 2020); y generar procesos de reconstrucción de memoria histórica que sean plasmados en documentos, informes, cartillas y presentaciones que apoyen el desarrollo de una gestión documental que es esencial en los procesos de aprendizaje y mejora.

LA ETNOGRAFÍA CRÍTICA COMO UN ELEMENTO ESENCIAL QUE PUEDE AYUDAR A PROMOVER NUEVOS ENTENDIMIENTOS, A TRAVÉS DE PROCESOS PARTICIPATIVOS

De acuerdo con Thomas (2013), la etnografía crítica se encuentra integrada a la etnografía, pero a partir de un estilo de análisis y discurso que busca una finalidad distinta. Así como la etnografía está más ligada a una tradición descriptiva –y también hermenéutica– que intenta responder el “¿qué es?”, la etnografía crítica se centra en el proceso reflexivo que se da entre la interacción de la investigación, la interpretación y la ideología, buscando responder no solamente “¿qué es?”, sino también “¿qué podría ser?”; poniendo de esta manera en juego a la cultura, el conocimiento y la acción del investigador.

De esta manera, se destaca la importancia de la etnografía crítica como un elemento esencial que puede ayudar a promover nuevos entendimientos, a través de procesos participativos en los cuales las comunidades son las protagonistas de sus propios relatos, de sus propios procesos de reconstrucción histórica, evitando el desarrollo de juicios y de estrategias de imposición de saberes (Szafran, 2021). Como lo señalan Aguilar y Pacheco (2022), el objetivo central de la etnografía

crítica es precisamente lograr que las comunidades se encuentren en un espacio y en una dinámica de comunicación lo suficientemente cómoda para que compartan sus conocimientos, memorias y experiencias, y para que sus recuentos puedan además ser registrados y valorados desde su propia perspectiva. A continuación, por tanto, es preciso profundizar el concepto de la etnografía crítica, teniendo en cuenta cómo puede apoyar nuevos procesos de comprensión de las necesidades de las comunidades y cómo puede también ayudar a potenciar las capacidades.

La etnografía crítica se presenta como una herramienta que facilita la interpretación de las realidades locales, a través de un proceso participativo mediante el cual es posible comprender una serie de dinámicas internas que permiten explicar modos de ser, además de procesos particulares de responder a una serie de estímulos ambientales y contextuales. En palabras de Rodríguez (2022), la etnografía crítica fomenta un diálogo genuino entre la comunidad y los gestores culturales, a través de enfoques que pueden ayudar a promover una reflexión conjunta, lo cual es esencial para comprender mejor las problemáticas que se presentan y para trazar rutas de acción que respeten las particularidades culturales mientras que al mismo tiempo se buscan soluciones colectivas a los desafíos comunes.

Sin embargo, es preciso tener en cuenta que no es sencillo promover la participación de la comunidad en la recolección y análisis de datos, pues muchas veces se presentan una serie de resistencias importantes, dentro de las cuales se destaca la reserva por parte de las propias comunidades por comunicar sus saberes, sus puntos de vista y sus experiencias (Guzmán, 2020). Esto se debe a que, generalmente, los proyectos sociales en los cuales han participado utilizan sus saberes y conocimientos como objetos de análisis, sin generar como resultado verdaderos beneficios que puedan ser aprovechados por las personas (Márquez, 2021). En este sentido, para evitar este tipo de situaciones, resulta clave que la etnografía crítica responda a un proceso previo de planeación, que tenga como base una ruta específica con una serie de pasos y objetivos, que se generen productos concretos, elementos que puedan ser empleados por las comunidades para replicar nuevos procesos de construcción de conocimientos, y para establecer además la creación de nuevos significados que reflejan las transformaciones sociales y culturales que se generan a través de las experiencias.

Cuando la etnografía parte de un proceso de planeación estructurado, cuando el

objetivo esencial no es generar nueva información desde las comunidades sino más bien crear conjuntamente nuevos conocimientos al servicio de las comunidades, se convierte en un puente entre el pasado y el presente (Rodríguez, 2022). Solo de esta manera, la etnografía puede también promover el fortalecimiento de la identidad local al integrar los conocimientos tradicionales de las comunidades con las experiencias y desafíos actuales. De acuerdo con Castillo (2018), la aplicación de la etnografía crítica y el trabajo de campo pude acercarme y ser parte de la forma de vida de ellas. Experimenté su sensibilidad, conecté con sus ojos y ahí se develaron historias. Desde el interior del taller artesanal, el oficio del tejido cobra otro sentido, trasciende el objeto y se convierte en un universo de significados por descubrir. Emplear métodos etnográficos para documentar conocimientos tradicionales y prácticas culturales, se asegura que estos se preserven y se valoren.

De acuerdo con el análisis que se ha planteado, se puede decir que en el desarrollo de procesos de fortalecimiento de la gestión cultural en las comunidades indígenas, la etnografía puede ayudar a identificar, visibilizar y revitalizar los elementos culturales fundamentales que definen la identidad, los modos de vida, la manera en la cual han venido estableciendo un proceso complejo organizativo que ha resultado en el desarrollo concreto de prácticas sobre las cuales es preciso reflexionar para orientar nuevos procesos de transformación. La etnografía, por tanto, además de propiciar estos componentes de transformación, debe también ayudar en la generación de nuevos conocimientos que partan de una comprensión participativa de las dinámicas culturales en su contexto cotidiano, como medio para fortalecer las relaciones entre el pasado, la historia, las características del entorno, los procesos de movilización social y las actividades productivas.

Se trata, por tanto, de hacer de las comunidades actores activos en sus procesos de desarrollo, pero no a través de un incremento en la fuerza productiva, en la eficiencia de los procesos productivos que han venido desarrollando, sino más bien en el desarrollo de procesos de reflexión a través de los cuales se promueva un diálogo intercultural (Márquez, 2021). De esta manera, explica Armijo (2021), es posible también enfrentar un conjunto de amenazas que afectan el desarrollo de las comunidades indígenas, dentro de los cuales se destacan las dificultades para asegurar la transmisión de los conocimientos ancestrales entre las generaciones, la apropiación indebida de sus saberes, la pérdida de la lengua y de sus costumbres, además de la imposición de modelos económicos externos.

Se puede finalizar diciendo con Paño (2022) que la etnografía crítica se convierte en una herramienta clave para construir puentes de entendimiento y cooperación entre las comunidades indígenas y otros actores, como gobiernos y organizaciones no gubernamentales, facilitando la creación de políticas culturales inclusivas y sostenibles que reconozcan y valoren la diversidad cultural. A continuación, es importante entender cómo la tejeduría natural tradicional se inserta en estos procesos particulares de expresión conjunta de saberes y de productividad económica, que son importantes de fortalecer a partir del desarrollo de buenas estrategias de gestión cultural y etnografía crítica.

TEJEDURÍA ARTESANAL ANCESTRAL

La tejeduría artesanal ancestral se ha configurado como un eje esencial en el desarrollo de diversas comunidades a lo largo de todo el país, en la medida en que les permite integrar sus simbologías particulares al desarrollo de estrategias de comercialización de un conjunto de productos que cuentan su historia particular y que representan también sus cosmovisiones (Arévalo, 2018). De acuerdo con Vidal y Vargas (2021) la tejeduría artesanal hace uso de fibras naturales como la lana, el algodón, la seda y el fique, con el fin de integrar a las comunidades en la producción de sombreros, ruanas, mochilas, cestos y demás elementos tradicionales que pueden hacer parte de del sector de la moda y que también pueden ser comercializados como artículos decorativos.

Dependiendo de las tradiciones, símbolos e historias de las comunidades, estos artículos pueden tener unos complejos patrones geométricos, además de colores llamativos y figuras que representan eventos o situaciones históricas particulares. Como lo señalan Castañeda et al. (2019), los productos generados a través de la tejeduría ancestral integran el desarrollo de complejas técnicas manuales con una serie de dinámicas que son fundamental en los procesos de desarrollo social y económico de las comunidades.

La tejeduría ancestral, de acuerdo con Ferrer (2018) es un proceso artístico que expresa el desarrollo de vínculos sociales, la transmisión de conocimientos entre las generaciones, el fortalecimiento de una conexión con el territorio y de un sentido de pertenencia que es esencial, por ejemplo, en el caso de las comunidades indígenas.

En este sentido, se puede decir con Gutiérrez (2019) que la tejeduría ancestral expresa un proceso que se conecta con una serie de tradiciones, y que les permite a las comunidades subsistir en medio de contextos vulnerables que han permanecido ajenos a las dinámicas de desarrollo capitalista.

TINTES NATURALES Y MORDIENTES

En este contexto de la tejeduría artesanal ancestral, el uso de tintes naturales se establece como una práctica fundamental que no solo enriquece el valor estético de los productos tejidos, sino que también se establece como un proceso que pueden fortalecer la conexión cultural y ecológica de las comunidades con su entorno. De acuerdo con Hernández y Torres (2019), el uso de tintes naturales, extraídos de plantas, minerales o insectos, permite a las comunidades mantener vivas las tradiciones ancestrales mientras utilizan recursos locales y sostenibles.

En efecto, como lo señalan Ortiz y León (2020), el uso de los tintes naturales se establece como una opción relevante para promover la sostenibilidad de los recursos naturales, teniendo en cuenta que los tintes químicos se asocian con la generación de residuos sumamente contaminantes. Por ello, las comunidades hacen uso de tintes naturales como medio para resistir culturalmente a las presiones del mercado global, estableciendo dinámicas centradas en la conservación de la identidad cultural y el desarrollo de un valor agregado en sus productos.

El proceso de tinturado con tintes naturales implica una serie de pasos que van desde la recolección y preparación de los materiales vegetales o minerales hasta la aplicación de los tintes en los hilos o tejidos. El tinturado a través de mordientes se establece a través de un proceso por medio del cual se recolecta el vegetal seleccionado para tal fin, teniendo en cuenta sus propiedades, para posteriormente desarrollar un proceso de lavado y de remojo. Posteriormente, el material se pone a fuego alto y se cuele, dando lugar a la obtención de una infusión concentrada que actúa como base para el proceso de tinturado. Este extracto vegetal se mezcla con mordientes, que son sustancias que ayudan a fijar el color en las fibras y mejorar su durabilidad. Los mordientes pueden ser elementos naturales como el vinagre o el jugo de limón, o incluso el barro con alto contenido de hierro.

Una vez preparada la mezcla, las fibras o tejidos se sumergen en el líquido tintóreo y

se mantienen en ebullición durante un tiempo específico para asegurar que el color se adhiera de manera uniforme. Finalmente, se retira el material del baño de tintura, se enjuaga para eliminar el exceso de color y se deja secar al aire. Este proceso de tinturado con mordientes no solo asegura colores vibrantes y duraderos, sino que también refleja el conocimiento ancestral y la habilidad en la manipulación de recursos naturales para la creación de textiles. Finalmente, el método más simple para tinturar a través del uso de materiales naturales consiste en mezclar la planta, la lana o el material que se quiere tinturar y el agua juntos.

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO Y ENFOQUE DEL PROYECTO

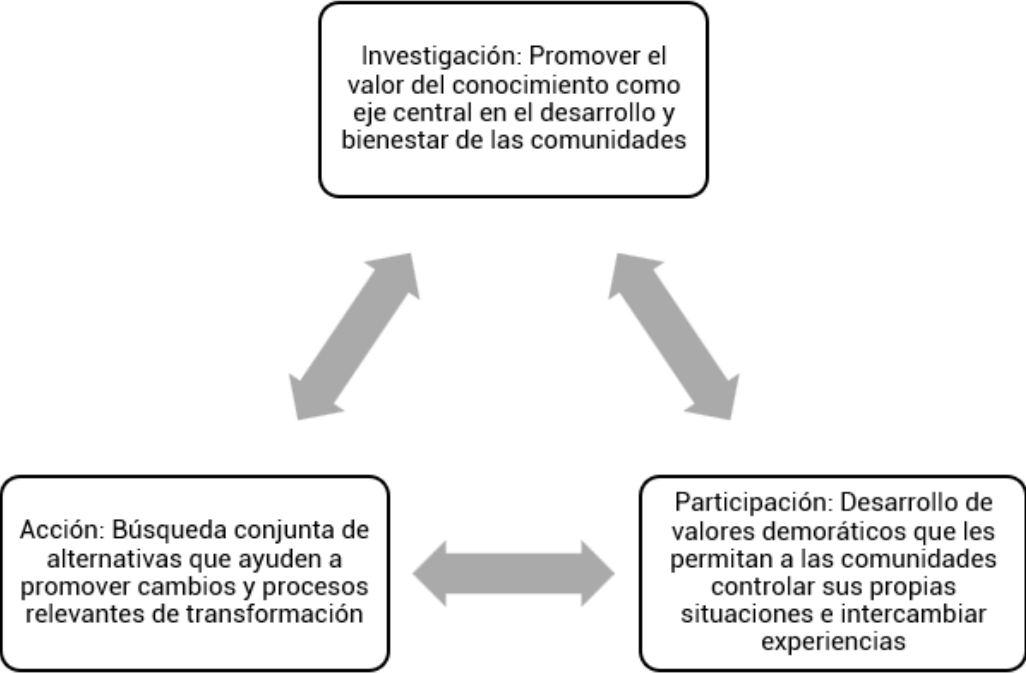
El proyecto “Guanga: Tejiendo Identidad y Resistencia” fue una colaboración de cuatro meses desarrollada por parte de un equipo interdisciplinario de diseñadores y una socióloga, además de los abuelos, lideresas y tejedoras de la asociación Asopicumbes. Juntos, se trabajó en el desarrollo de estrategias y acciones colectivas que rescataron los pigmentos naturales utilizados en los tejidos de Guanga, facilitando una transmisión intergeneracional de conocimientos dentro de la asociación y entre las mujeres de sus familias. A través de talleres prácticos y la documentación de las experiencias y conocimientos de las abuelas sobre la materia prima y las plantas tintóreas locales, el proyecto culminó en la creación de una cartilla de tintes naturales para lana de ovejo y un herbario de plantas tintóreas de la región.

En particular, se planteó el desarrollo de una metodología IAP, la cual se basó en la premisa de orientar el desarrollo de relaciones horizontales con la comunidad, evitando la jerarquización y promoviendo, en cambio, procesos de integración y articulación de saberes como eje esencial en la comprensión del entorno y de las diversas actividades y enfoques culturales asociados con las técnicas usadas en el tejido y en los tintes. De acuerdo con Kemmis y McTaggart (2000) en la IAP el objetivo central es promover el cambio social en una comunidad, con el fin de mejorar sus condiciones de vida por medio de procesos que exigen de una mejor comprensión de los factores relevantes asociados con el entorno, la historia, la cultura, los recursos y las relaciones sociales.

En este sentido, para el diseño de las etapas del proyecto se tuvieron en cuenta las consideraciones de Reason & Bradbury (2001) frente a cada uno de los objetivos asociados a la IAP, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 1

Enfoques centrales en el desarrollo de la IAP



Nota. Esta figura muestra elementos esenciales que se tuvieron en cuenta para implementar la IAP en el proyecto.

Se partió de considerar, por tanto, a la IAP como una manera distinta de realizar una investigación, enfocada en el cambio social y en la posibilidad de abordar los problemas desde perspectivas integrales que combinen el conocimiento y las experiencias de un conjunto amplio de actores. Se fomenta, de esta manera, el desarrollo de un aprendizaje colaborativo como medio para promover acciones liberadoras que partan de comprender las luchas y resistencias de las comunidades (Reason & Bradbury, 2011).

En este sentido, la etnografía crítica se establece como el enfoque central que medió las relaciones con la comunidad, por medio del desarrollo de metodologías participativas, dentro de las cuales se destacaron las charlas, talleres, procesos de observación, documentación y registros audiovisuales en los cuales se fomentó una continua interacción y un proceso de intercambio que favoreció la creación, el desarrollo de nuevas ideas y miradas sobre las prácticas que han venido generando situaciones complejas y negativas para las comunidades. En este sentido, se destaca con Stringer (2013) el carácter transformador de la etnografía, como un proceso que apoya la construcción de identidades colectivas, el fortalecimiento de vínculos sociales y la reivindicación de derechos culturales en contextos de diversidad.

DISEÑO Y ENFOQUE DEL PROYECTO

De acuerdo con los principios de la IAP, se desarrollaron un conjunto de etapas para el proyecto centradas en enfoques participativos. A continuación, en la tabla 1 se presentan los objetivos, actividades y productos de cada una de las etapas a través de las cuales se desarrolló el proyecto “Guanga: Tejiendo Identidad y Resistencia”.

Tabla 1

Objetivos, actividades y productos de cada una de las etapas

Etapas	Objetivos específicos	Actividades	Productos y soportes
Etapa 1. Preservación.	Reconocer la importancia de preservar los tintes naturales en el proceso de elaboración de productos elaborados con lana de ovejo en la asociación Asopicumbes.	Charla. Mesa redonda.	Reconocer la importancia de preservar los tintes naturales en el proceso de elaboración de productos elaborados con lana de ovejo en la asociación Asopicumbes.
Etapa 2. Conservación.	Compartir la metodología de teñido artesanal y la importancia de conservar los tintes naturales en la actualidad.	Taller Práctico. Documentación de Información. Charla y mesa redonda. Herborización de especies tintóreas.	Listado de asistencia. Registro fotográfico y audiovisual. Cartilla.

Etapas	Objetivos específicos	Actividades	Productos y soportes
Etapa 3. Transmisión de saberes.	Realizar un encuentro de transmisión de saberes con las maestras artesanas para que sus conocimientos ancestrales se transmitan en la comunidad.	Transmisión de saberes. Documentación de Información	Listado de asistencia. Registro fotográfico y audiovisual. Cartilla.
Etapa 4. Experimentación.	Realizar un proceso de experimentación con la vegetación de la zona para determinar su eficacia y los mejores procesos de tinturado.	Taller de tintes naturales. Ejercicios de Experimentación. Bitácora de campo. Documentación de Información	Listado de asistencia. Registro fotográfico y audiovisual. Cartilla.
Etapa 5. Reacciones colorantes.	Determinar las distintas reacciones de los colorantes naturales para la lana de ovejo y el mordiente a utilizar.	Taller Teórico-Práctico. Bitácora de campo. Documentación de Información.	Listado de asistencia. Registro fotográfico y audiovisual. Cartilla.
Etapa 6. Cartilla.	Documentar los tintes naturales existentes en la zona que sean idóneos para el tinte de lana de ovejo.	Recopilación de Información. Diseño Editorial.	Registro fotográfico y audiovisual. Cartilla en PDF. Cartilla Física. Muestra física oveja en corte láser con la muestra de la materia prima tinturada.

Nota. Esta tabla muestra las etapas del proyecto desarrollado con la comunidad, además de los objetivos, productos y actividades

Como se puede apreciar, estas etapas tuvieron enfoque participativo mediante el cual se promovió un intercambio constante de conocimientos y de experiencias como medio para ir articulando el desarrollo de talleres, procesos de documentación y exploración del entorno. De esta manera, fue posible ir fortaleciendo un conjunto de capacidades en las comunidades para mejorar en lo que tiene que ver con el proceso de teñido de la lana de ovejo, como una práctica importante que puede ayudar a fortalecer el desarrollo de sus procesos productivos mientras que al mismo tiempo se establecen dinámicas de rescate de tradiciones y socialización de costumbres y prácticas ancestrales.

RESULTADOS

En el desarrollo del proyecto se partió de una etapa de preservación, la cual se enfocó en reconocer la importancia de preservar los tintes naturales en la elaboración de productos de lana de ovejo en la asociación Asopicumbes. Durante esta fase, se desarrollaron charlas y mesas redondas para socializar con la comunidad sobre el valor cultural y funcional de los tintes naturales, a través de una perspectiva en la cual se fomentó el desarrollo de una retroalimentación continua, teniendo en cuenta los principios de la etnografía crítica como un enfoque que promovió la participación activa de los miembros de la comunidad en la construcción del conocimiento. De esta manera, se facilitó el desarrollo de una discusión abierta sobre la historia y el simbolismo de los tintes, promoviendo una comprensión sobre su importancia y sobre su relación con respecto a diversos elementos esenciales en el desarrollo de la comunidad y en las relaciones particulares que sostienen sobre su territorio.

Se partió de reconocer que la cultura es un componente integral que se compone de diversos aspectos, dentro de los cuales es preciso reconocer también la importancia de las prácticas productivas, las cuales expresan relaciones concretas con el entorno mediante las cuales las comunidades desarrollan un conjunto de habilidades, formas concretas de aprovechar los recursos y de configurar visiones únicas sobre el territorial (Márquez, 2021). En conjunto, dichos elementos inciden en las representaciones subjetivas de la cultura, en los modos de ser, en un conjunto de dinámicas mediante las cuales se establecen prácticas y costumbres concretas.

De esta manera, en estas charlas se tuvieron en cuenta principios planteados por autores como Vidal y Vargas (2021), quienes señalan la importancia de fortalecer el sentido de propiedad cultural mediante prácticas que promuevan el conocimiento ancestral, permitiendo una preservación auténtica y sostenible de las tradiciones relacionadas con el teñido natural. Por ello, fue importante que en esta primera etapa del proyecto se discutiera la historia y el simbolismo de los tintes, llegando a la idea de crear recetarios como medio para avanzar en lo que tiene que ver con la documentación de las técnicas tradicionales. Teniendo en cuenta la importancia en la etnografía crítica y en la IAP de generar proyectos o productos concretos a partir de los procesos de comprensión e integración de las experiencias, esta fase concluyó con la creación de una carta de colores y un proceso detallado de las tonalidades obtenidas a partir de plantas tintóreas.

De esta manera, en estas charlas se tuvieron en cuenta principios planteados por autores como Vidal y Vargas (2021), quienes señalan la importancia de fortalecer el sentido de propiedad cultural mediante prácticas que promuevan el conocimiento ancestral, permitiendo una preservación auténtica y sostenible de las tradiciones relacionadas con el teñido natural. Por ello, fue importante que en esta primera etapa del proyecto se discutiera la historia y el simbolismo de los tintes, llegando a la idea de crear recetarios como medio para avanzar en lo que tiene que ver con la documentación de las técnicas tradicionales. Teniendo en cuenta la importancia en la etnografía crítica y en la IAP de generar proyectos o productos concretos a partir de los procesos de comprensión e integración de las experiencias, esta fase concluyó con la creación de una carta de colores y un proceso detallado de las tonalidades obtenidas a partir de plantas tintóreas.

Posteriormente, se desarrolló la etapa de conservación, centrada en la transmisión de conocimientos sobre el teñido artesanal y la conservación de tintes naturales. Para ello, se llevó a cabo un taller práctico que abordó conceptos clave como el significado de los colores en la lana y la identificación de plantas tintóreas, teniendo en cuenta que la capacitación de la comunidad debía partir de una comprensión detallada de los temas, elementos y productos que se integran en el desarrollo de las prácticas productivas. Fue importante que, en medio de estos procesos de transmisión de los conocimientos, los participantes exploraran los significados culturales asociados con el uso de los tintes, compartiendo experiencias y socializando conocimientos importantes que han venido acumulando a lo largo de la práctica. Posteriormente, en esta fase se llevó a cabo una actividad de herborización para recolectar muestras de plantas tintóreas locales, y se documentaron los conocimientos sobre las especies utilizadas, sus colores asociados y el proceso de preparación. Como medio para fortalecer el vínculo entre los facilitadores y la comunidad, también se desarrolló un almuerzo comunitario, teniendo en cuenta que para la comunidad estos espacios de encuentro en torno al alimento resultan ser esenciales para construir lazos de confianza.

De esta manera, a través del proyecto se iba entendiendo que, en el caso de las comunidades indígenas, la gestión cultural como eje en la articulación de nuevos procesos de transmisión cultural y rescate de la identidad se establece como un pilar esencial en el rescate de las etnias que han tenido que sufrir diversos tipos de abusos, que van desde el desconocimiento por parte del Estado de sus derechos, hasta la falta de estrategias y políticas que permitan insertar sus modelos de vida

y de producción a las lógicas económicas que existen en el país. En efecto, una de las principales problemáticas de las comunidades indígenas es que no se han logrado articular sus cosmovisiones particulares con modelos de producción desde los cuales se promuevan nuevos estímulos económicos, lo cual ha generado como resultado abusos, desconocimientos de la propiedad intelectual, falta de capacitación y promoción habilidades técnicas, y un progreso debilitamiento de las estructuras sociales y culturales que resulta ser esenciales en el mejoramiento de los procesos productivos.

Por ello, la tercera etapa se enfocó en la transmisión de saberes ancestrales de las maestras artesanas a la comunidad. Se recopilaban relatos sobre el proceso de tinturado, los elementos utilizados y las prácticas tradicionales. Posteriormente, se documentó el conocimiento sobre las plantas tintóreas y sus colores asociados, como el gris para el Marco, el azul para el Eucalipto, el amarillo para la Chilca, y el verde para la Lengua de Vaca. Esta información se incorporó en una reconstrucción de los signos cromáticos y se prepararon las bases para la experimentación y estandarización de los procesos en las siguientes etapas del proyecto.

De esta forma, se dio paso a la etapa de experimentación, en la cual se realizó un taller de tintes naturales. En particular, se produjeron actividades con las plantas recolectadas, de tal manera que se comenzara a articular el conocimiento teórico adquirido en las etapas previas con la práctica. Los ejercicios incluyeron el teñido de lana de ovejo utilizando las especies tintóreas Marco, Eucalipto, Chilca y Lengua de Vaca. A partir de la participación de la comunidad, se crearon muestras que reflejaron una paleta de colores que variaba de amarillos a verdes. Además, se socializó la importancia de la utilización de mordientes para ampliar la gama de colores, mostrando ejemplos concretos, y se desarrolló una carta de color de siete pigmentos.

El proceso de tintura inicia cuando se devana la lana en madejas de 100 gramos y se realizan amarres para mantener los hilos uniformes. Después, se humedecen las madejas, se introduce la fibra en la olla que lleva el material tintóreo y se revuelve constantemente, hasta llegar a una temperatura máxima de 70 °C. Luego, se retira la lana de ovejo del recipiente y se deja en reposo hasta que alcance la temperatura ambiente. Se lava con abundante agua y se cuelga en un espacio cerrado, lejos de la luz solar. Los colorantes naturales al alcance de la zona de Tasmag ofrecen una

paleta de color que va de amarillos a verdes. Para ampliar esta paleta de color, se procede a una nueva actividad de experimentación mediante reacción de colorantes por medio de los mordientes. Finalmente, los resultados de la experimentación se registraron en una bitácora de campo y en el diario de campo del proyecto.

En la etapa cinco se determinaron las reacciones de los colorantes naturales con diferentes mordientes. Para ello, se llevó a cabo un taller teórico-práctico para ampliar la paleta de colores de los pigmentos naturales, empleando mordientes como sulfato ferroso, alumbre y crémor tártaro para ajustar las tonalidades de los colores obtenidos. Se documentaron los procesos de mordentado, tanto antes como después de aplicar el tinte, y se desarrollaron cuatro recetas estandarizadas para los tintes naturales. La información se registró en la bitácora de campo y en el diario de campo, proporcionando un recetario detallado para futuras referencias y prácticas que le permitan a la comunidad seguir profundizando procesos que integran la transmisión de los conocimientos con la transformación, de tal manera que puedan seguir avanzando en el desarrollo de nuevas capacidades relevantes en sus procesos de desarrollo y gestión cultural.

Finalmente, en la última etapa se diseñó y publicó una cartilla que documenta los tintes naturales de la zona y sus aplicaciones en la lana de ovejo. La cartilla incluyó la información recolectada durante las etapas previas, además de ilustraciones digitales y retoques fotográficos. Esta cartilla se presentó en formato físico y digital, incluyendo secciones sobre la historia de la asociación, herramientas, productos tradicionales, y una guía detallada sobre los tintes y mordientes. La cartilla final, impresa en papel propalcote y encuadernada en pasta dura, también incluyó una muestra física en corte láser que ilustra los resultados del proyecto, consolidando el conocimiento y la práctica del teñido natural en la comunidad.

La documentación se establece como un factor relevante en la etnografía, ya que permite relacionar una serie de experiencias concretas que se viven a través de la práctica, a través de un proceso por medio del cual se sistematiza la información, se revisan las lecciones aprendidas, se identifican los errores y además se exploran nuevas posibilidades en el fortalecimiento de capacidades relevantes dentro de un contexto natural (Kemmis y McTaggart, 2000). La etnografía, en este sentido, permitió establecer un diálogo de las narrativas locales, teniendo en cuenta que así las personas hagan parte de una misma cultura o posean una misma historia

compartida, pueden tener distintas visiones sobre el conjunto de necesidades, oportunidades y problemas que existen en el entorno. De esta manera, autores como Paño (2022) señalan que la colaboración continua, la integración de los saberes y el desarrollo de procesos de colaboración que permitan darle voz a las personas que comúnmente aparecen como marginadas en los procesos de interacción y toma de decisión, puede ayudar a superar la influencia de los discursos dominantes, apoyando de esta manera nuevos enfoques de construcción de la identidad cultural.

En este sentido, se puede decir que el resultado tangible del proyecto fue una cartilla en la cual se documentó y compartió el conocimiento relacionado con la materia prima y las plantas tintóreas del territorio de Los Pastos y sus procesos dentro de la práctica cultural tradicional de la guanga. La cartilla permite reconocer elementos importantes asociados con la historia de esta práctica, la descripción del saber, de la práctica y de la técnica del proceso de teñido. Además, presenta las fichas de recolección y teñido de especies nativas de la zona. La cartilla se establece no solo como constancia del proceso educativo de sensibilización cultural en la comunidad, sino también como una herramienta esencial para avanzar en la protección y reproducción de los saberes locales. Por ello, se realizó la impresión de 10 cartillas, las cuales se entregaron a la Secretaría de Cultura, a la Comunidad y a diferentes colegios de la vereda con el apoyo de la asociación y los directores de las escuelas de Tasmag.

DISCUSIONES

A partir de la experiencia desarrollada, es importante entender que la gestión cultural puede facilitar la revalorización de las prácticas artesanales, teniendo en cuenta las teorías de gestión cultural que promueven la sostenibilidad y el empoderamiento comunitario. Por ello, desde el análisis que se ha planteado, se puede decir que la gestión cultural se inserta en un proceso de acompañamiento a las comunidades, el cual ha estado atravesado por una serie de cambios y transformaciones que han tenido que establecer como medio para sobrevivir, para afrontar las condiciones sociales y económicas precarias, para resistir procesos por medio de las cuales el Estado hace usos de sus territorios sin considerar dinámicas y principios de sostenibilidad y de respeto por la naturaleza.

En este sentido, se pueden tener en cuenta las apreciaciones de autores como Armijo (2021), quien explica que la gestión cultural se establece como un catalizador para el desarrollo sostenible de las comunidades. Según Rangel (2019), la gestión cultural efectiva debe integrarse profundamente con las realidades socioeconómicas de las comunidades, ayudando a generar nuevas oportunidades para la autoorganización y el empoderamiento local. De esta forma, el desarrollo de los talleres con la comunidad ha permitido reconocer que la tejeduría no solo se puede mejorar y fortalecer a través de la valoración y protección de las tradiciones artesanales, sino que también responde a un enfoque proactivo en la creación de oportunidades económicas, y puede mejorar la capacidad de las comunidades de adaptarse a las presiones externas.

La gestión cultural, de esta manera, se convierte en una herramienta crucial para fortalecer la resiliencia comunitaria (Rodríguez et al., 2020); para promover la sostenibilidad desde perspectivas que integran los conocimientos de las comunidades sobre el entorno con capacidades prácticas de organización comunitaria y transmisión de conocimientos (Serrano, 2020), y para propiciar esquemas de conservación y evolución de las prácticas culturales en un contexto de transformación continua (Vidal y Vargas, 2021).

En este sentido, es importante reconocer otras experiencias que se han venido desarrollando para promover una gestión cultural como eje del desarrollo de mejoras en lo que tiene que ver con la tejeduría tradicional ancestral. Se destaca el caso, por ejemplo, de la comunidad Zenú en el Departamento de Sucre, en donde la tejeduría se ha configurado como un ejemplo paradigmático de cómo la gestión cultural puede contribuir a la revitalización y sostenibilidad de las prácticas tradicionales. En esta comunidad, la tejeduría, que tradicionalmente ha sido una manifestación central de su identidad cultural, ha sido impulsada por iniciativas de gestión que promueven tanto la preservación de las técnicas ancestrales como la adaptación a nuevas realidades económicas. Por medio de proyectos de capacitación y comercialización, así como de la integración de estrategias de turismo cultural, la comunidad Zenú ha logrado no solo mantener viva su tradición, sino también generar ingresos y fortalecer su cohesión social (Rangel, 2019).

También es importante tener en cuenta el caso de la comunidad Wayuu, en La Guajira, pues la gestión cultural ha jugado un papel fundamental en la preservación

y revitalización de sus prácticas textiles tradicionales, particularmente el tejido de mochilas conocidas como “mochilas Wayuu”. Finalmente, es importante hacer referencia a la comunidad Kogi en la Sierra Nevada de Santa Marta, ya que sus tejidos son una manifestación fundamental de su cosmovisión y su conexión con el entorno natural. En este caso, explican Ortiz y León (2020), la gestión cultural ha sido clave para apoyar a la comunidad Kogi en la protección y promoción de estos tejidos, a través de iniciativas que incluyen la documentación de técnicas tradicionales y la capacitación de las nuevas generaciones en el arte del tejido.

Las prácticas tradicionales documentadas en la cartilla generada como resultado final del proyecto pueden contribuir a la sostenibilidad cultural a largo plazo, asegurando que estas prácticas no solo se preserven, sino que también evolucionen y se adapten a nuevos desafíos y contextos. Sin embargo, también existen retos importantes, teniendo en cuenta que, como lo señala De La Hoz (2022), la falta de una estrategia de mercado efectiva para los tejidos artesanales ancestrales ha resultado en una valoración económica limitada, desinterés de las nuevas generaciones, y desigualdades económicas y sociales. Además, la ausencia de un mercado sólido para los productos generados a través de la tejeduría ancestral puede derivar en un riesgo alto de pérdida de las técnicas tradicionales (Artesanías de Colombia, 2023). Cabe tener en cuenta también que las estrategias de comercialización que no comprenden el significado cultural de la tejeduría pueden provocar la explotación y problemas de propiedad intelectual.

Sin embargo, la experiencia con la comunidad de Los Pastos permite reconocer que estas prácticas se han convertido en un acto de resistencia cultural frente a la globalización que revelan tensiones entre la mercantilización y la preservación de valores autóctonos, por lo cual es preciso seguir dándoles un papel protagónico a las comunidades, fomentando su participación e integrándolas activamente en nuevos procesos de capacitación y desarrollo continuo de conocimientos.

CONCLUSIONES

El proyecto “Guanga: tejiendo identidad y resistencia” ha logrado significativos avances en la preservación y revitalización de los saberes y técnicas artesanales de la comunidad de Los Pastos, pues se ha logrado despertar un renovado interés

en la comunidad por mantener sus tradiciones, incluyendo el conocimiento sobre los símbolos, los significados y el teñido natural con plantas tintóreas regionales.

Entre los resultados clave del proyecto se destacan el desarrollo de una carta de colores derivados de la flora local, los cuales se relacionan con el imaginario y la espiritualidad que conecta a la comunidad con sus ancestros, su cosmovisión y su territorio. También se compiló un herbario con información relevante sobre las plantas tintóreas de la región, lo cual puede servir como recurso educativo y de referencia para futuras generaciones. Finalmente, se diseñaron e imprimieron 10 cartillas sobre tintes naturales aplicados a la lana de ovejo, basadas en plantas de la zona andina, las cuales se distribuirán para compartir el conocimiento adquirido.

A lo largo del proyecto, se mantuvieron registros detallados de las experiencias y aprendizajes obtenidos en cada taller, proporcionando una valiosa documentación del proceso participativo y colaborativo entre la comunidad y los profesionales involucrados. El diseño e implementación de este tipo de proyectos que integran la gestión cultural con la IAP y la etnografía crítica permite avanzar en una mejor comprensión de la historia y las necesidades de las comunidades, orientando de esta manera nuevas oportunidades que permitan aprovechar las riquezas del entorno y aportar en esas luchas y procesos de resistencia que son esenciales para mantener vivas las tradiciones de las comunidades. El proyecto que se ha desarrollado, por tanto, se establece como una muestra relevante de la memoria histórica de la comunidad de Los Pastos, y en un ejemplo importante que puede ser tenido en cuenta por otras comunidades para asegurar que sus saberes y tradiciones se sigan transmitiendo en las nuevas generaciones.

REFERENCIAS

- Acea, Y. (2016) El sistema de propiedad intelectual y la protección de los conocimientos tradicionales. *Apuntes necesarios. Alegatos*, 12(3), 25-55.
- Aguilar Torres, A. L. ., & Pacheco García, A. (2022). Organizaciones Culturales de la Sociedad Civil: Modelos de gestión cultural y administrativa. *Estudios Sobre Las Culturas Contemporáneas*, 25(50), 47–72.
- Alfonso, Y. (2020). El telar en Cucunubá, tradición que aún se teje a través del diseño contemporáneo. *Designia*, 7(2), 129-165.
- Arévalo, R. (2018). Iconografía en el diseño textil de la nacionalidad puruhá, Chimborazo. Universidad de Palermo.
- Armijo Cabrera, M. (2021). Investigar las experiencias infantiles con post-etnografía escolar visual: dilemas epistemológicos. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 11(1), 85-99.
- Artesanías de Colombia. (2019). *Bitácora de diseño "Asopicumbes" Cumbal 2019*. <https://repositorio.artesaniasdecolombia.com.co/bitstream/001/5498/4/INST-D%202019.%2071.%203.pdf>
- Artesanías de Colombia. (2023). *Informe de gestión*. https://artesaniasdecolombia.com.co/Documentos/Contenido/39885_informe_gestion_v1_03032022.pdf
- Castañeda, S., Cáceres, R., y Peña, D. (2019). *Tejiendo la vida: los textiles en Q'ero*. Cusco: Biblioteca nacional del Perú.
- Castillo Suescún, M. C. D. (2018). *Cosmovisión entretejida: Un reconocimiento al patrimonio inmaterial de las artesanas tejedoras de Sutatausa*
- De la Hoz, D. (2022). Resistencia del hecho artesanal en un contexto globalocal: tejeduría artística de San Jacinto, Bolívar (Colombia). *Revista de Fomento Social*, 77(2), 211–236.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2021*. <https://www.dane.gov.co/files/censo2021.pdf>

Descombes, V. (2015). *El idioma de la identidad*. Buenos Aires: Cadencia editora

Ferrer, D. (2018). *Sorín: Desarrollo de productos neoartesanales con artesanas tejedoras de San Jacinto, Bolívar* [Tesis de pregrado, Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/34666?locale-attribute=en>

Guadir, L. (2015). *La seguridad alimentaria y nutricional desde una perspectiva de un enfoque diferencial en la comunidad del resguardo indígena de Cumbal*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Gutiérrez, F. (2019). El impacto cultural de la tejeduría ancestral en comunidades indígenas de Colombia. *Revista de Antropología Cultural*, 12(3), 45-62.

Guzmán, A. (2020). Trabajo comunitario: eje esencial en la gestión cultural comunitaria. *Revista Didasc@lia*, 4(7), 44-56.

Hernández, K., y Torres, I. (2019). *Diseño y construcción de un kit didáctico que facilite la elaboración del tejido Guane para fomentar la recuperación de la técnica ancestral* (Proyecto de grado). Programa de Diseño Industrial, Universidad de Investigación y Desarrollo

Kemmis, S., & McTaggart, R. (2000). Participatory action research (2nd ed.). In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 567-606). Sage Publications.

Márquez, F. (2021). Lecciones del sur para una etnografía desde el sur. *Plural. Antropologías Desde América Latina y Del Caribe*, 7, 19-28.

Ortiz, A., y León, D. (2020). *Diseño de indicadores para la evaluación del impacto de una política nacional en el área de tejeduría*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación en Estadística. Recuperado de <https://repositorio.uptc.edu.co/items/6f6660f6-9e1c-4d45-9f3b-d3c43b5a5db9>

Paño Yáñez, P. (2022). Etnografías críticas de acción participativa. *Relmecs: Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 12(3), 25-55. Recuperado de <https://www.relmecs.fahce.unlp.edu.ar/article/view/relmecse114>

Acea, Y. P. (2016). El sistema de propiedad intelectual y la protección de los conocimientos tradicionales: Apuntes necesarios. *Alegatos*, 12(3), 25-55

Rangel Barragan, M. C. (2019). El papel de las prácticas artísticas en la construcción de memoria histórica: El caso de las víctimas de Sonsón [Tesis de pregrado, Universidad Colegio Mayor Nuestra Señora del Rosario]. <https://repository.urosario.edu.co/items/4e2262e6-1576-48c1-8398-165a5925b1e5>

Reason, P. & Bradbury, H. (2011). *Handbook of action research: Participative inquiry and practice*. Sage Publications.

Reguillo, R. (2015). *Horizontes fragmentados: Comunicación, cultura, pospolítica. El (des)orden global y sus figuras*. Jalisco: ITESO.

Rodríguez Trigo, S. (2024). *La profesión de la gestión cultural en España: Análisis interdisciplinario sobre su evolución, formación y adaptación en la era digital postpandemia* [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/206073?show=full>

Rodríguez Villamil, C. E., Gutiérrez González, S. M., Rodríguez Cifuentes, L. A., y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2020). *Memorias de oficio: Tejeduría Arhuaca: Sierra Nevada de Santa Marta*. Artesanías de Colombia.

Rodríguez, M. E. (2022). La etnografía crítica: Un transmétodo rizomático transcomplejo en la transmodernidad. *Perspectiva*, 22(2), 33-45.

Serrano Avendaño, S. (2020). *La importancia del uso de iconografías y simbologías representadas en los tejidos artesanales desarrollados por algunas comunidades indígenas de Perú, Colombia, Ecuador y Bolivia* (Informe académico). Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Arquitectura y Diseño.

Stringer, E. T. (2013). *Action research* (4th ed.). Sage Publications.

Szafran, P. 8 (2021). Treinamento em gestão cultural no ensino de Biblioteconomia: A experiência na Universidade da República. *Revista Brasileira de Educação em Ciência da Informação*, 8(1), 18–33.

Tarapues Cuaical, P. F. (2022). *Recuperación del saber ancestral del territorio Tasmag, municipio de Cumbal (Departamento de Nariño), para fortalecer procesos de alimentación en Bogotá* [Tesis de pregrado, Universidad Externado de Colombia. <https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/44d7d441-7753-42b4-8297-27ffe1320d89>

Thomas, J. (2013). *Doing critical ethnography*. Newbury Park, CA: SAGE Publications, Inc.

Vidal Prada, E., y Vargas Espitia, A. (2021). El tejido Guane: Importancia y propuesta de preservación desde la conjunción entre artesanía, educación y diseño. *La Tadeo DeArte*, 7(8), 136–159.

Walls Ramírez, M. (2020). Aportes de la comunicación para la difusión del patrimonio cultural. *Revista de Ciencias de la Comunicación e Información*, 25(1), 49–55.

Modelo Matemático para Evaluar la Eficiencia de Inmovilización del Cadmio en el Suelo en Fitoestabilización y Compostaje

María Paula Rodríguez Sepúlveda

Ingeniera Ambiental

Mail: mariapaular868@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4396-0087>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002037690

Filiación Institucional: Universidad Sergio Arboleda

Víctor Augusto Lizcano Sandoval

Doctor en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Magister en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Ingeniero Ambiental

Mail: victor.lizcano@usa.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1569-4784>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000874477

Filiación Institucional: Universidad Sergio Arboleda

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Rodríguez Sepúlveda, M. P. y Lizcano Sandoval, V. A. (2024). Modelo matemático para evaluar la eficiencia de inmovilización del cadmio en el suelo en fitoestabilización y compostaje en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 347-398). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

La contaminación de suelos por cadmio (Cd) es un problema ambiental grave debido a su impacto en los acuíferos. Este trabajo revisa y plantea un modelo matemático sobre la remoción de Cd en suelos mediante fitoestabilización y compostaje, evaluando la adsorción y la formación de enlaces de coordinación. Se analizaron metodologías para medir la cantidad de Cd en plantas y suelos, y se aplicaron modelos de balance de materia y las isotermas de adsorción de Freundlich y Langmuir en un modelo matemático para el cadmio. Se concluye que el modelo basado en el modelo de isoterma de Langmuir se adapta más a los resultados experimentales de los estudios asociados al compostaje.

Palabras Clave: Adsorción, quelatos, ecuación de Freundlich y Langmuir.

MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING SOIL CADMIUM IMMOBILIZATION EFFICIENCY IN PHYTOSTABILIZATION AND COMPOSTING

ABSTRACT

Cadmium (Cd) contamination of soils is a serious environmental problem due to its impact on aquifers. This work reviews and proposes a mathematical model of Cd removal from soils by phytostabilization and composting, evaluating adsorption and coordination bond formation. Methodologies to measure the amount of Cd in plants and soils were analyzed, and matter balance models and Freundlich and Langmuir adsorption isotherms were applied in a mathematical model for cadmium. It is concluded that the model based on the Langmuir isotherm model is more adapted to the experimental results of the studies associated with composting.

Keywords: Adsorption, chelates, Freundlich and Langmuir equation.

INTRODUCCIÓN

La generación de aguas residuales es un problema que se acrecienta a medida que la población humana y su nivel de consumo aumentan. De acuerdo con cifras reportadas por el Banco Mundial (2020), cerca del 20 % de las aguas residuales del planeta (industriales, domésticas e institucionales) reciben algún tipo de tratamiento. Esto implica que el resto de las aguas residuales sean vertidas directamente a los cuerpos de agua natural y a los suelos. Entre estos contaminantes se destacan los provenientes de la industria minera, la cual se caracteriza por sus vertimientos con altas concentraciones de metales pesados.

En el caso de los suelos, los cuales actúan como filtro y fuente de almacenamiento de contaminantes orgánicos e inorgánicos, la presencia de metales pesados genera una afectación en su estructura y sus propiedades físico-químicas y biológicas. El almacenamiento de estos contaminantes se realiza por medio de diversos procesos, principalmente por medio de la adsorción. A medida que aumentan las concentraciones de metales pesados debido a los vertimientos, los medios de adsorción disponibles en las partículas del suelo (como lo son las arcillas y la materia orgánica) se saturan, causando que los metales comiencen a moverse a través del perfil del suelo hasta llegar a las capas más profundas o cuerpos de agua.

Como consecuencia se genera un aumento de la concentración de estos contaminantes, afectando en los suelos su ciclo ecológico, e impactando su fertilidad, rendimiento, condiciones de hábitat microbiano y la actividad de las enzimas microbianas, la variación del pH y las propiedades físicoquímicas (Ducey et al., 2021; Bacilio-Jiménez et al., 2022; Novak et al., 2019; Hazrati et al., 2020). Generalmente, la pérdida de estructura del suelo debido a las altas concentraciones de elementos tóxicos (metales pesados) genera un déficit de nutrientes y de materia orgánica, impulsando los procesos de erosión (Frutos et al., 2016). El manejo de estos vertimientos se ha convertido en un tema de gran importancia, ya que ha traído riesgos a la salud y otros tipos de riesgos biológicos (Jehan et al., 2023; Makombe & Gwisai, 2018). Debido a que los metales no son biodegradables y posteriormente contaminan la cadena alimenticia, llegando a los alimentos que se consumen, integrando una problemática de salud ambiental (Jehan et al., 2023; Makombe & Gwisai, 2018).

Los organismos fotosintéticos constituyen la principal fuente de introducción de metales pesados en la cadena alimenticia de humanos y animales. Los metales no esenciales, como el cadmio (Cd^{+2}), pueden llegar a ser altamente tóxico, y causar efectos tóxicos en muy bajas concentraciones (Bali et al., 2020). El Cd con número atómico 48, peso atómico 112,41 y densidad $8,65 \text{ g/cm}^3$ es un metal gris azulado plateado (Bali et al., 2020). Pertenece al grupo 12 de la tabla periódica con configuración electrónica de $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2$. Es blando, maleable, dúctil e insoluble en agua (Bali et al., 2020). El Cd existe en estados de oxidación +1 y +2; sin embargo, el estado de oxidación +2 es el más común (Bacilio-Jiménez et al., 2022).

La concentración principiando que sus propiedades tóxicas pueden llegar a generar graves consecuencias en la salud humana (Montuelle & Steinman, 2011). La ingesta de alimentos contaminados y el tabaquismo son las principales vías por las que el Cd ingresa al cuerpo. (Ali et al., 2013; Montuelle & Steinman, 2011). Una vez ingerido afecta varias enzimas del cuerpo, llegando a ser carcinogénico, mutagénico, teratogénico, disruptor endocrino, interfiriendo con la regulación del calcio en los sistemas biológicos y causando insuficiencia renal y anemia crónica (Ali et al., 2013; Montuelle & Steinman, 2011).

Hoy en día existen variedad de procesos convencionales para la remediación de los suelos contaminados por causa de actividades mineras. Sin embargo, muchos de estos llegan a tener un costo muy elevado, como son los tratamientos térmicos, nocivos para el medio ambiente, con requerimientos de soporte técnico especializado y envuelven prácticas destructivas (Bacilio-Jiménez et al., 2022). Las técnicas in situ requieren tiempos de tratamiento más prolongados y presentan incertidumbre debido a la variabilidad en las características del suelo, lo que dificulta la verificación de la eficacia del proceso. Cuando son ex situ, está la necesidad de excavar el suelo, el aumento en costos e ingeniería para los equipos y se debe considerar la manipulación del material y la posible exposición al contaminante (Volke & Velasco, 2002). Adicionalmente, los fluidos de extracción, en los tratamientos físicoquímicos pueden aumentar la movilidad de los contaminantes en el suelo (Volke & Velasco, 2002). Aun así, se encuentran técnicas y tecnologías de bajo costo como la fitorremediación, que usa plantas bioacumuladoras capaces de crecer en condiciones de extrema toxicidad, y el uso de enmiendas como la aplicación del compostaje, donde las características físicoquímicas de este generan procesos de atracción catiónica para reducir la concentración de metales pesados en el suelo (Ducey et al., 2021; Bacilio-Jiménez et al., 2022).

Actualmente, la investigación sobre la remoción de Cd mediante fitorremediación o compostaje es incipiente. La mayoría se enfoca en estudios experimentales que evalúan la distribución de metales pesados en plantas durante procesos de fitorremediación, compostaje o combinaciones de ambos (Ducey et al., 2021; Bacilio-Jiménez et al., 2022; Novak et al., 2019; Frutos et al., 2016; Makombe & Gwisai, 2018). Pocas incluyen modelos matemáticos que consideren variables como pH, materia orgánica y temperatura.

Aunque la fitorremediación abarca diversos mecanismos para la remoción y estabilización de contaminantes, entre los cuales destacan la fito-volatilización, fito-extracción, fito-degradación, fito-estabilización y rizo-degradación. En esta investigación, el enfoque se centra en el proceso de adsorción como método de remediación de suelos contaminados con metales pesados, utilizando principalmente la fito-estabilización y la aplicación de compostaje para facilitar la inmovilización de cadmio en el suelo mediante la atracción catiónica. Para cumplir con el objetivo de la investigación, primero se realizará una revisión sistemática de los procesos involucrados en la inmovilización del cadmio, explorando las interacciones que facilitan la retención del metal en el suelo y su interacción con las enmiendas aplicadas.

Además, se planteará un modelo matemático basado en el balance de masas y las isothermas de Freundlich y Langmuir, con el fin de describir y predecir la eficiencia de la inmovilización del cadmio en suelos tratados. Este modelo permitirá analizar cómo diferentes parámetros afectan el proceso de retención de cadmio, considerando las variables clave de adsorción en el suelo y la influencia del compost. Posteriormente, se llevará a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar cómo la variación en estos parámetros impacta la efectividad del modelo, permitiendo una comprensión más profunda de los factores críticos en la remoción de cadmio y la optimización de estrategias de fitorremediación.

REFERENTES

En esta investigación se resalta el trabajo del profesor Hernán Burbano Orjuela, ingeniero agrónomo en el Instituto Tecnológico Agrícola de la Universidad de Nariño. Gracias a su gran trabajo investigativo enfocado en el comportamiento del suelo colombiano, fue que se encontró una base teórica para el inicio de la investigación (Burbano y Silva, 2010).

En el libro denominado "Ciencia del suelo: Principios básicos" de la sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, donde él, junto con otros profesionales, explica el funcionamiento, los enlaces de coordinación y el impacto de la materia orgánica (Burbano y Silva, 2010).

Cabe resaltar que, se tomaron como referente todos aquellos estudios citados en la presente investigación, enfocados en la remoción de los metales pesados en el suelo y agua. Resaltando aquello, se especializaron en la remoción de cadmio y en la evaluación de las isothermas de Freundlich y Langmuir. Enmarcando la investigación de Wang et al. (2019) y Zemiani et al. (2021) para el análisis de la sensibilidad de los modelos matemáticos.

METODOLOGÍA

El planteamiento de un modelo matemático enfatizado en la remoción de Cd por adsorción en procesos de Fito estabilización y compostaje requirió de una búsqueda de literatura relacionada con los mecanismos de fitorremediación y de enmiendas con la aplicación de compostaje, ambos relacionados con la adsorción. Durante esta etapa se realizó una revisión sistemática con ayuda de bases de datos Scopus y Web of Science (WoS). Estas bases de datos ayudaron a encontrar información confiable y de alta calidad con respecto a las investigaciones realizadas sobre el tema a abordar. Lo anterior con el fin de tener un panorama más completo con respecto a las investigaciones que se han realizado enfocadas en suelos contaminados con cadmio y sus diversas formas de remediarlo.

Para la determinación de la etapa crítica del cadmio en un proceso de remediación por compostaje, se realizó un análisis bibliométrico con literatura relacionada con biorremediación con compostaje. Durante la búsqueda de referencias bibliográficas, se seleccionaron artículos indexados, las bases de datos Scopus y WoS durante el periodo 2000-2023.

En el proceso de organización, selección y sistematización de referencias bibliográficas se empleó la siguiente ecuación de búsqueda: "Compost" AND "Heavy metals" AND "Mining" dentro del rango de fechas mencionadas anteriormente. Los artículos duplicados y no indexados fueron excluidos del análisis de los resultados del motor de búsqueda.

Como herramienta de vigilancia sistemática se utilizó Bibliometrix v.4.1. Esta herramienta ayudó con el proceso de crear matrices de datos de cocitación, acopilamiento, análisis de colaboración científica, análisis de palabras compartidas y para los análisis bibliométricos. Además, se usó principalmente para realizar un mapeo de la ciencia, es decir, sintetizar los hallazgos de los investigadores.

A partir de la recopilación de información obtenida de las bases de datos científicas, se identificaron las palabras claves, variables y parámetros que influyen en la inmovilización de los metales pesados en el suelo por medio de compostaje y fitorremediación. Teniendo en cuenta que la presente investigación está enfocada en la remoción del cadmio, se utilizó como segunda ecuación de búsqueda las siguientes palabras: "Cadmium", "Remediation" y "Compost", las cuales se tomaron como ejes temáticos.

Posteriormente, se realizó otra búsqueda bibliográfica más específica enfocada en el proceso teórico de adsorción de los metales pesados, en la fitoestabilización y en la aplicación del compostaje. Con el fin de identificar los factores que afectan ambos métodos y cuáles factores se diferencian. Adicionalmente, evaluó la eficacia del compostaje frente a otras técnicas de remediación y se realizó una comprensión del comportamiento de los metales pesados dentro de estas enmiendas para poder realizar la identificación del comportamiento del Cadmio en específico, usando las investigaciones experimentales.

Una vez se llevó a cabo lo anterior, se tuvo en cuenta la integración de modelos de isotermas de Langmuir y Freundlich y la ecuación general de los balances de materia, importantes para describir cómo interactúan las moléculas o los iones del adsorbato con los sitios superficiales del adsorbente. Para los modelos matemáticos desarrollados, se realizaron suposiciones con respecto al tiempo: la masa del adsorbente, el volumen, la constante cinética, la concentración inicial, entre otros. Adicionalmente, se establecieron límites dentro del modelo donde se aplicó el balance de masa de un reactor tipo Batch y se identificaron las variables y factores que afectan el proceso (dependiente e independientes).

Posteriormente, se determinó, por medio de una modelación matemática en Python, la correlación de las variables dentro del sistema de control, mediante la variación de los valores de las variables anteriormente mencionadas. Después, se formuló

una hipótesis sobre el comportamiento del sistema que consideran verdaderas para el propósito del modelo. Con esto se desarrollaron ecuaciones diferenciales que representan tasas de cambio de las variables aplicando principios físicos, químicos y biológicos. Una vez estuvieron las ecuaciones, se resolvió las ecuaciones diferenciales para la obtención de funciones que describan el comportamiento del sistema.

Finalmente, se verificó y comparó el modelo matemático con ayuda base de estudios semejantes al tema abordado en este. Para implementar un análisis cuantitativo más detallado que incluya la modelización predictiva para evaluar el comportamiento a largo plazo del cadmio inmovilizado en el suelo, y validar estos modelos con datos experimentales adicionales, se tomaron en cuenta datos de las investigaciones experimentales.

Por último, se realizó un análisis de sensibilidad, para estudiar los cambios que se producen en una variable cuando se introducen ciertas variaciones en las condiciones ambientales dentro del modelo matemático. Adicionalmente, se evalúa el impacto en la eficiencia de la inmovilización del cadmio. Para esto primero se aplicó el modelo matemático de la presente investigación con las variables identificadas. Después se estableció un rango de valores que cada variable independiente puede tomar. Posteriormente, se seleccionó el método de análisis unidimensional para realizar los cálculos necesarios y la correspondiente interpretación de los resultados.

RESULTADOS

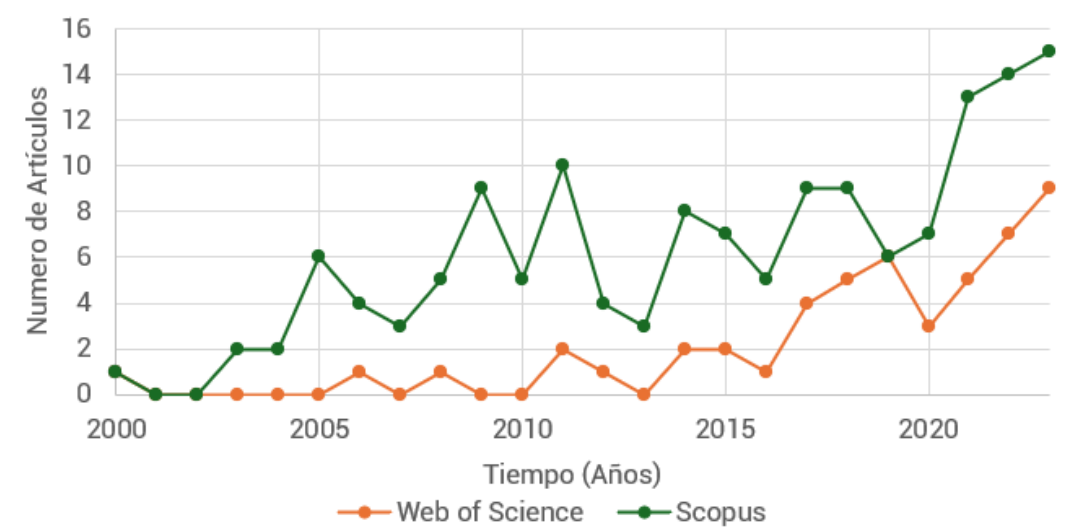
SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE CAMPOS BIBLIOGRÁFICOS

En la primera segregación se obtuvieron 197 artículos científicos con la primera ecuación de búsqueda. De Scopus 147 y de WoS fueron 50 artículos. En cuanto a la producción anual de artículos relacionados con los métodos de remediación de suelos contaminados por metales pesados, se observa que a partir del 2000 fue incrementando el número de investigaciones (figura 1). Sin embargo, no fue progresivo durante el tiempo, dado que en el año 2001 y 2002 no hubo publicaciones reportadas en este tipo de base de datos con respecto al tema de la investigación. Se evidencia que la base de datos de Scopus fue la que anexo más publicaciones a

lo largo de los años. Con base en lo anterior y en la poca producción sobre el tema a evaluar, se consideró que el intervalo de tiempo entre el 2000 y el 2023 fue pertinente para poder obtener una alta variedad de artículos con información valiosa.

Figura 1

Evolución de las publicaciones durante los años en Scopus y Web of Science



Nota. Elaboración propia

En Web of Sciene, para los años con mayor cantidad de publicaciones (2019 y 2023), se evidencia que los artículos se centraron en la remoción de metales pesados aplicando enmiendas de biochar (biocenizas) y compostaje (derivado de seta), evaluando la absorción de estos en las raíces y tallos de los pastos de especie *Panicum virgatum* (Switchgrass). Adicionalmente, se realizan estudios enfocados en la habilidad del ácido húmico en la adsorción de los metales pesados (Sigua et al., 2019; Novak et al., 2014; Cheng et al., 2022; Madzin et al., 2022; Kiswanto & Wintah, 2023).

Por otro lado, en Scopus para los años 2021 y 2023, se evidencia que las investigaciones se enfocaron en temas más diversificados debido a la cantidad de artículos publicados con respecto al tema de investigación. Para el año 2021, los temas principales correspondieron a la inmovilización de los metales pesados por absorción de platas nativas de Tailandia, la remoción de metales pesados por medio de la aplicación de biopilas, la aplicación de la combinación de biochar y

compostaje con la fitoestabilización del maíz y la especie *Ailanthus altissima* (Miller) Swingle, el tratamiento de aguas residuales implementando plantas bioacumuladoras (Alidou-Arzika et al., 2021; Olivia et al., 2021; Milla-Moreno & Guy, 2021).

Para el año 2023, las investigaciones estuvieron enfocadas en la eliminación de sulfatos y metales pesados por medio de lodos de depuración y cenizas, la evaluación de la influencia de los fertilizantes en la remediación de los metales pesados con la especie *Pteris Vittata*, la aplicación de biochar y compost para mejorar las propiedades del suelo y el crecimiento de las plantas, la habilidad de adsorción de metales pesados del ácido húmico (Kiswanto & Madzin, 2023).

Cabe resaltar que los artículos con un idioma diferente al inglés y el español fueron descartados. Adicionalmente, durante el proceso de búsqueda se identificaron artículos repetidos en las bases de datos consultadas que no coincidían con el propósito de la investigación, los cuales fueron removidos del análisis.

ANÁLISIS POR EJES TEMÁTICOS Y POR AUTORES

Con la ayuda de la herramienta Bibliometrix 4.0, se identificaron las palabras más relevantes para las dos bases de datos, las siguientes: "Heavy metals", "Compost" y "Minning". Con base en el análisis realizado por la compilación de datos científicos, con ayuda de la herramienta, se definió una nueva ecuación de búsqueda para filtrar los artículos más afines con la remoción del cadmio por medio de fitorremediación y compostaje. Por lo anterior, se determinó como ecuación de búsqueda las siguientes palabras: "Cadmiun", "Remediation" y "Compost". A partir de esta búsqueda se identificaron ocho artículos en total, cuatro de WoS y cuatro de Scopus (Tabla 1).

Tabla 1

Comparación de la evaluación de la eficiencia del compostaje con otras técnicas de remediación

Tipo de enmienda	Metales Removidos	Eficiencia	Autores
Biochar de lechos de aves de corral, biochar con estiércol de vacuno mezclados con compostaje y Fitoestabilización con Maíz.	Cd y Zn	Se aplicaron varios tipos y cantidades de biochar y compostaje en el suelo. El estudio concluyó que al aplicar 5% de biochar de lechos de aves de corral y 5% de compost hay una mejora en las condiciones del suelo permitiendo un mejor crecimiento del pasto <i>Panicum virgatum</i> (Switchgrass) y una mayor remediación del Cd y el Zinc.	Ducey et al. (2021)

Tipo de enmienda	Metales Removidos	Eficiencia	Autores
Fitorremediación con la especie <i>Tecoma Stans</i> usando compostaje y residuos mineros como sustrato.	As, Cd, Cu, Mn, Pb, and Zn	Usaron 4 muestras: 1) Suelo solo, 2) suelo con 10% de compostaje, 3) Residuos mineros y 4) Residuos mineros con compostaje. Cuando el compostaje fue aplicado, decreció en un 28% el Cd. Sin embargo, se evidenció una eficiencia de remoción del Cd por fitorremediación del 37% acumulado en las hojas de la planta.	Bacilio-Jiménez et al. (2022)
Biochar de lechos de aves de corral, biochar de estiércol de vacuno, biochar de pino carrasco mezclado con compostaje y fitorremediación.	Cd, Zn y Pd	Se evidenció que el biochar de lechos de aves de corral neutraliza mejor el pH en comparación con los otros dos, sin embargo, el suelo tratado con 5% del biochar de estiércol de vacuno con 5% de compostaje tiene una mayor capacidad para reducir las concentraciones totales del Cd en el tallo y raíces del pasto <i>Panicum virgatum</i> (Switchgrass).	Novak et al. (2014)
Mezcla de biochar con nanopartículas de óxido de zinc dopado con hierro y Biochar.	Cr, Mn, Ni, Pb y Cu	El artículo evaluó la eficiencia de reducción de las concentraciones de metales pesados como el Mn, Cr, Cu, Ni y Pb, a partir del uso del pasto (<i>Parthenium</i>) Biochar, nanopartículas de óxido de zinc dopado con hierro y biochar modificado con las nanopartículas. Se concluye que la aplicación de nano particular con biochar demuestra efectos sinérgicos y un gran potencial en la inmovilización de metales pesados por absorción.	Jehan et al. (2023)
Biopilas combinado con lombricomposta.	Cu, Zn, Cd, Pb y As	Los resultados comprobaron que la combinación del biopilas con una dosis de 50 t/ha de lombricomposta es una buena técnica para la recuperación de áreas contaminadas, ya que mejora las propiedades del suelo y reduce el potencial de toxicidad. Adicionalmente, se concluye que, el Cd es el único elemento que tiende a acumularse en las lombrices.	Lorente-Casalini et al. (2021)
Fitoestabilización asistida con compostaje de residuos de setas industriales con paja de trigo.	Cd, Cu y Pb	Como resultados se obtuvo que: La dosis más eficiente de compostaje fue de 80 t/ha y se evidencia que reduce la acidificación en el suelo y tiene la habilidad de reducir la movilidad del cadmio un 49%. Se evidenció que el descenso de Cd corresponde al incremento de la fracción orgánica en el suelo, el pH, el grado de humificación y el CIC.	Frutos et al. (2016)
Lavados de suelo (EDTA, ácido cítrico y mezcla de hidroxilamina hidroclorado con ácido cítrico) con asistencia de compost de estiércol de vaca, lombricomposta, lodos depurados y biochar de lodos.	Cd, Zn y Pb	Usan la combinación de dos tratamientos: El primero consiste en un lavado al suelo con EDTA, ácido cítrico y una mezcla de hidroxilamina hidroclorado con ácido cítrico; el segundo de compost de estiércol de vaca, lombricomposta, lodos de depuradora y lodos derivados de biochar. El estudio concluye que el tratamiento de lavado del suelo con EDTA fue más eficiente para remover e Cd en un 53%.	Hazrati et al. (2020)
Fitorremediación con la planta <i>Brassica Juncea</i> , Compostaje de tabaco, estiércol de pollo, actividad microbiana.	TPHs, Pb, Cd y As	Los resultados obtenidos fueron: El mejor tratamiento fue con el estiércol de pollo, debido a que posiblemente los microorganismos presentes en este tienen mayor capacidad para degradar estos metales e hidrocarburos, el segundo mejor tratamiento fue con <i>Brassica Juncea</i> debido a su hiper acumulación con una capacidad de inmovilización del cadmio del 40-50% en las raíces. Finalmente, el compostaje de tabaco solo tuvo gran eficiencia en la remediación del Pb, se evidenció que tiene una actividad microbiana muy baja.	Makombe & Gwisai (2018)

Nota. Elaboración propia

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA REMOCIÓN DEL CADMIO CON BASE EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA

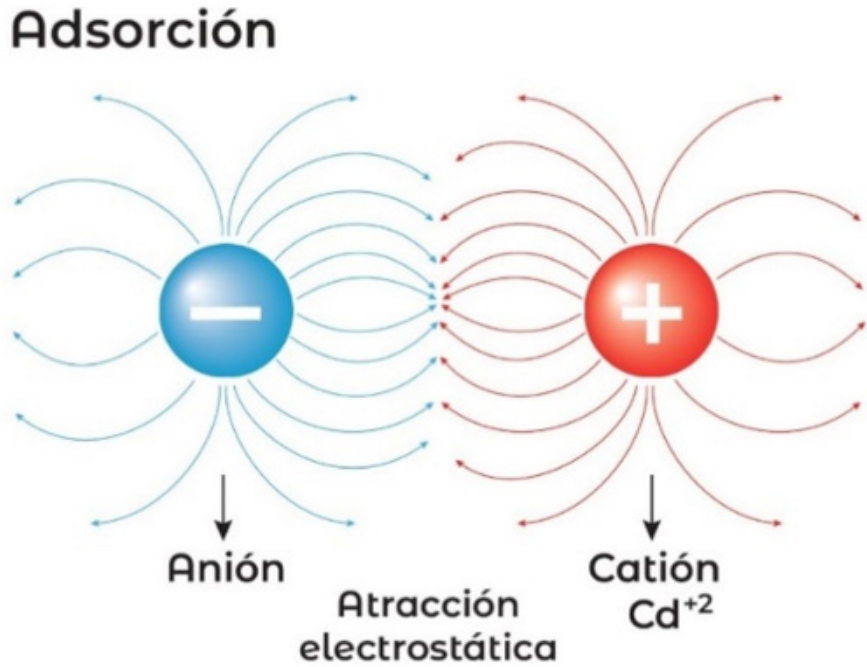
TEORÍA ÁCIDO-BASE DE LEWIS

La sorción, precipitación y reacciones complementarias son mecanismos que, por medio de las plantas, los lixiviados o la volatilización, se realiza el proceso de remoción de metales pesados en el suelo. Dentro del mecanismo de sorción se encuentra la adsorción y absorción. La adsorción ocurre de manera química por enlaces iónicos y de manera física por fuerzas de Van der Waals. En este último, el proceso físico por el cual la carga de los iones presentes en el suelo balancea

la carga de las partículas del suelo por medio de un proceso inicial de atracción electroestática. Las interacciones electroestáticas son fuerzas que dependen de la atracción entre cargas opuestas. Se observan en la adsorción de iones sobre superficies cargadas; sin embargo, no son lo suficientemente fuertes para formar complejos estables a largo plazo.

Figura 2

Atracción electroestática entre el adsorbato y el adsorbente

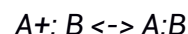


Nota. Elaboración propia

Esto implica que la atracción electroestática facilita el acercamiento del adsorbente (aniones), que pueden ser partículas de arcilla, materia orgánica (MO), o ligandos con grupos funcionales a los sitios de adsorción de los iones metálicos (cationes) a los sitios de adsorción en el adsorbente para formar complejos de coordinación o quelatos (Bolan et al., 2014).

La teoría ácido-base de Lewis es una ampliación de las teorías de ácido-base tradicionales, se centra en la transferencia de los pares de electrones, en lugar de

protones (H^+) o iones OH^- . Un ácido Lewis (A) es un átomo ion que tiene un orbital vacante, no utilizado en un enlace covalente, por lo que puede aceptar un par de electrones, una base Lewis (:B) es aquel ion que puede ceder un par de electrones. A continuación, se evidencia la reacción ácido-base de la teoría de Lewis:



La reacción resultante es llamada complejos de coordinación o quelatos, los cuales están determinados por factores como el número de ligandos que lo forman, el número de anillos que se forman, la naturaleza y concentración del catión y el pH (Burbano y Silva, 2010).

IONES METÁLICOS COMO ÁCIDO DE LEWIS

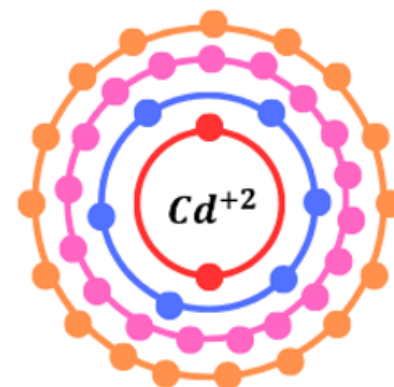
En suelos ácidos, el Cd^{2+} tiende a estar disponible como ion libre como un ion de cadmio en solución acuosa, lo que significa que puede percolarse hacia las aguas subterráneas, contaminando los acuíferos. En este caso, son identificados como cationes metálicos hidratados, ya que están rodeados por moléculas de agua, y cumplen con la teoría de ácido-base de Lewis formando un complejo de solvatación (ver figura 3.a).

El ácido de Lewis es el Cd^{2+} el cual tiene orbitales vacíos en su capa de valencia con la capacidad de aceptar pares de electrones y la base Lewis es el H_2O . El cadmio en este complejo está en su estado de oxidación +2, lo que significa que ha perdido dos electrones, dejando una carga positiva de +2. Las moléculas de agua son ligandos neutros, lo que significa que no aportan ni restan carga al complejo por medio de enlaces coordinados o aditivos. Cada molécula de agua tiene un estado de oxidación de 0, por lo que no cambia la carga total del complejo. El ion Cd^{2+} se coordina con seis moléculas de agua. Cada molécula de agua dona un par de electrones de su átomo de oxígeno al Cd^{2+} . (ver figura 3.b).

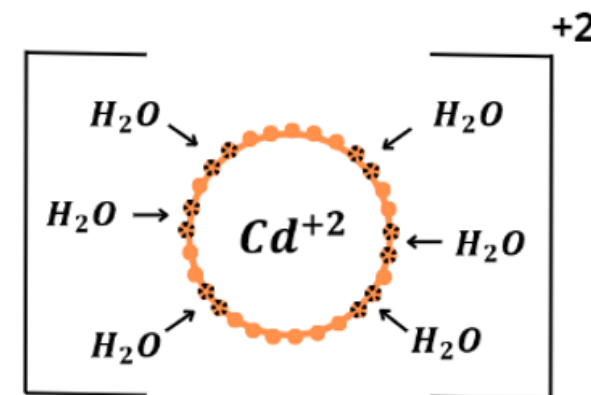
Figura 3

Disponibilidad del cadmio en su estado de oxidación +2 en el suelo

a. Fase iónica libre



b. En solución



Nota. a. Se evidencia el Cd^{2+} en su forma iónica libre, con sus orbitales vacíos en su capa de valencia con la capacidad de aceptar pares de electrones. b. Se evidencia el complejo de solvatación o hidratación del $Cd (H_2O)_6^{+2}$, donde se evidencia que cada molécula de agua aporta un par de electrones a la órbita en la capa de valencia, generando una estabilización del complejo. Cabe mencionar que esta estabilidad es más eficiente cuando hay seis moléculas de agua sin completar su orbital. Elaboración propia

MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

El contenido de materia orgánica (MO) en un suelo va a depender de la cantidad de materiales orgánicos aplicados y de su velocidad de descomposición. Esta es proveniente de todos los residuos vegetal y animal que llegan al suelo. Los residuos vegetales aportan energía y alimento a los organismos presentes en el suelo e igualmente son el principal elemento para la formación de coloides orgánicos (humus) que se acumulan en el suelo (Burbano y Silva, 2010).

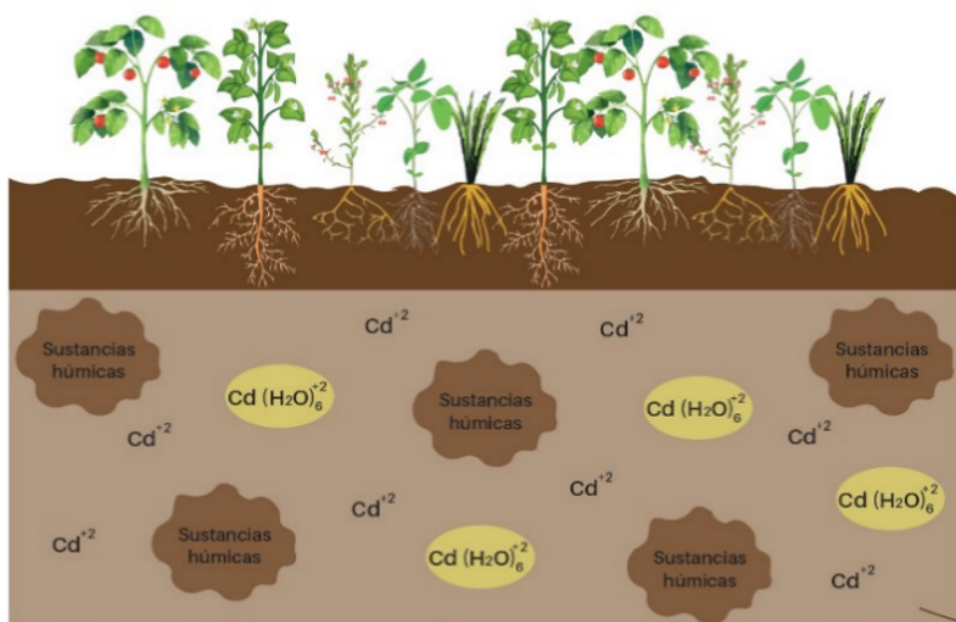
La MO se puede clasificar en dos grandes grupos. El primero está formado por los restos orgánicos de aquellos materiales identificables como partes total o parcialmente alteradas de la biomasa, y el segundo grupo lo conforman las sustancias húmicas, en las cuales centraremos la investigación. Su formación se realiza por medio de la humificación de los restos vegetales y animales del primer grupo (Burbano y Silva, 2010).

Durante el proceso de humificación, se realiza la transformación de la MO en el suelo en sustancias húmicas, divididas en ácidos húmicos y fúlvicos (Burbano y Silva, 2010). Las sustancias húmicas son una mezcla de compuestos que no son sintetizados directamente en los procesos biogeoquímicos que suceden en el suelo (Burbano y Silva, 2010).

Figura 4

Presencia de las sustancias húmicas: el ion libre de cadmio y el ion de cadmio solvatado en el suelo

SUELO AL CUAL SE LE APLICÓ COMPOST



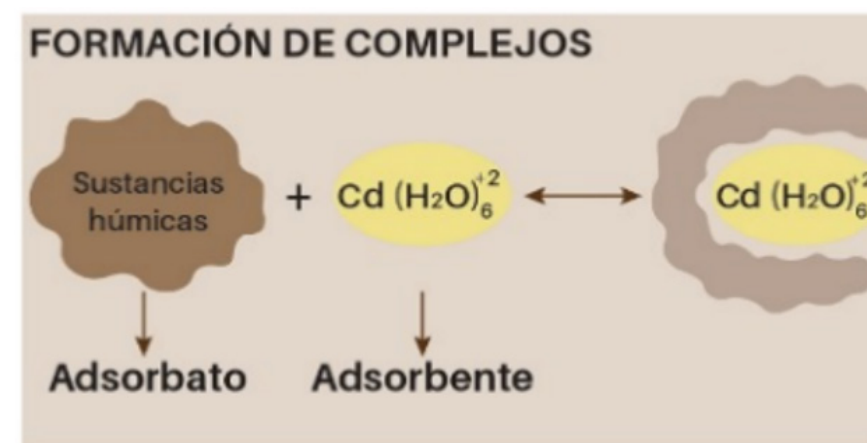
Nota. Elaboración propia

Es un grupo muy divergente de los compuestos orgánicos de naturaleza refractaria o recalcitrante, dentro de este se encuentran los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos (Burbano y Silva, 2010). El ácido húmico, como regla general, contiene más C y menos O que el ácido fúlvico; sin embargo, contiene los mismos grupos funcionales. El ácido fúlvico contiene una mayor cantidad de grupos ácidos, lo que le otorga una elevada capacidad de complejación y de intercambio catiónico (CIC). Debido a que es soluble en todo rango de pH, desempeña un papel importante en la

movilidad de cationes metálicos en el suelo (Burbano y Silva, 2010). Esta propiedad se conoce como "agua agresiva", ya que facilita la transferencia de electrones en los procesos de reducción de cationes metálicos en el perfil del suelo (Burbano y Silva, 2010).

Figura 5

Formación de complejos



Nota. Elaboración propia

ENLACES DE COORDINACIÓN ENTRE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS Y LOS IONES METÁLICOS DEL SUELO

Como se mencionó en el apartado anterior, las sustancias húmicas tienen gran afinidad con los cationes metálicos, principalmente con el Cadmio, para la formación de enlaces de coordinación. Cabe resaltar que, las concentraciones de los metales en la solución en el suelo son influenciados por los iones orgánicos e inorgánicos, el pH, la MO, la conductividad eléctrica (CE), la naturaleza de la enmienda orgánica, el proceso de adsorción y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Esta última, como ya se ha mencionado, aumenta con base en la aplicación de enmiendas como el compostaje, incrementando la cantidad de los iones ligand presentes en las sustancias húmicas (Burbano y Silva, 2010).

Los enlaces de coordinación son la interacción entre los iones metálicos hidratados y los aminoácidos con grupos funcionales que tienen pares de electrones libres.

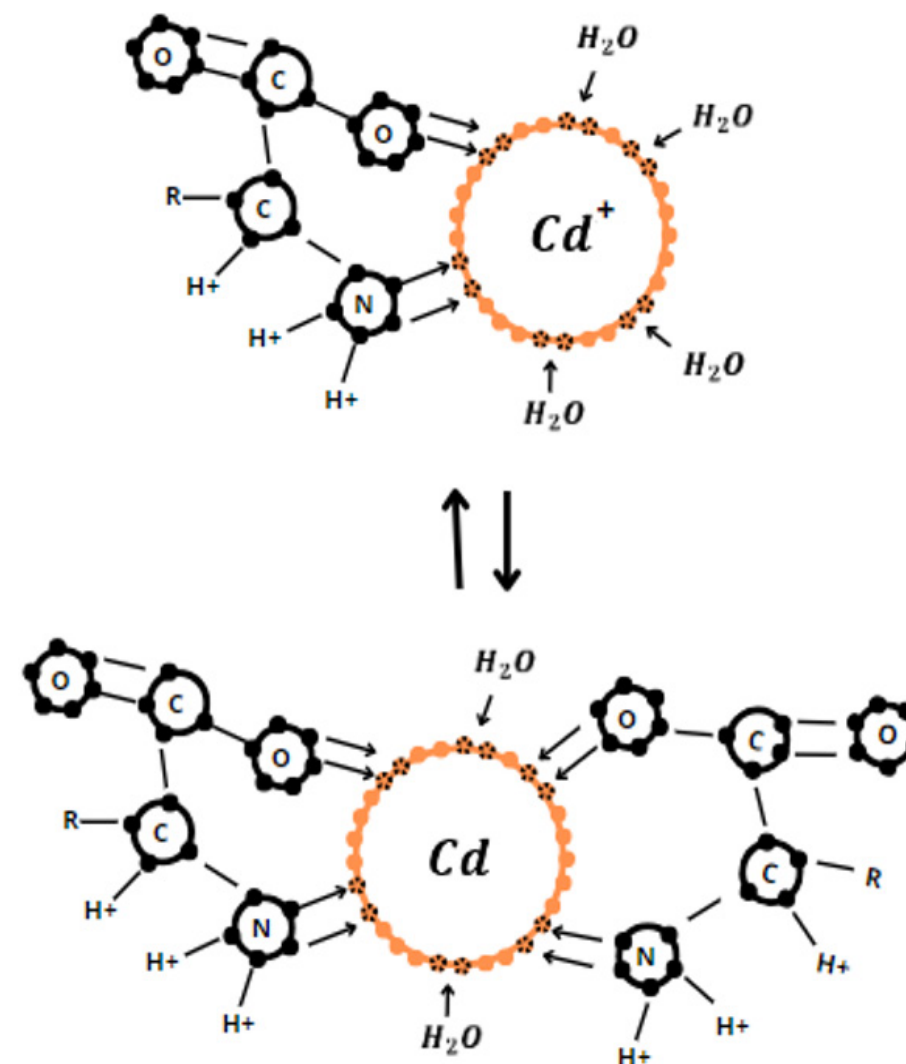
En este tipo de enlace, la base de Lewis dona los dos electrones necesarios para formar el enlace, mientras que el ácido de Lewis los acepta en sus orbitales vacíos. Este proceso da lugar a complejos de coordinación, donde el ion metálico está rodeado por ligandos que han donado pares de electrones (Burbano y Silva, 2010).

Los iones ligand cumplen la función de rodear un metal en un complejo (Bolan et al., 2014). Estos son complejos de iones orgánicos con la capacidad de crear complejos estables con los metales pesados e incrementar las cargas negativas en el suelo. En el compost, el agente quelante son las sustancias húmicas presentes, con presencia de aniones de carga negativa (Bolan et al., 2014). Dado que estos dos forman complejos solubles e insolubles con cationes polivalentes dependiendo del grado de saturación (Prasad & Sinha, 1980). En los ácidos húmicos y fúlvicos están presentes los grupos funcionales, los cuales son clave para la formación de complejos quelatos. Estos actúan como donadores de protones de la solución del suelo y de esta manera se regula el pH de este, y donan un par de electrones libres para la formación de los enlaces de coordinación (Burbano y Silva, 2010).

En el año 2020, las investigaciones concluyeron que el compost de estiércol y residuos verdes, compost de biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales y el biochar tienen efectos significativos en la inmovilización de los metales (Hazrati et al., 2020). Estos componentes son ricos en la presencia de grupos funcionales en su estructura, como los grupos carboxilo e hidroxilos, los cuales tienen una gran habilidad para retener los metales pesados, incrementando el CIC y los niveles de adsorción (Hazrati et al., 2020).

Los grupos funcionales en los aminoácidos y las sustancias húmicas son clave en la formación de enlaces de coordinación con metales. Los aminoácidos tienen un grupo amino ($-\text{NH}_2$) que puede actuar como un donador de electrones y un grupo carboxilo ($-\text{COOH}$) que puede perder un protón para formar $-\text{COO}^-$. En solución, a un pH fisiológico, el grupo amino suele estar protonado ($-\text{NH}_3^+$) y el grupo carboxilo suele estar desprotonado $-\text{COO}^-$, lo que le da al aminoácido una carga neta de 0 (Burbano y Silva, 2010).

Figura 6



Nota. Se evidencia que al ion $\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})_6^{+2}$ con carga +2, se forma un enlace de coordinación con dos aminoácidos desprotonado con carga -1 que dona un par de electrones al ion solvatado. Este cambio en la carga se debe a la interacción entre el ion metálico y los aminoácidos. El complejo resultante será un ion con una carga neta de 0. Elaboración propia.

Los grupos funcionales en los aminoácidos y las sustancias húmicas son clave en la formación de enlaces de coordinación con metales. Los aminoácidos tienen un grupo amino ($-\text{NH}_2$) que puede actuar como un donador de electrones y un grupo

carboxilo (-COOH) que puede perder un protón para formar -COO^- . En solución, a un pH fisiológico, el grupo amino suele estar protonado (-NH_3^+) y el grupo carboxilo suele estar desprotonado -COO^- , lo que le da al aminoácido una carga neta de 0 (Burbano y Silva, 2010).

PROCESO DE FITOESTABILIZACIÓN EN EL SUELO

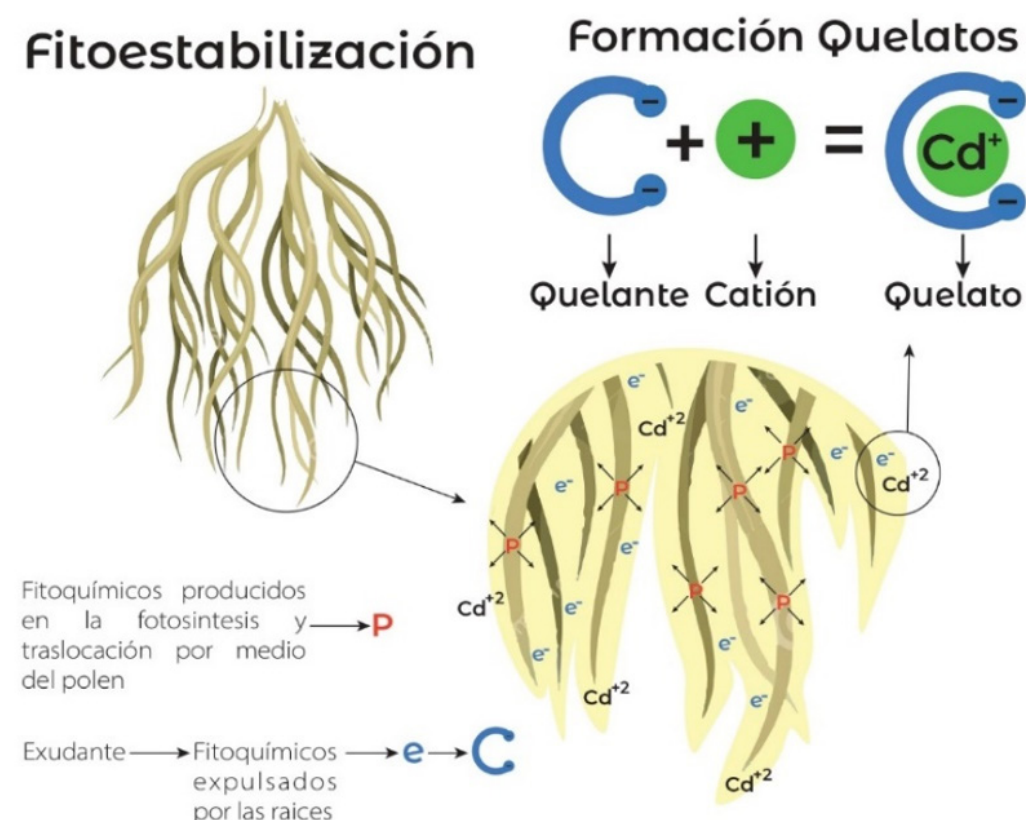
La fitoestabilización es la precipitación o inmovilización de contaminantes inorgánicos en el suelo, en las superficies de las raíces o dentro de los tejidos radiculares (Tsao, 2003). La capacidad de las plantas para secuestrar contaminantes en la zona radicular es una forma de protección para evitar la translocación de la toxina potencial a los tejidos terrestres más sensibles, como los órganos reproductores (Tsao, 2003).

Los cultivos y las aguas subterráneas son afectados significativamente por el cadmio, teniendo en cuenta que este no es un elemento necesario para el crecimiento de la planta, y se acumula en todas las secciones de la planta después de su absorción (Vitelli et al., 2024). La primera señal de los efectos tóxicos del Cd en la planta incluye la coloración marrón de las raíces, el decrecimiento del número de las raíces laterales, y la muerte de las puntas de las raíces debido a la inhibición del crecimiento de las raíces (Vitelli et al., 2024).

Como resultado del significativo impacto tóxico sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, estas han desarrollado una variedad de estrategias de tolerancia y detoxificación para controlar la captación, transporte y acumulación de Cd y disminuir su toxicidad (Vitelli et al., 2024). La acumulación de los metales pesados en las raíces es atribuida a la formación de complejos de ligandos orgánicos, fitoquelatinas y exudados, los cuales disminuirán la translocación de los contaminantes de la raíz al tallo (Bacilio-Jiménez et al., 2022). Los mecanismos de tolerancia adoptados por las plantas para contrarrestar el exceso de toxicidad del Cd incluyen mecanismos de exclusión que impiden la entrada de iones de Cd en la célula de la raíz mediante la secreción de exudados radiculares en la rizosfera (Bali et al., 2020).

Figura 7

Fitoquímicos y Fitoquelatinas: defensa ante toxicidad por Cadmio



Nota. Identificación de las sustancias fitoquímicas o fitoquelatinas dentro de las raíces que son un mecanismo de defensa para regular la toxicidad del cadmio dentro de la planta. Adicionalmente, se evidencian los exudantes que son el mecanismo de exclusión, el cual evita la entrada del Cd a la raíz. Elaboración propia.

Cuando se liberan exudados, los cuales son un conjunto de sustancias de la rizosfera que son secretadas por las raíces de las plantas vivas y a los productos modificados microbianamente de estas sustancias, hace referencia que estos actúan afuera de la planta para inmovilizar los metaloides evitando que grandes cantidades sean adsorbidas por las raíces (Bacilio-Jiménez et al., 2022). Estas son una mezcla compleja de sustancias orgánicas solubles, que pueden contener azúcares, aminoácidos, enzimas y ácidos orgánicos que reaccionan con el Cd para formar compuestos quelantes para impedir que atraviese las membranas (Bacilio-Jiménez et al., 2022).

Para reducir la cantidad de Cd que migra del suelo a la raíz, también modifican el pH de la rizosfera (Vitelli et al., 2024). Además, para reducir la toxicidad del Cd para la actividad celular, el Cd que entra en las células se enriquece en vacuolas (Vitelli et al., 2024).

Sin embargo, cuando esa fracción del Cd^{2+} es absorbido por las raíces, las plantas tienen una variedad de mecanismos que han desarrollado para regular su absorción y acumulación de los metales pesados en ellas (Ahmad et al., 2019). La planta responde a la toxicidad por medio de la inmovilización de los iones de metales pesados, su exclusión y la formación de quelatos con los iones metálicos (Ahmad et al., 2019). Las respuestas de las plantas a la toxicidad implican en la inmovilización y quelación de iones de metálicos, su exclusión, así como su compartimentación, junto con mecanismos generalizados, incluida la síntesis de metabolitos de estrés y proteínas de estrés (Vitelli et al., 2024).

El mecanismo más ampliamente utilizado para la desintoxicación de metales pesados en las plantas es la quelación de metales pesados por un ligando, a menudo seguida de la compartimentación del complejo ligando-metal (Ahmad et al., 2019). Las plantas contienen fitoquelatinas y metalotioneínas como ligandos comunes que se unen a los metales pesados. Las fitoquelatinas se encuentran en numerosas variedades de plantas, incluyendo las dicotiledóneas, monocotiledóneas, gimnospermas y algas, además, se sintetizan enzimáticamente a partir de un tripéptido glutatión, utilizando la enzima «fitocelatina sintasa (PCS)» y atrapando los metales pesados al unirse a ellos (Ahmad et al., 2019). Los complejos PC-metal pesado se producen dentro del citosol, y finalmente son transportados y secuestrados en la vacuola celular (Ahmad et al., 2019).

Teniendo en cuenta lo anterior y el objetivo de la investigación, esta se enfocó en el mecanismo de exclusión y la formación de quelatos con ayuda de los exudantes radiculares. Por lo tanto, tendencia a exudar un exceso de fitoquímicos tanto cualitativa como cuantitativamente en forma de rizodepósitos es la estrategia de tolerancia adoptada por las plantas de maíz para combatir el estrés por Cd (Bali et al., 2020). En condiciones de estrés por metales, la secreción de metabolitos secundarios como exudados radiculares en el suelo aumenta las estrategias externas de detoxificación de las plantas (Bali et al., 2020).

La secreción de exudados radiculares en el suelo aumenta el potencial de tolerancia de las plantas que crecen en suelos contaminados con Cd (Bali et al., 2020). Los exudados radiculares secretados incluyen enzimas, varios iones inorgánicos libres y metabolitos que contienen carbono como compuestos de bajo peso molecular (fenólicos, aminoácidos, ácidos orgánicos y azúcares), mientras que los compuestos de alto peso molecular incluyen mucílagos y proteínas (Bali et al., 2020).

ENLACES DE COORDINACIÓN ENTRE LOS ÉXODOS Y LOS IONES METÁLICOS DEL SUELO

El proceso de exclusión de metales pesados en plantas es un mecanismo en el cual las plantas expulsan elementos tóxicos como el cadmio (Cd^{2+}) a través de exudados radiculares para reducir su toxicidad dentro de sus tejidos. Uno de los exudados que participan en este proceso es el ácido oxálico ($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$), un agente quelante que forma complejos estables con metales pesados como el cadmio.

El ácido oxálico forma complejos estables con el cadmio (Cd^{2+}). Debido a su estructura bidentada, el ácido oxálico puede donar dos pares de electrones a un ion metálico, como el cadmio, formando un complejo de coordinación estable. Este tipo de enlace es fuerte porque involucra la interacción entre los grupos carboxilato ($-\text{COO}^-$) del ácido oxálico y el ion Cd^{2+} (Burbano y Silva, 2010). Este es liberado por las raíces de varias plantas, especialmente en respuesta a la presencia de metales pesados en el suelo, como el cadmio (Burbano y Silva, 2010). Su liberación es una estrategia de las plantas para inmovilizar y detoxificar metales tóxicos mediante la formación de complejos con los metales, como el cadmio, lo que reduce su disponibilidad y toxicidad (Burbano y Silva, 2010).

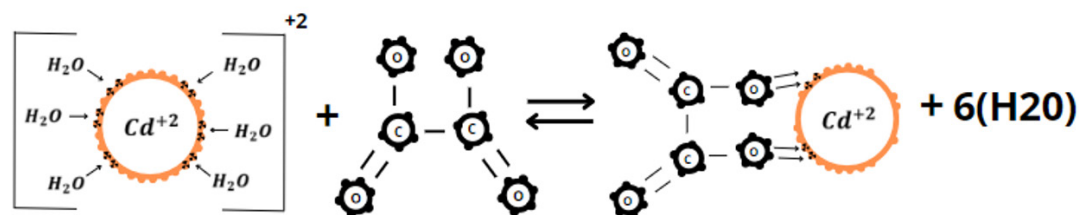
Además, los complejos de ácido oxálico con cadmio tienen una baja constante de disociación, lo que indica que, una vez que el complejo se forma, es poco probable que se descomponga fácilmente. Esto ayuda a que el cadmio permanezca en una forma neutral o menos reactiva, contribuyendo a la detoxificación del suelo contaminado. Aunque el número total de electrones donados al ion cadmio disminuye de 12 a 4, el complejo $\text{Cd}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$ puede ser más estable debido a la naturaleza del ligando oxalato, que puede formar un enlace más fuerte y estable con el cadmio en comparación con las moléculas de agua.

La estabilidad del complejo está influenciada por diversos factores, entre ellos la geometría de coordinación y la energía de los enlaces que se establecen.

La razón por la que las otras cuatro moléculas de agua no se quedan coordinadas con el ion cadmio en el complejo $\text{Cd}(\text{C}_2\text{O}_4)^0$ tiene que ver con la geometría de coordinación y la estabilidad del complejo resultante. El ion cadmio puede coordinarse con un número limitado de ligandos debido a su tamaño y la disposición espacial de los ligandos. En el complejo $\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})_6^{+2}$, el cadmio está coordinado con seis moléculas de agua en una geometría octaédrica. Cuando el ion oxalato se une al cadmio, ocupa dos posiciones de coordinación debido a su estructura bidentada (dos átomos de oxígeno que se coordinan con el cadmio).

Figura 8

Coordinación Cadmio-Oxalato



Nota. La molécula de cadmio hidratada reacciona con el ácido oxálico, permitiendo que el ion oxalato $[(\text{C}_2\text{O}_4)]^{-2}$ reemplace las seis moléculas de agua. Este ion dona dos pares de electrones al cadmio a través de sus átomos de oxígeno, formando enlaces de coordinación más fuertes y estables. Como resultado, las moléculas de agua son desplazadas, ya que no hay suficiente espacio o necesidad de su permanencia. Elaboración propia.

MODELOS DE ADSORCIÓN DEL CD POR FITO-ESTABILIZACIÓN Y COMPOSTAJE

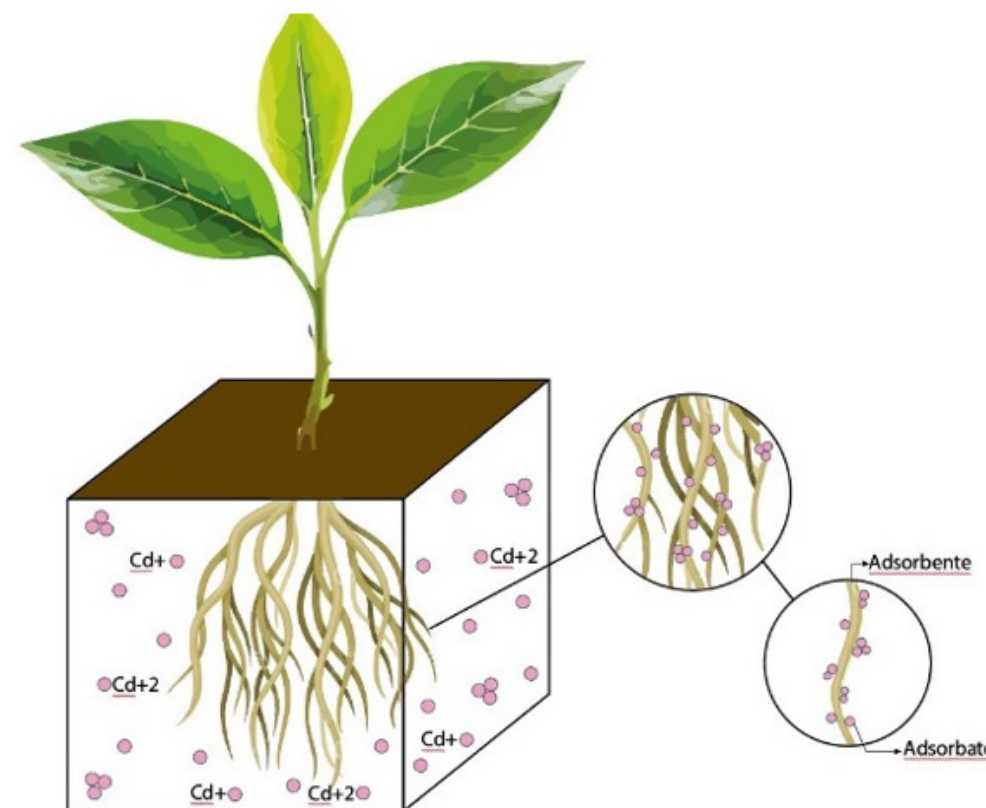
MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

Se estimó, como primer caso, que los modelos de adsorción se iban a integrar con las características de un modelo de balance de materia, con un volumen de masa estacionario y una masa constante (ver figura 8). Es un proceso químico que consiste en contabilizar la cantidad de cada componente químico que entra, sale y se utiliza en el proceso.

Por lo tanto, en el caso de un sistema cerrado, no ocurre transferencia de materia hacia o desde el exterior durante el periodo de estudio del sistema.

Figura 9

Volumen de control para la fitoestabilización



Nota. Elaboración propia

En la ecuación 1, se evidencia la ecuación de un balance de materia con reacción, debido a que no va a haber una variación en el volumen en función del tiempo. Por ende, este se cancela y da como resultado la ecuación 2:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = V \frac{dC}{dt} + C \frac{dV}{dt} = Q(C_0 - C) - rV \quad (1)$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{dC}{dt} = \frac{Q(C_0 - C)}{V} - r \quad (2)$$

Donde m es la materia, t es el tiempo, V es el volumen, C la concentración en función del tiempo, C_0 es la concentración inicial, Q el caudal y r es la velocidad de reacción. Al ser un sistema cerrado en estado estacionario, se asumió un modelo tipo Batch. Se estima que la ecuación de balance de masa y la velocidad de reacción serán las siguientes:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{dC}{dt} = -r \quad (3)$$

$$r = kC_e^n \quad (4)$$

Donde k es la pendiente del incremento de la velocidad de reacción, C_e representa la concentración de equilibrio del soluto en la fase líquida y n es el orden de la reacción con respecto a ese reactivo. Al reemplazar se obtiene:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{dC}{dt} = -kC_e^n \quad (5)$$

ADAPTACIÓN DEL MODELO DE BALANCE DE MATERIA AL MODELO DE ISOTERMAS DE FREUNDLICH

El modelo de isoterma de Freundlich sugiere una adsorción en monocapa, donde los sitios activos presentan una distribución energética heterogénea, y además se producen interacciones entre las moléculas adsorbidas, y se expresa como:

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{\alpha}} \quad (6)$$

Donde K es una constante relativa a la capacidad de adsorción y $1/\alpha$ es un parámetro empírico relativo a la intensidad de adsorción, que varía con la heterogeneidad del material. Si se despeja q_e (la concentración de equilibrio de iones Cd^{+2} en solución) y se sustituye en la ecuación 5 de balance de materia, se obtiene la siguiente ecuación:

$$C_e^{1/\alpha} = \frac{q_e}{K_F} \quad (7)$$

$$C_e = \left(\frac{q_e}{K_F}\right)^\alpha \quad (8)$$

$$\frac{dC}{dt} = -k \left(\frac{q_e}{K_F}\right)^{\alpha n} \quad (9)$$

Teniendo en cuenta que la ecuación 10, se utiliza dentro del contexto de la adsorción para describir la cantidad de soluto adsorbido por unidad de masa del adsorbente, donde M es la masa. Al sustituirlo en la ecuación 11, al integrarlo y despejar la concentración de equilibrio de iones Cd^{+2} , se obtiene la ecuación 15. La cual es la ecuación de la concentración remanente en función del tiempo.

$$q = \frac{V}{M} (C_0 - C) \quad (10)$$

$$\frac{dC}{dt} = -k \left(\frac{V}{M} * \frac{(C_0 - C)}{K_F}\right)^{\alpha n} \quad (11)$$

$$\int \frac{dC}{(C_0 - C)^{\alpha n}} = \frac{-k(V/M)^{\alpha n}}{K_F^{\alpha n}} \int dt \quad (12)$$

$$\frac{(C_0 - C)^{-\alpha n + 1}}{-\alpha n + 1} + c = \frac{-k(V/M)^{\alpha n}}{K_F^{\alpha n}} t + c \quad (13)$$

$$(C_0 - C)^{-\alpha n + 1} = \left(\frac{-k(V/M)^{\alpha n}}{K_F^{\alpha n}} t\right) (1 - \alpha n) \quad (14)$$

$$C = C_0 - \frac{1}{\sqrt[1 - \alpha n]{\left(\frac{-k(V/M)^{\alpha n}}{K_F^{\alpha n}} t\right) (1 - \alpha n)}} \quad (15)$$

ADAPTACIÓN DEL MODELO DE BALANCE DE MATERIA AL MODELO DE ISOTERMAS DE LANGMUIR

La isoterma de Langmuir sugiere la adsorción de tipo monocapa en una superficie homogénea sin interacción entre las moléculas adsorbidas y viene dada de la siguiente manera:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (16)$$

Donde q_e (mg/g) es la concentración de equilibrio de iones Cd^{+2} en el adsorbente, C_e (mg/L) es la concentración de equilibrio de iones Cd^{+2} en la solución, y q_m (mg/g) es la capacidad máxima de adsorción. K_L es la constante de adsorción de Langmuir (l/mg), que relaciona la energía libre de adsorción, y su alto valor indica la alta afinidad de los iones Cd^{+2} a los lugares de adsorción. Si se despeja la concentración

de equilibrio de iones Cd^{+2} en solución y se sustituye en la ecuación de balance de materia, se obtiene la siguiente ecuación:

$$C_e = \frac{q_e}{q_m * k_l} - \frac{1}{k_l} \tag{17}$$

$$\frac{dC}{dt} = -k \left(\frac{q_e}{q_m * k_l} - \frac{1}{k_l} \right)^n \tag{18}$$

Cuando se integró y despejó la concentración de equilibrio de iones Cd^{+2} , se obtiene la ecuación 24. La cual es la ecuación de la concentración remanente en función del tiempo.

$$q = \frac{V}{M} (C_0 - C) \tag{19}$$

$$\frac{dC}{dt} = -k \left(\frac{V(C_0 - C)}{M * q_m * k_l} - \frac{1}{k_l} \right)^n \tag{20}$$

$$\frac{dC}{dt} = -k \left(\frac{V(C_0 - C)}{M * q_m * k_l} \right)^n + k \left(\frac{1}{k_l} \right)^n \tag{21}$$

$$\frac{k * (V)^n}{(M * q_m * k_l)^n} \int (C_0 - C)^n dC = k \left(\frac{1}{k_l} \right)^n \int dt \tag{22}$$

$$\frac{k * (V)^n (C_0 - C)^{n+1}}{(M * q_m * k_l)^{n * (n+1)}} = k \left(\frac{1}{k_l} \right)^n t \tag{23}$$

$$C = C_0 - [(M * q_m)^n * (n + 1)kt]^{\frac{1}{n+1}} \tag{24}$$

DISCUSIONES

Con el fin de evaluar, verificar y comparar la correlación de las variables dentro del sistema en el modelo matemático, se contó con estudios semejantes al tema abordado en la presente investigación. Se tuvo en cuenta la investigación de Wang et al. (2019), para evaluar los modelos para enmiendas como compostaje, y la investigación de Zemiani et al. (2021), para fitoestabilización.

EVALUACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO EN ENMIENDAS DE COMPOSTAJE

Como se mencionó en el apartado anterior, se buscó comparar el modelo matemático

de la presente investigación con estudios semejantes. Sin embargo, no se encontró un estudio donde se evaluará el compostaje de forma individual, por ende, se escogió la investigación realizada por Wang et al. (2019), de la Universidad de Jinan. Los autores evaluaron la capacidad y los mecanismos de remoción del cadmio, por medio de biochar de paja de maíz (MSB) y hojas de plátano (PLB) (Wang et al., 2019). Las muestras de MSB y PLB se prepararon pirolizando las muestras trituradas en un ambiente con oxígeno limitado a diferentes temperaturas. Los biochar se abreviaron como MSB300, MSB400, MSB500, MSB600, PLB300, PLB400, PLB500, y PLB600 respectivamente, de acuerdo con la temperatura de pirólisis (Wang et al., 2019).

Con base en lo anterior, se tuvo en cuenta la capacidad máxima de adsorción para el modelo de isoterma de Langmuir y el coeficiente de adsorción para el modelo de isoterma de Freundlich de cada biochar derivados de 300, 400, 500 y 600 C calculados en la investigación de Wang et al. (2019) (Ver Tabla 2). Adicionalmente, se asumió la masa que se añadió de biochar de 0.2 g en las botellas de plástico que contenían 25 ml (volumen de control), de solución de Cd con 40, 80 y 170 mg/L (concentración).

Tabla 2

Parámetros del modelo de isotermas para Langmuir y Freundlich

Adsorbente	Langmuir	Freundlich	
	$q_{max} (mg/g)$	k_f	$1/\alpha$
MSB300	30.30	3.03	0.41
MSB400	30.12	5.28	0.35
MSB500	35.46	6.21	0.35
MSB500	17.21	3.19	0.29
PLB300	21.83	3.30	0.32
PLB400	14.45	7.51	0.12
PLB500	25.45	10.21	0.16
PLB600	19.49	8.88	0.13

Nota. Wang et al. (2019)

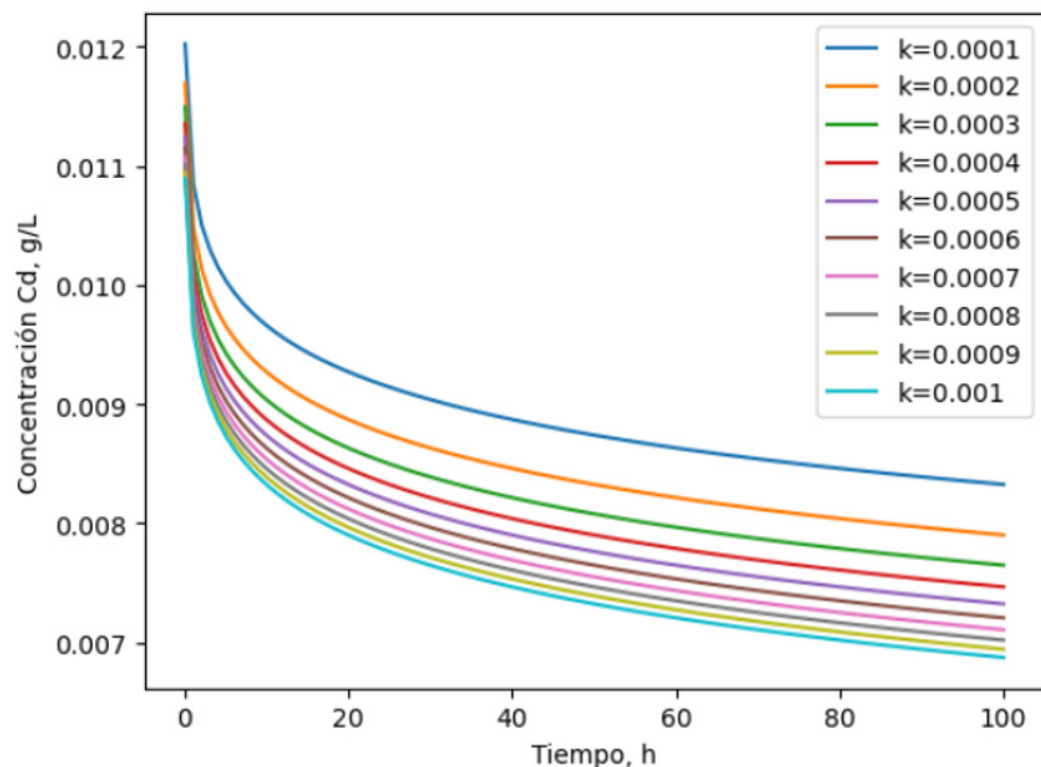
Para el modelo matemático basado en el modelo de isotermas de Freundlich (Ecuación 15), se planteó un escenario inicial con base en las conclusiones del estudio de Wang et al. (2019). El MSB500 produjo la mayor eficiencia de adsorción

del Cd, por ende, se tomó el volumen como 0.025 litros, la masa del adsorbente 0.2 g de biochar, la concentración del 0.025 g/L, el Alpha y Kf del MSB500. Adicionalmente, se supuso un tiempo de 100 horas.

En la figura 10, se observa cómo la concentración varía en función del tiempo según la constante de velocidad de reacción (k). El modelo de Freundlich muestra alta sensibilidad a esta variación, ya que un aumento en k acelera la reacción, reduciendo exponencialmente la concentración de Cd. Esto indica una mayor eficiencia en la remoción, pues la disminución de Cd se intensifica conforme k crece.

Figura 10

Variación de la velocidad de reacción (0.0001-0.001) para evaluar su sensibilidad



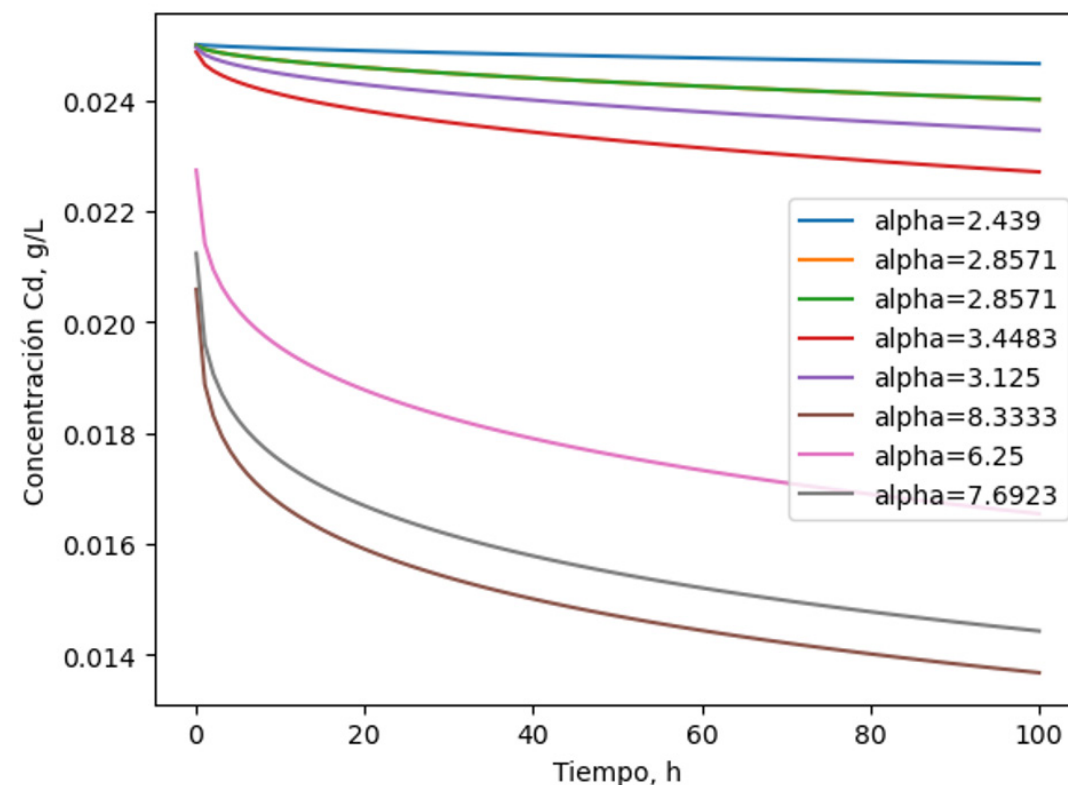
Nota. Elaboración propia

Tras asignar un valor de 0.001 a la constante de velocidad de reacción (k), se analizó la sensibilidad del modelo variando α según la tabla 2. La figura 11 muestra

que el modelo de Freundlich es altamente sensible a α , con cambios drásticos en la concentración de Cd. Los valores de α más eficientes en la remoción son 8.3, 6.25 y 7.6, ya que un α mayor acelera el equilibrio y mejora la adsorción, permitiendo retener más Cd incluso a bajas concentraciones y reduciendo la curvatura de la isoterma.

Figura 11

Variación de α según Tabla 2 para evaluar la sensibilidad del modelo de Freundlich

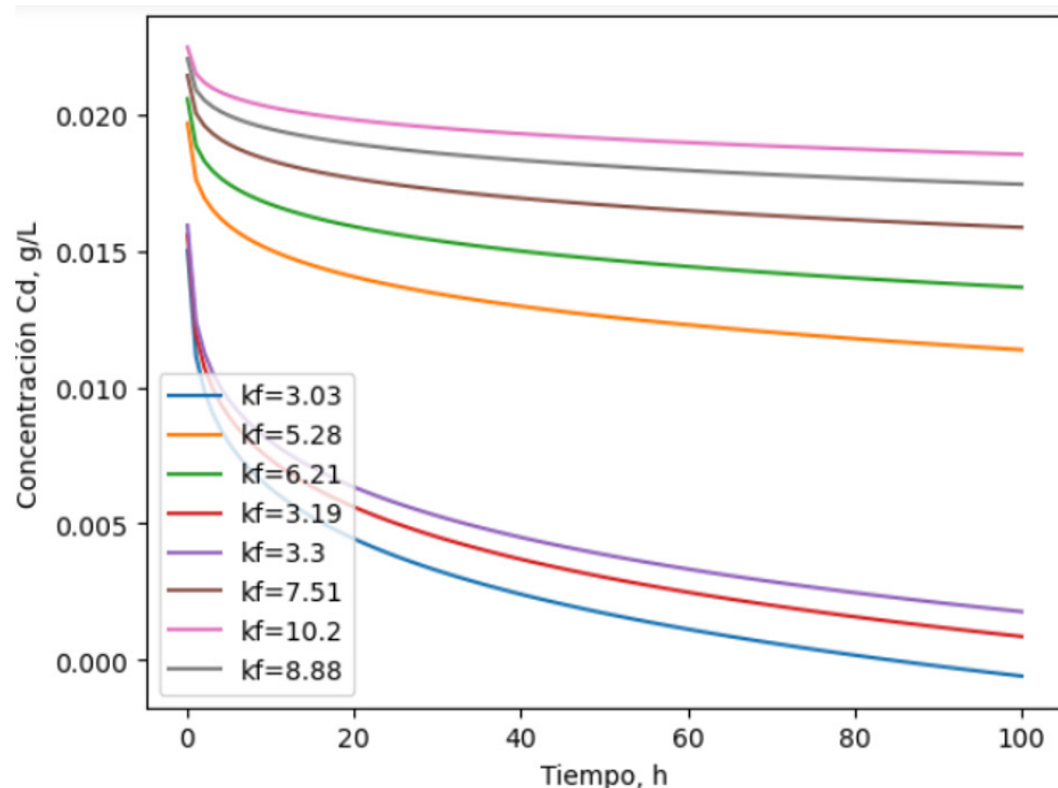


Nota. Elaboración propia

Para la evaluación de KF, se designó un valor de 8.3 a α correspondiente a PLB400. Esta corresponde al coeficiente de capacidad de adsorción del modelo de isoterma de Freundlich. En la figura 12, se muestra el comportamiento de la concentración en función del tiempo con respecto a la variación de la constante KF. Se puede ver que para los valores cercanos a tres existe una mayor velocidad de remoción del Cd en comparación con la eficiencia de valores más altos de KF.

Figura 12

Variación de KF según Tabla 2 para evaluar la sensibilidad del modelo de Freundlich



Nota. Elaboración propia

Una vez estimados los valores óptimos para la remoción del Cd, con base en la ecuación 25, se halló el porcentaje de remoción en función del tiempo y se contrapuso con el comportamiento de la concentración en función del tiempo.

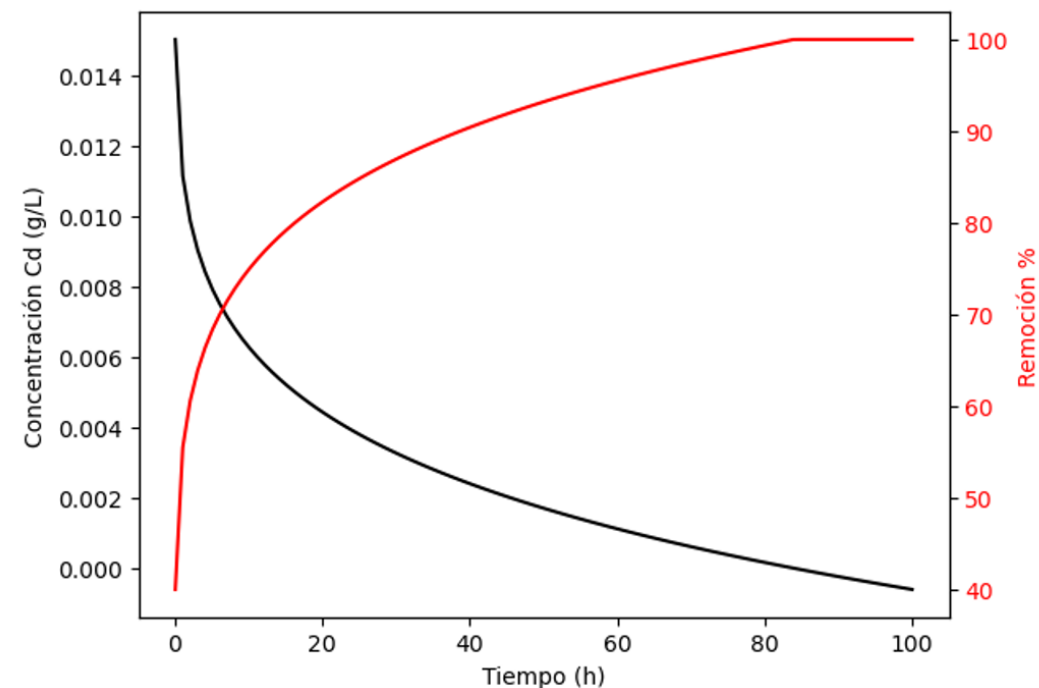
$$R(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} * 100 \quad (25)$$

La figura 13 muestra el comportamiento de la concentración del Cd en función del tiempo, representada con una curva negra, y el porcentaje de remoción representado por la curva roja. Inicialmente, la concentración disminuye rápidamente durante las primeras horas, lo que indica una fase rápida de remoción o captura del contaminante.

De igual forma, las primeras horas se evidencia un incremento del porcentaje de remoción, además, se puede decir que la remoción es eficiente, ya que llega a un 100%.

Figura 13

Comparación de concentración y remoción (%) vs. tiempo en el modelo de Freundlich

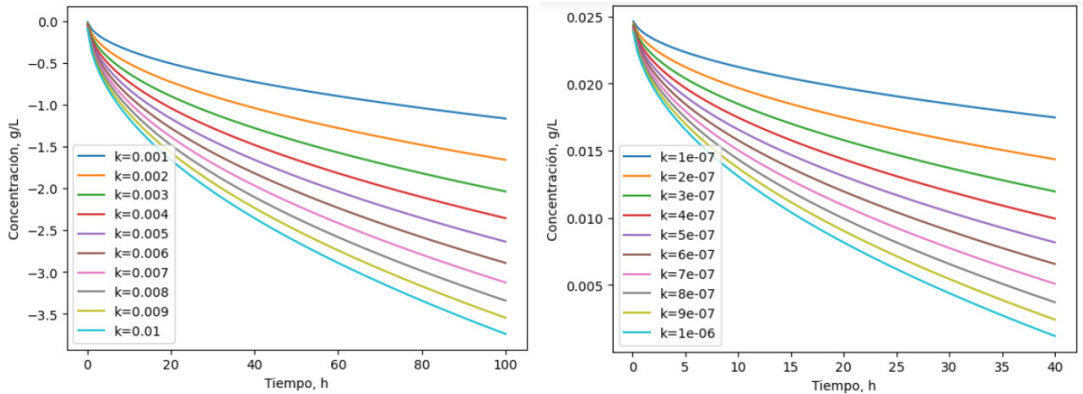


Nota. Elaboración propia

Para el análisis del modelo de Langmuir se realizó el mismo procedimiento que para el modelo anterior. En la figura 14, se evidencia el comportamiento de la concentración en función del tiempo variando la constante de velocidad de reacción k . El modelo de Langmuir muestra una alta sensibilidad a la variación de k . A partir de $k=0.001$, y a medida que aumenta, la concentración tiende a negativo, indicando un error en la formulación o de las suposiciones del modelo. Sin embargo, con valores menores a $k=0.001$, se evidencia un comportamiento más adecuado, indicando que k tiende a tener valores menores a $k=0.001$.

Figura 14

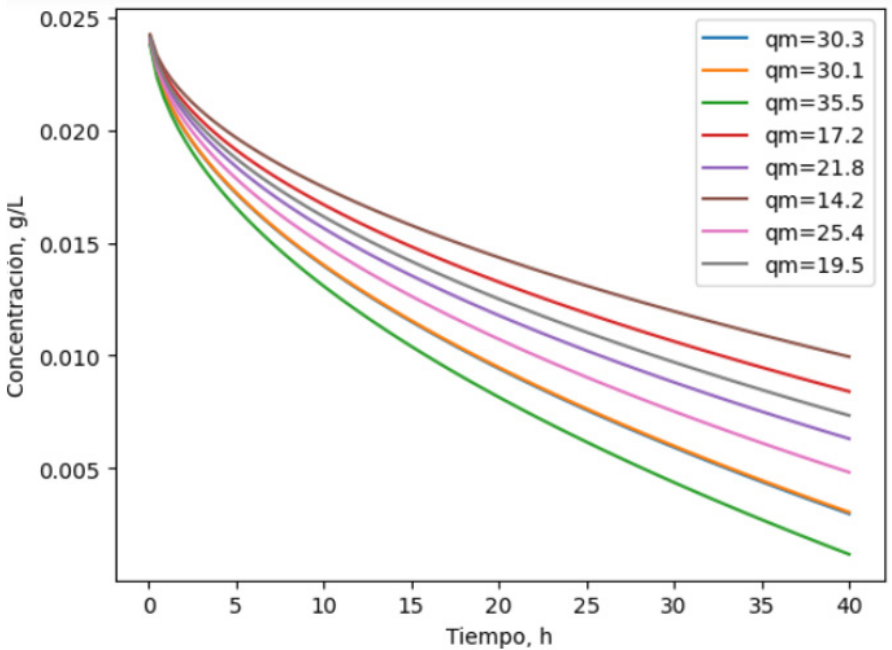
Variación de la constante de velocidad (0.0001-0.001) para evaluar sensibilidad: k altos generan error (izquierda), $k < 0.001$ muestran comportamiento ideal (derecha)



Nota. Elaboración propia

Figura 15

Variación de la capacidad de adsorción (q_m) con base en la tabla 2, con el fin de evaluar la sensibilidad del modelo de Freundlich con respecto a q_m

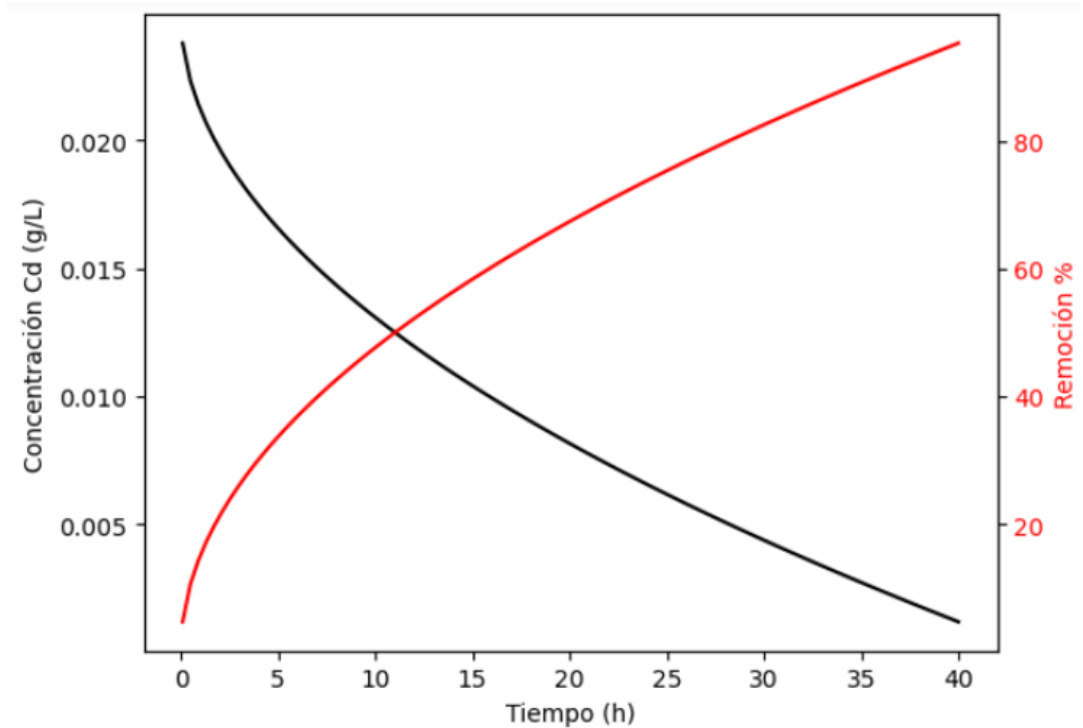


Nota. Elaboración propia

En la figura 15, se logra visualizar que los valores de q_m más altos, como 35.5 y 30.3, muestran un descenso más pronunciado de la concentración con el tiempo. Cabe resaltar que, en las conclusiones de los resultados de Wang et al. (2019), el biochar con mayor capacidad de adsorción fue el de 35.5 coincidiendo con el comportamiento del modelo de Langmuir. Esto sugiere que, para estos valores de q_m , el sistema tiene mayor capacidad de inmovilizar el Cd en solución. Por otra parte, los valores de q_m más bajos, como 14.2 y 17.2, tienen curvas que descienden más lentamente, lo que sugiere que el sistema es menos eficiente en la inmovilización o que tiene menor capacidad de adsorción.

Figura 16

Comparación de comportamiento de la concentración y el porcentaje de remoción en función del tiempo del modelo de Langmuir



Nota. Elaboración propia

La figura 16, sugiere que el proceso de remoción sigue un patrón acelerado en las primeras 10 horas, alcanzando una mayor eficiencia. Luego, el proceso de remoción

parece ralentizarse progresivamente, acercándose a un máximo de remoción de aproximadamente 95.2%. A medida que la remoción aumenta, la concentración de cadmio en la solución disminuye, indicando que la técnica de remoción aplicada es efectiva. Existe una relación inversa entre la concentración de Cd y el porcentaje de remoción, lo que es característico de los procesos de remoción. En el estudio realizado por Wang et al. (2019), el MSB500 obtuvo una capacidad de remoción del 97.1% y en comparación con el resultado obtenido por el modelo de Langmuir, se puede concluir que hubo un desfase de un 1.9% del modelo de Langmuir y la investigación realizada por Wang et al. (2019).

Es relevante destacar que varios estudios han evaluado la eficiencia de la remoción de metales pesados mediante el uso de isotermas de adsorción, como las de Freundlich y Langmuir, en el contexto del compostaje. Por ejemplo, Shah et al. (2018) concluyeron que el compostaje presenta una capacidad de adsorción superior al 49% en comparación con los residuos de biogás. Este hallazgo se atribuye a las características físicas del compostaje, que es más poroso y cuenta con cavidades bien desarrolladas, lo que le confiere un área superficial mayor que los residuos de biogás. Así, se establece que el compostaje tiene un gran potencial para la sorción y remoción de metales pesados en soluciones acuosas.

En otro estudio, Hamid et al. (2020) evaluaron la eficiencia de dos enmiendas compuestas: CA-1 (biochar-lima-sepiolita-zeolita) y CA-2 (estiércol-lima-sepiolita) para inmovilizar cadmio (Cd) y plomo (Pb) tanto a escala de campo como en laboratorio. Los resultados mostraron que el modelo de Langmuir se ajustó mejor a los datos de sorción, reflejando una alta capacidad para la sorción de Cd ($R^2 = 0.99$) y Pb ($R^2 = 0.92$), lo que sugiere que los mecanismos involucrados pueden incluir complejación, intercambio iónico o precipitación. Este estudio también resalta las diferencias estructurales y el comportamiento de adsorción entre las enmiendas aplicadas.

A partir de estos hallazgos, se puede afirmar que el modelo de Langmuir ofrece una mayor precisión en la modelación del comportamiento del cadmio durante los procesos de remoción de metales pesados, ya sea mediante compostaje o mediante el uso de enmiendas que contengan altas cantidades de materia orgánica (MO). Esta comparación entre diferentes materiales y modelos resalta no solo la efectividad del compostaje como estrategia para la remoción de metales pesados,

sino también la importancia de seleccionar adecuadamente los materiales según su capacidad de adsorción y las características específicas del contaminante a tratar.

EVALUACIÓN DE MODELO MATEMÁTICO EN EL PROCESO DE FITOESTABILIZACIÓN

Para evaluar el modelo de fitoestabilización, se tomó como referencia el estudio de Zemiani et al. (2021), donde analizaron la tolerancia de *M. Crispa* en un suelo oxisol contaminado con Cd, midiendo el crecimiento vegetal y la acumulación de metal en raíces, tallos y hojas. El suelo experimental se preparó en recipientes de polipropileno con 1,0 g de suelo y concentraciones de Cd entre 10 y 1500 mg L⁻¹.

El valor de la capacidad máxima de adsorción (MAC) estimado mediante el modelo de Langmuir se utilizó como base para definir las concentraciones de Cd aplicadas al suelo, estableciéndose tratamientos de T1 a T7: T1 (1/8 MAC), T2 (1/6 MAC), T3 (1/4 MAC), T4 (1/2 MAC), T5 (MAC), T6 (doble MAC) y T7 (cuádruple MAC).

Tabla 3

MAC estimadas para las raíces de la planta *M. crispa* en cada uno de los suelos experimentales

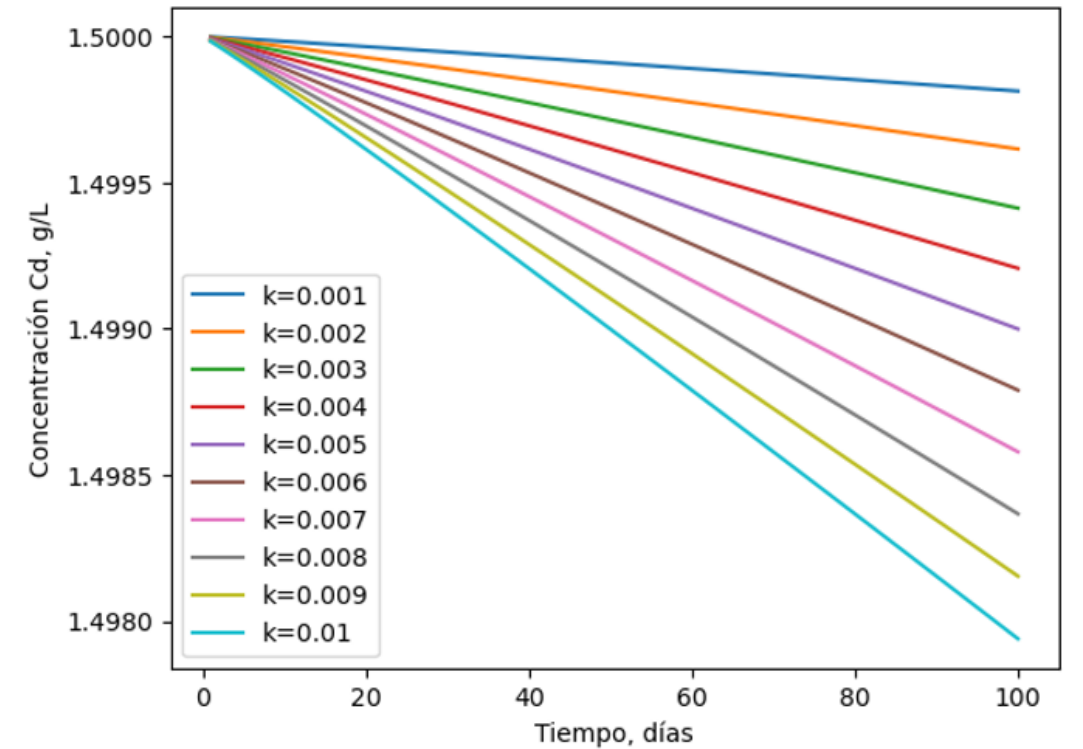
Muestras	q_m raíces (mg/kg)	KF	α
T1	1937	0.2111	1.988
T2	1573		
T3	2521		
T4	4223		
T5	6803		

Nota. Zemiani et al. (2021)

Para el análisis de la sensibilidad del modelo de Freundlich con respecto a la constante de velocidad de reacción k, se tuvo en cuenta la kf y el α de la tabla 3 (Ver figura 17). k afecta directamente la velocidad de remoción de cadmio, y su impacto es bastante lineal. A medida que k aumenta, la concentración de cadmio disminuye más rápidamente. Esto sugiere que el sistema es más eficiente para valores mayores de k=0.01.

Figura 17

Variación de la constante de velocidad de reacción en un rango de 0.001 a 0.01, con el fin de evaluar la sensibilidad de la constante k

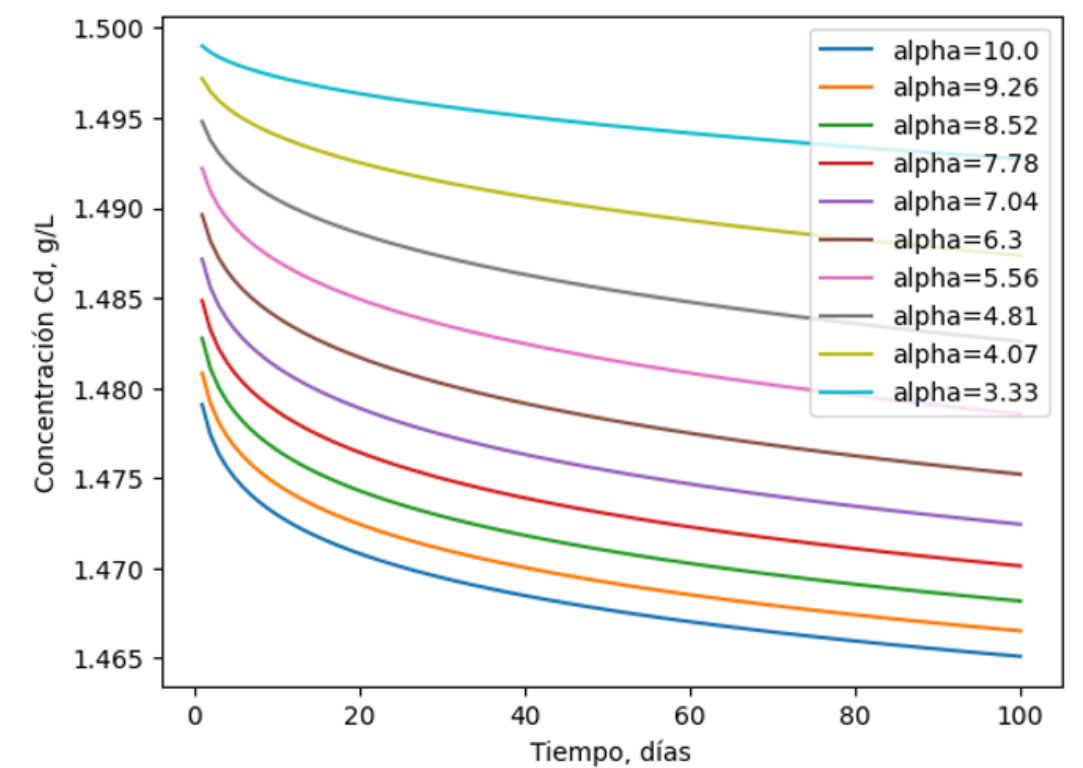


Nota. Elaboración propia

En la figura 18, se evidencia el comportamiento de la remoción del cadmio en función del tiempo cuando se varía la constante α . Los valores de α mayores muestran una mayor velocidad de remoción al inicio y alcanzan concentraciones más bajas de cadmio más rápidamente, mientras que valores menores de α muestran una disminución más gradual de la concentración de Cd. Alpha tiene un comportamiento no lineal más pronunciado, afectando especialmente las fases iniciales del proceso de remoción. Los valores más grandes de α logran reducciones significativas de cadmio en los primeros días, pero la tasa de remoción disminuye con el tiempo.

Figura 18

Variación de la constante de intensidad de reacción, con el fin de evaluar la sensibilidad de la constante α

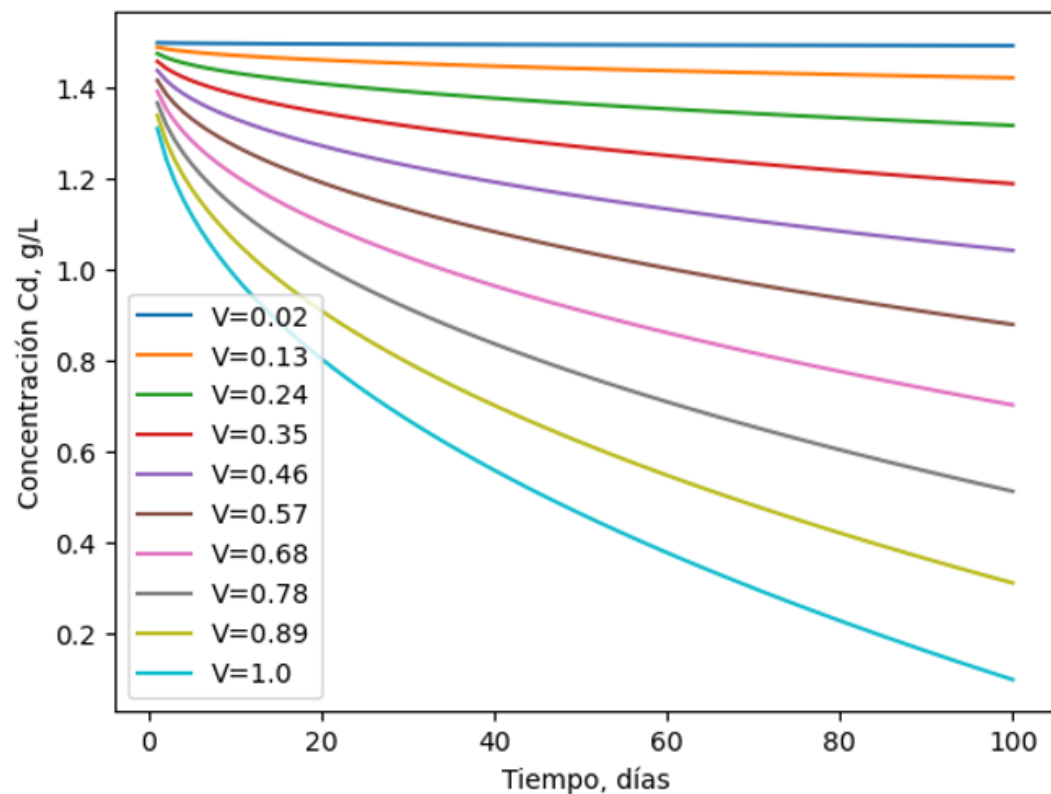


Nota. Elaboración propia

En la figura 19, se observa el comportamiento de la concentración del Cd en función del tiempo con respecto a la variación del volumen de control. El comportamiento observado de un volumen bajo permite una remoción más rápida del cadmio, posiblemente porque la interacción con las enmiendas o la fitostabilización es más eficiente en un sistema de menor tamaño. Esto podría estar relacionado con una mayor proporción de superficie o mayor interacción entre el suelo, la solución, y las enmiendas en volúmenes más pequeños, lo que mejora la tasa de remoción.

Figura 19

Variación del volumen de 0.02 a 1 L, con el fin de evaluar la sensibilidad del modelo con la variación del volumen

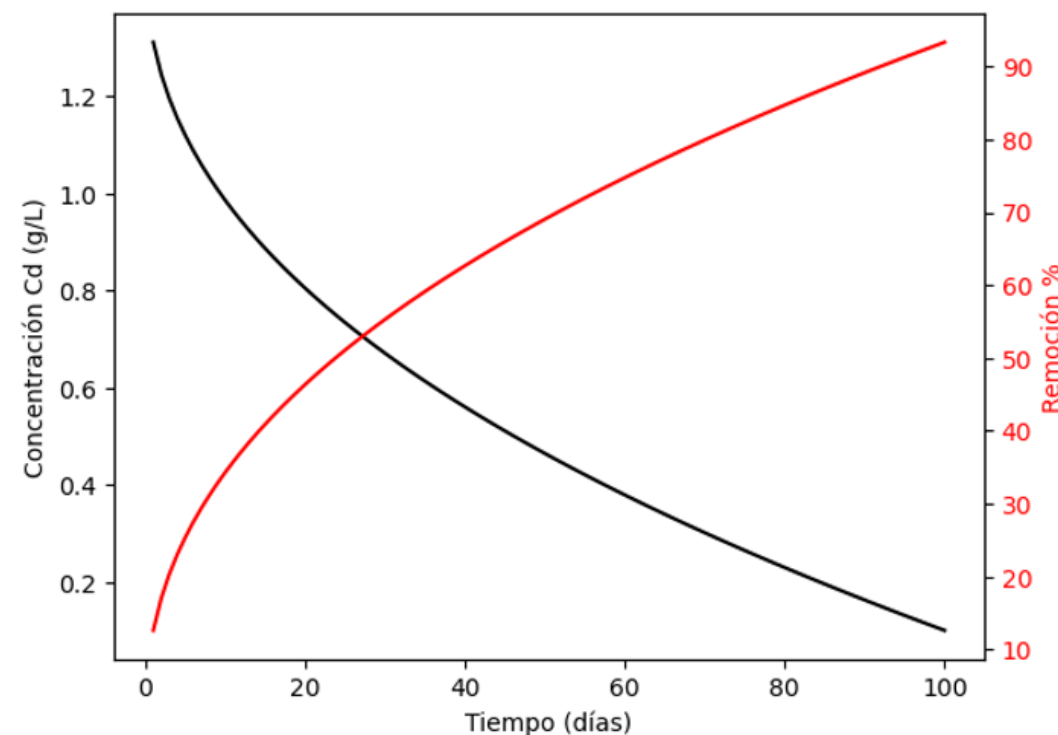


Nota. Elaboración propia

La gráfica de la figura 20, muestra una relación inversa entre la concentración de cadmio y el porcentaje de remoción a lo largo del tiempo. Inicialmente, la concentración de cadmio es de 1.5 g y la remoción es de 0%. Con el paso de los días, la concentración de cadmio disminuye, mientras que la remoción aumenta, alcanzando aproximadamente un 90% al cabo de 100 días. Esto sugiere que el proceso de remoción es progresivo y se vuelve más eficiente con el tiempo, posiblemente por la acción de un agente de remediación.

Figura 20

Comparación de comportamiento de la concentración y el porcentaje de remoción en función del tiempo del modelo de Freundlich

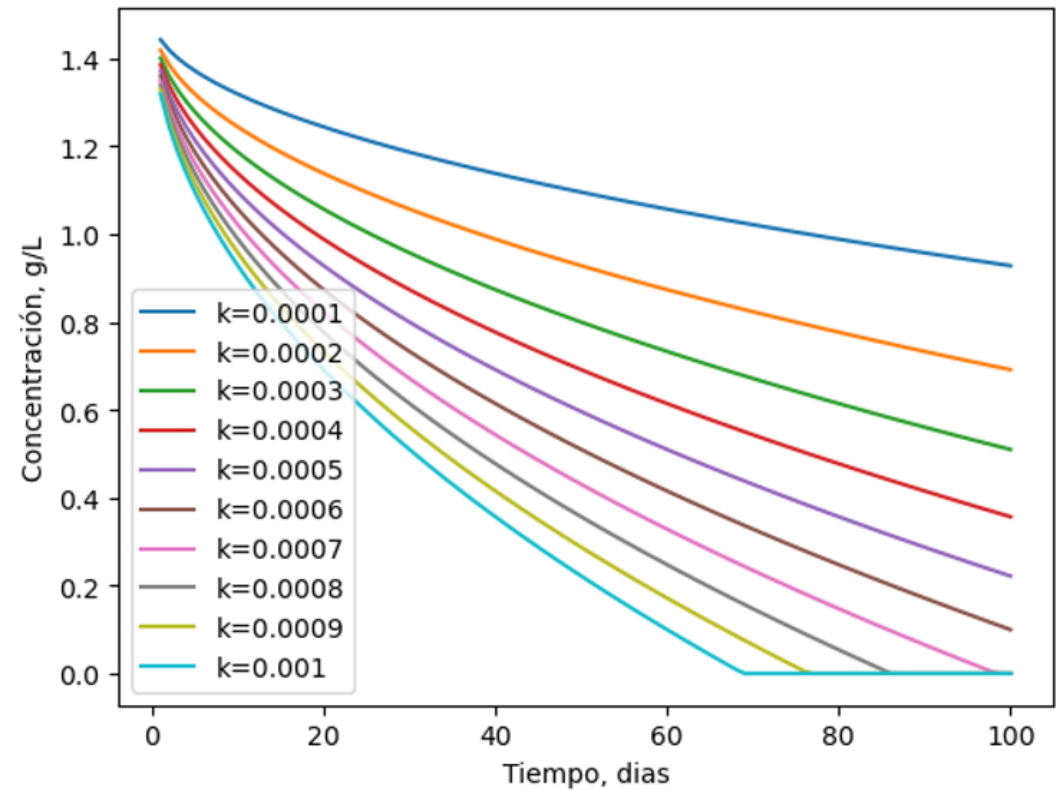


Nota. Elaboración propia

Por otro lado, para el análisis del modelo de Langmuir se realizó el mismo procedimiento que para el modelo anterior. En la figura 21, la gráfica muestra claramente cómo la variable k afecta significativamente el comportamiento del sistema. Los valores como $k=0.0001$, muestran una remoción de cadmio mucho más lenta, lo que sugiere que incluso pequeños cambios en el valor de k podrían tener un impacto importante en el tiempo necesario para reducir la concentración de cadmio. Los valores de $k=0.001$, la disminución de la concentración de cadmio es mucho más rápida, lo que implica una mayor eficiencia en la remoción.

Figura 21

Variación de velocidad de reacción en un rango de 0.0001 a 0.001, con el fin de evaluar la sensibilidad de la constante k

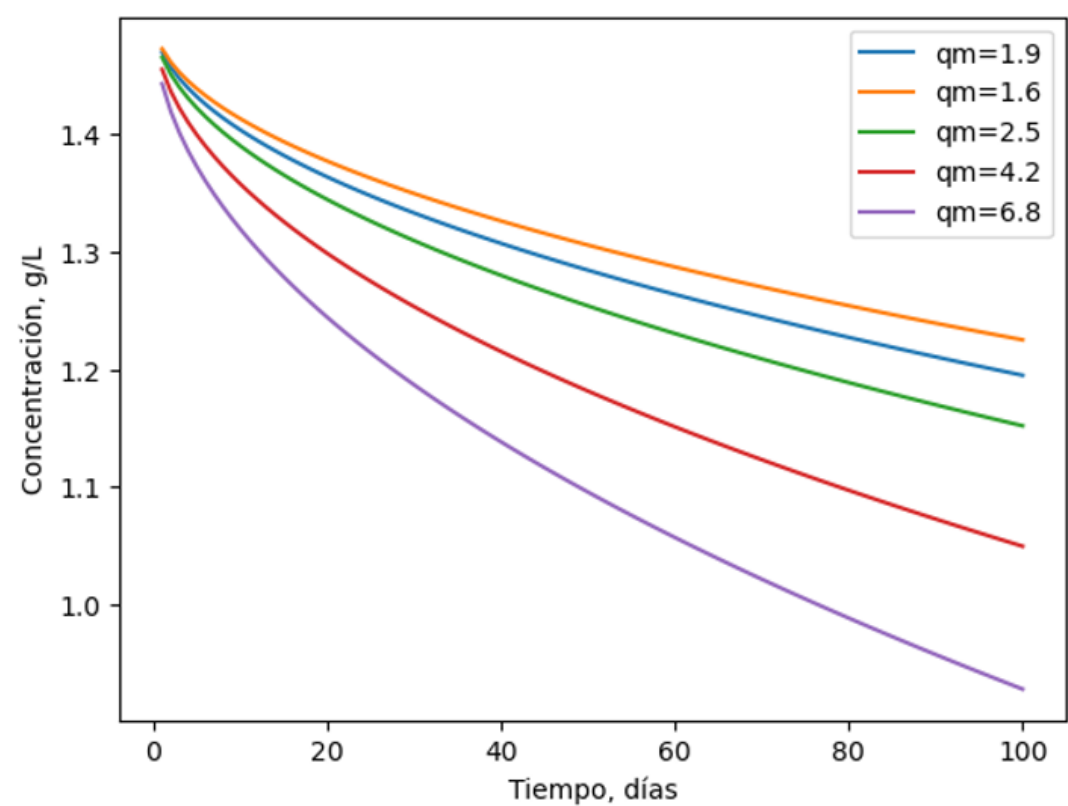


Nota. Elaboración propia

La figura 22 muestra la disminución de la concentración de cadmio en función del tiempo para diferentes valores de q_m . A medida que aumenta q_m , las curvas se vuelven más pronunciadas, lo que indica una mayor eficiencia en la remoción de cadmio. Para valores altos (como 6.8), la remoción es mucho más rápida, alcanzando concentraciones más bajas en menos tiempo. Esto demuestra que el modelo es sensible a q_m , y que una mayor capacidad de adsorción mejora significativamente la eficiencia del proceso.

Figura 22

Variación de la constante de velocidad de reacción en un rango de 0.001 a 0.01, con el fin de evaluar la sensibilidad de la constante k

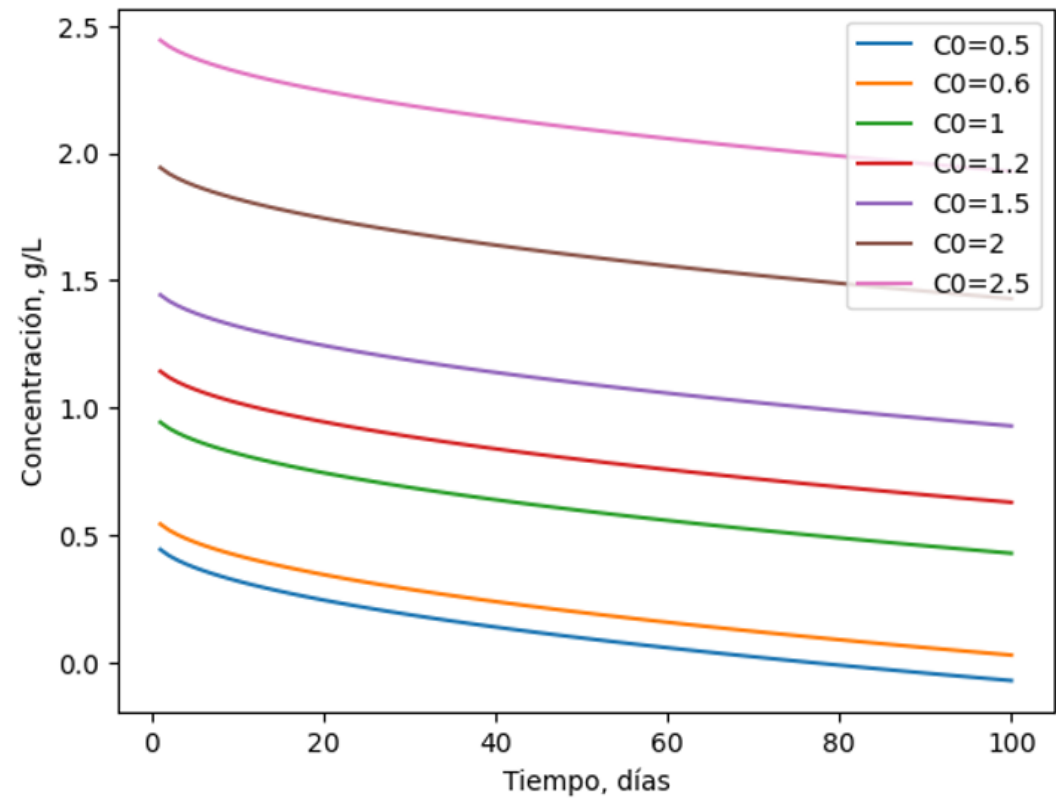


Nota. Elaboración propia

La figura 23 muestra cómo la concentración de cadmio disminuye con el tiempo para diferentes concentraciones iniciales (C), que van desde 0.5 g/L hasta 2.5 g/L. Indica que el modelo es sensible a C , ya que una mayor concentración inicial requiere más tiempo para alcanzar niveles bajos de cadmio, lo que refleja que el proceso de remoción es más lento para concentraciones iniciales elevadas.

Figura 23

Variación de la constante de velocidad de reacción en un rango de 0.001 a 0.01, con el fin de evaluar la sensibilidad de la constante k

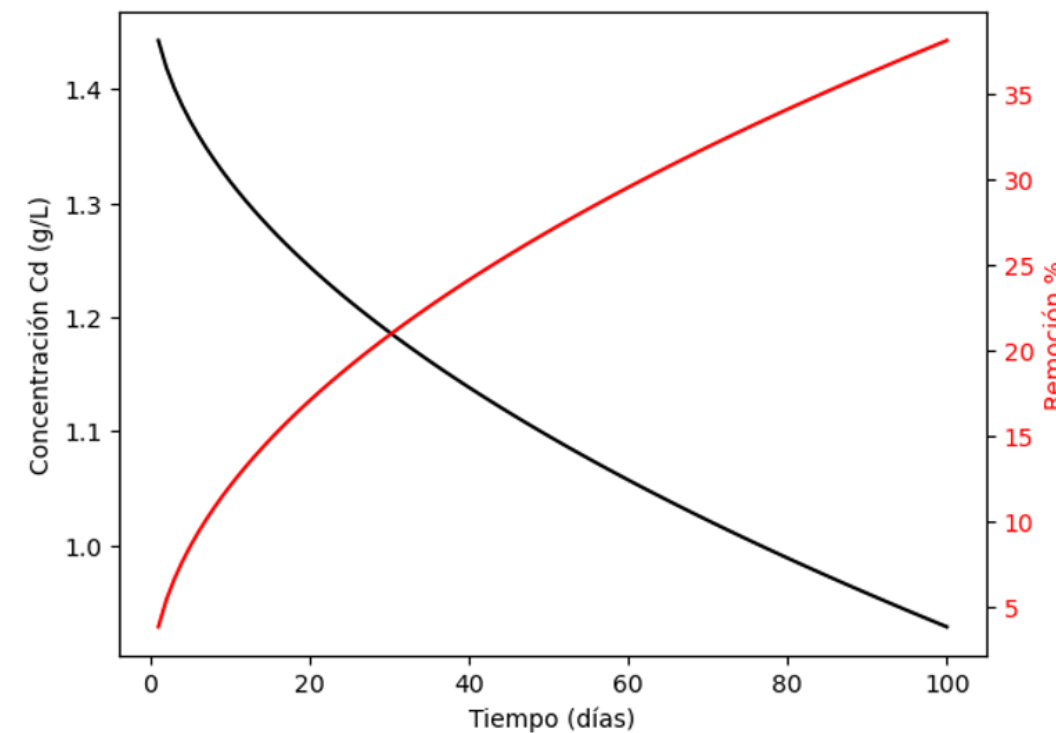


Nota. Elaboración propia

La gráfica muestra la evolución simultánea de la concentración de cadmio (en negro) y el porcentaje de remoción (en rojo) a lo largo de 100 días. La concentración de cadmio disminuye de manera continua desde aproximadamente 1.4 g/L a menos de 1.0 g/L. En paralelo, el porcentaje de remoción aumenta de 0% a más del 35% en ese mismo intervalo. La intersección de ambas curvas ocurre alrededor del día 30, lo que sugiere que en este punto el sistema alcanza una remoción cercana al 20% y la concentración de cadmio se encuentra cerca de 1.1 g/L. Este patrón indica un proceso de remoción progresivo, con una mayor eficiencia conforme avanza el tiempo.

Figura 24

Variación de la constante de velocidad de reacción en un rango de 0.001 a 0.01, con el fin de evaluar la sensibilidad de la constante k



Nota. Elaboración propia

Con base en la investigación de Zemiani et al. (2021), la cual revela que la especie *M. crispa* muestra una notable tolerancia a metales pesados, específicamente en su cultivo en oxisol contaminado con cadmio (Cd). Este hallazgo es significativo, ya que indica que *M. Crispa* actúa como un excluidor, es decir, que va acumulando el metal principalmente en sus raíces, evitando que ingrese y suba a la planta, lo que sugiere su potencial para ser utilizada en estrategias de fitoestabilización (Zemiani et al., 2020). La observación de que los factores de bioacumulación y translocación son inferiores a 1 refuerza esta idea, ya que implica que la planta no transporta el contaminante a otras partes, inmovilizando los contaminantes en las raíces (Zemiani et al., 2020). Además, el hecho de que el proceso de adsorción sea el principal mecanismo de remoción resalta la importancia del modelo de Freundlich para describir este comportamiento de una remoción del 93% por medio de fitoestabilización.

Por otro lado, la investigación de Mahajan & Kaushal (2020) ofrece una perspectiva diferente al examinar el potencial de *Chara Vulgaris* para eliminar el colorante azoico ácido rojo de metilo (MR). Aunque los contaminantes son distintos, ambos estudios comparten un enfoque en la adsorción como mecanismo clave para la remoción de sustancias nocivas. Mahajan & Kaushal (2020) utilizan tanto los modelos de Langmuir como de Freundlich para analizar el patrón de adsorción del colorante en las superficies de *Chara Vulgaris*. El modelo de Freundlich también se destaca en la investigación como el más adecuado para describir la adsorción activa del colorante, lo que sugiere una posible compatibilidad entre los modelos utilizados en ambas investigaciones.

Aunque las investigaciones abordan diferentes contaminantes y organismos, ambas destacan el modelo de Freundlich como una herramienta útil para predecir el comportamiento de remoción en procesos de fitorremediación. Esto abre un espacio para discutir cómo diferentes especies pueden ser seleccionadas estratégicamente según el tipo específico de contaminación presente en un ecosistema determinado.

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS

Para mejorar la aplicabilidad de los modelos para la remediación de suelos, se recomienda implementar estrategias prácticas que optimicen la efectividad de la Fito-estabilización y el uso de compost en la inmovilización de cadmio. Como primer paso, es crucial ajustar la cantidad (volumen y masa) y composición del compost y planta aplicados, con el fin de conocer la capacidad de adsorción de estos, adaptándolas a las características específicas del suelo y a la concentración de metales pesados presentes. Esta personalización permitirá mejorar la atracción catiónica y contribuirá a una mayor estabilidad del cadmio en el suelo, aumentando la eficacia de la enmienda orgánica. Además, se sugiere monitorear periódicamente parámetros clave del suelo, como el pH y el contenido de materia orgánica, debido a su influencia en la capacidad de adsorción y en la disponibilidad del cadmio.

También es aconsejable adaptar el modelo a las condiciones locales a través de pruebas piloto en diversos tipos de suelo y niveles de contaminación. Esto permitirá ajustar los parámetros del modelo para que representen con mayor precisión las condiciones reales y, en consecuencia, mejorar su capacidad predictiva. Otra recomendación es incorporar un análisis de costo-beneficio en el modelo, facilitando

que los usuarios evalúen la viabilidad económica de los tratamientos en áreas extensas. De este modo, se ofrecería una guía completa que incluya tanto aspectos técnicos como financieros de la remediación. Estas prácticas contribuirán no solo a mejorar la efectividad del proceso de remediación, sino también a fomentar la adopción del modelo en proyectos a gran escala.

CONCLUSIONES

La contaminación del suelo por cadmio (Cd) es un problema ambiental que ha recibido menos atención en Colombia en comparación con la contaminación del agua. La revisión sistemática realizada evidenció una escasa producción de investigaciones sobre la modelación de isotermas de adsorción en este contexto, lo que subraya una importante brecha de conocimiento.

Esta investigación permitió profundizar en la teoría de adsorción, destacando el papel de la formación de complejos durante la aplicación de compost y en la rizosfera de plantas fitorremediadoras. Se formularon las ecuaciones matemáticas de las isotermas de Freundlich y Langmuir, y el análisis de sensibilidad de sus variables permitió evaluar cómo las concentraciones y los tiempos de remoción influyen en el desempeño de ambos modelos. Los resultados indican que el modelo de Langmuir se ajusta mejor a los datos experimentales obtenidos en investigaciones como las referenciadas por Wang et al. (2020), lo que sugiere su mayor idoneidad para describir la remoción de Cd mediante enmiendas como el compostaje. Por otro lado, el modelo de Freundlich mostró un mejor desempeño al describir los procesos de remediación del Cd durante la fitorremediación.

Finalmente, es fundamental validar ambos modelos en estudios futuros y las unidades utilizadas, dado que en esta investigación se implementaron las que mejor se ajustaban a cada caso y cada modelo. Esto permitirá confirmar su aplicabilidad en distintos escenarios y contribuir al diseño de estrategias más eficaces para la remoción de metales pesados del suelo. Este esfuerzo ampliará el conocimiento necesario para enfrentar el desafío de la contaminación del suelo en Colombia de manera más integral.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo en cada paso de mi vida académica. Agradezco profundamente a mis dos grandes amigos, Isabella Santamaría de la Universidad Santo Tomás y Thomas Castellanos de la Universidad de La Sabana, por su generosa contribución y apoyo en la provisión de herramientas esenciales para la realización de esta investigación.

Extiendo también mi gratitud a la Universidad Sergio Arboleda y a mis compañeros de carrera, quienes, con su entusiasmo y dedicación, me inspiraron a ser mejor cada día. A mis profesores, quienes nos transmitieron su pasión por la ingeniería ambiental, y especialmente a mi tutor, el profesor Víctor Lizcano. Su capacidad y deseo para motivar a sus estudiantes a investigar, sacar lo mejor de sí mismos y aplicar la ingeniería ambiental en diversas áreas ha sido clave para el desarrollo de este trabajo. Su orientación y apoyo ha dejado una huella profunda en mi camino académico y profesional. Espero que su conocimiento y dedicación sean ampliamente reconocidos, y que muchos más estudiantes puedan beneficiarse de su guía para alcanzar su máximo potencial.

REFERENCIAS

- Ahmad, J., Ali, Asthana Ali, A., Affan Baig, M., Iqbal, M., Haq, I., & Qureshi, M. I. (2019). Role of phytochelatins in cadmium stress tolerance in plants en M. Hasanuzzaman & M. Fujita (Eds.), *Cadmium toxicity and tolerance in plants: From physiology to remediation* (pp. 169-189). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00008-5>
- Ali, H., Khan, E. & Anwar Sajad, M. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Alidou-Arzika, I., Lebrun, M., Miard, F., Nandillon, R., Bayçu, G., Bourgerie, S., & Morabito, D. (2021). Assessment of compost and three biochars associated with *Ailanthus altissima* (Miller) Swingle for lead and arsenic stabilization in a post-mining tech. *Science of The Total Environment*, 789, 147946. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60025-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60025-5)

- Bacilio-Jiménez, M., Carreon-Palau, L., Arredondo-Vega, B. O., Chávez-Cobian, J. A., & Carrillo-González, R. (2022). Changes in fatty acid in *Tecoma stans* grown in mine residues after compost amendment. *International Journal of Phytoremediation*, 24(14), 1455-1464. <https://doi.org/10.1080/15226514.2022.2033690>
- Bali, A. S., Singh Sidhu, G. P., & Kumar, V. (2020). Root exudates ameliorate cadmium tolerance in plants: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(4), 1243–1275. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01012-x>
- Banco Mundial. (19 de marzo de 2020). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medio ambiente y las economías, según el Banco Mundial*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>
- Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., Kirkham, M. B., & Scheckel, K. (2014). Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*, 266, 141-166. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.018>
- Burbano Orjuela, H., & Silva Mojica, F. (Eds.). (2010). *Ciencia del suelo: principios básicos*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Cheng, Y., Bu, X., Li, J., Ji, Z., Wang, C., Xiao, X., Li, F., Wu, Z., Wu, G., Jia, P., & Li, J. (2022). Application of biochar and compost improved soil properties and enhanced plant growth in a Pb-Zn mine tailings soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 66244–66256. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24488-2>
- Ducey, T. F., Sigua, G. C., Novak, J. M., Ippolito, J. A., Spokas, K. A., & Johnson, M. G. (2021). Microbial response to phytostabilization in mining impacted soils using maize in conjunction with biochar and compost. *Microorganisms*, 9(12), 2545. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8707346/>

- Frutos, I., García-Delgado, C., Cala, V., Gárate, A. y Eymar, E. (2016). The use of spent mushroom compost to enhance the ability of *Atriplex halimus* to phytoremediate contaminated mine soils. *Environmental Technology*. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1217938>
- Hamid, Y., Tang, L., Hussain, B., Usman, M., Rehman Hashmi, M. L. ur, Bilal Khan, M., ... He, Z. (2020). Immobilization and sorption of Cd and Pb in contaminated stagnic anthrosols as amended with biochar and manure combined with inorganic additives. *Journal of Environmental Management*, 257, 109999. doi:10.1016/j.jenvman.2019.109999.
- Hazrati, S., Farahbakhsh, M., Heydarpoor, G., & Besalatpour, A. A. (2020). Mitigation in availability and toxicity of multimetal contaminated soil by combining soil washing and organic amendments stabilization. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110807>
- Jehan, S., Khattak, S. A., Khan, S., Ali, L., Waqas, M., & Kamran, A. (2023). Comparative efficacy of *Parthenium hysterophorus* (L.) derived biochar and iron doped zinc oxide nanoparticle on heavy metals (HMs) mobility and its uptake by *Triticum aestivum* (L.) in chromite mining contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation*, 25(14), 1890-1900. <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2204968>
- Kiswanto, K & Wintah, W. (2023). Ability of humic acid in the absorption of heavy metal content of lead and iron in fish culture media. *Journal of Ecological Engineering*, 24(4), 122-128. <https://doi.org/10.12911/22998993/161328>
- Lorente-Casalini, O., García-Carmona, M., Pastor-Jáuregui, R., & Martín-Peinado, F. J. (2021). Assessment of biopiles treatment on polluted soils by the use of *Eisenia andrei* bioassay. *Environmental Pollution*, 269, 116642. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116642>
- Madzin, Z., Zahidi, I., Raghunandan, M. E., & Talei, A. (2022). Potential application of spent mushroom compost (SMC) biochar as low-cost filtration media in heavy metal removal from abandoned mining water. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04617-7>

- Mahajan, P., & Kaushal, J. (2020). Phytoremediation of azo dye methyl red by macroalgae *Chara vulgaris* L.: kinetic and equilibrium studies. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-020-08977-w
- Makombe, N. & Gwisai, R. D. (2018). Soil remediation practices for hydrocarbon and heavy metal reclamation in mining polluted soils. *The Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2018/5130430>
- Milla-Moreno, E., & Guy, R. (2021). Growth response, uptake and mobilization of metals in native plant species on tailings at a Chilean copper mine. *Remediation Journal*, 31(2), 109-123. <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1838435>
- Montuelle, B. & Steinman, A. D. (2011). *Metales pesados en los suelos: Una revisión de fuentes, la química, los riesgos y las mejores estrategias disponibles para la remediación*. ISRN Soil Science. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>
- Novak, J. M., Ippolito, J. A., Watts, D. W., Sigua, G. C., Ducey, T. F., & Johnson, M. G. (2019). Biochar compost blends facilitate switchgrass growth in mine soils by reducing Cd and Zn bioavailability. *Biochar*, 1, 97-114. <https://link.springer.com/article/10.1007/s42773-019-00004-7>
- Olivia, L. C., Minerva, G. C., Rocío, P. J., & José, M. P. F. (2021). Assessment of biopiles treatment on polluted soils by the use of *Eisenia andrei* bioassay. *Environmental Pollution*, 275, 116642. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749121002207>
- Prasad, B., & Sinha, M. K. (1980). Physical and chemical characterization of soil and poultry litter humic and fulvic metal complexes. *Plant and Soil*, 54, 223-232. <https://doi.org/10.1007/BF02181848>
- Shah, G. M., Umm-e-aiman, Imran, M., Bakhat, H. F., Hammad, H. M., Ahmad, I., ... Khan, Z. U. H. (2018). Kinetics and equilibrium study of lead bio-sorption from contaminated water by compost and biogas residues. *International Journal of Environmental Science and Technology*. doi:10.1007/s13762-018-1865-x

Sigua, G. C., Novak, J. M., Watts, D. W., Ippolito, J. A., Ducey, T. F., Johnson, M. G., & Spokas, K. A. (2019). Phytostabilization of Zn and Cd in mine soil using corn in combination with biochars and manure-based compost. *Environments*, 6(6), 69. <https://www.mdpi.com/2076-3298/6/6/69>

Tsao, D. T. (2003). Overview of phytotechnologies en D. T. Tsao (Ed.), *Phytoremediation* (pp. 1-50). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-45991-x_1

Vitelli, V., Giamborino, A., Bertolini, A., Saba, A., & Andreucci, A. (2024). Cadmium stress signaling pathways in plants: Molecular responses and mechanisms. *Current Issues in Molecular Biology*, 46, 6052–6068. <https://doi.org/10.3390/cimb46060361>

Volke, T. & Velasco, J. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. <http://www.ecopuerto.com/Bicentenario/informes/TecnologiasRemediacion.pdf>

Wang, H., Zhang, M., & Lv, Q. (2019). Influence of pyrolysis temperature on cadmium removal capacity and mechanism by maize straw and Platanus leaves biochars. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5), 845. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050845>

Zemiani, A., Bettin Boldarini, M. T., Anami Hidemassa, M., Fontes de Oliveira, E., & Furtado da Silva, A. (2021). Tolerance of *Mentha crispa* L. (garden mint) cultivated in cadmium-contaminated oxisol. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31), 42107–42120. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13641-y>

Aplicación de Software Especializado para el Diseño de un Sistema Productivo y de Almacenamiento de Cacao en Polvo

Natalia Molina Arévalo

Magister en Gerencia de la Calidad, Especialista en Educación Superior a Distancia, Ingeniera Industrial

Mail: natalia.molina@unad.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6266-596X>

Filiación Institucional: Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI) - Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Karen Vanessa Marimon Sibaja

Doctora en Ingeniería y Ciencia de Alimentos, Magister en Ciencia y Tecnología de alimentos, Ingeniera de Alimentos

Mail: karen.marimon@unad.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4358-8049>

Filiación Institucional: Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI) - Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Johny Alexis Higueta Velásquez

Ingeniero de Alimentos, Técnico en procesamiento de leches y derivados

Mail: jahiguitave@unadvirtual.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6778-2504>

Filiación Institucional: Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI) - Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Molina Arévalo, N., Marimon Sibaja, K. V., y Higueta Velásquez, J. A. (2024). Aplicación de software especializado para el diseño de un sistema productivo y de almacenamiento de cacao en polvo en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 399-414). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

Los diseños de software son un componente crucial tanto para la industria alimentaria como para la producción a escala industrial. En este sentido, el uso de programas de diseño como SketchUp permite crear una estructura digital, cuyo objetivo final es concretarse en el diseño físico de una planta de producción de cacao en polvo. Uno de los principales desafíos es asegurar que las dimensiones y características de la planta cumplan con el reglamento sanitario vigente, especialmente en lo que respecta a las Buenas Prácticas de Manufactura y Distribución, tal como lo establece la Resolución 2674, que modifica el Decreto 3075 y define lineamientos para fábricas de productos destinados al consumo humano. En estos documentos se encuentran los requisitos clave para el diseño o modificación de las instalaciones. Es fundamental considerar que, para los desarrollos tecnológicos, los programas de simulación juegan un papel importante al permitir prever y evaluar posibles fallos en el proceso y el diseño.

Palabras Clave: Enfoque sistémico, Sistema productivo, Modelo y notación de procesos de negocio, SketchUP, Flexsim y Cacao en polvo

APPLICATION OF SPECIALIZED SOFTWARE FOR DESIGNING A CACAO POWDER PRODUCTION AND STORAGE SYSTEM

ABSTRACT

Software design is a crucial component for both the food industry and large-scale production. In this context, the use of design programs such as SketchUp enables the creation of a digital structure, ultimately aimed at materializing the physical design of a cocoa powder production plant. One of the main challenges is ensuring that the plant's dimensions and characteristics comply with current sanitary regulations, particularly regarding Good Manufacturing and Distribution Practices, as established by Resolution 2674, which modifies Decree 3075 and defines guidelines for factories producing goods intended for human consumption. These documents outline the key requirements for designing or modifying facilities. It is essential to consider that, in technological developments, simulation programs play a significant role in anticipating and assessing potential failures in processes and design.

Keywords: Systemic Approach, Production system, Business Process Model and Notation, SketchUP, Flexsim and Cocoa Powder

INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, la eficiencia en la producción y almacenamiento de productos agrícolas es crucial para mantener la competitividad en el mercado global. La aplicación de software especializado en el diseño de sistemas productivos y de almacenamiento es fundamental para optimizar estos procesos, especialmente en el sector del cacao en polvo. Este tipo de software permite una planificación y gestión precisas de cada etapa del proceso, desde la recepción de las materias primas hasta la distribución del producto final; el cacao, siendo un producto altamente perecedero y sensible a las condiciones ambientales, requiere un manejo cuidadoso tanto en su producción como en su almacenamiento. La implementación de herramientas digitales avanzadas facilita el diseño de sistemas que no solo maximizan la eficiencia operativa, sino que también aseguran la calidad y seguridad del producto. Estas aplicaciones permiten la simulación de procesos, la optimización de rutas de producción y la gestión de inventarios en tiempo real.

Al integrar un software especializado, las empresas pueden anticipar problemas potenciales, ajustar estrategias en función de datos precisos y mejorar la trazabilidad del producto, todo lo cual contribuye a una cadena de suministro más robusta y rentable. En suma, el uso de estas herramientas es una inversión estratégica para enfrentar los retos de un mercado en constante evolución y garantizar la excelencia en la producción de cacao en polvo.

MARCO REFERENCIAL

El principal paso es dar explicación a los términos que se dan en este capítulo de aplicación para el desarrollo y contar con el contexto necesario para dar una visión e imaginación de lo que sería el desarrollo más adelante del texto, entonces; El diseño de procesos es una disciplina clave en la gestión empresarial que se centra en la creación, modelado y optimización de procesos organizacionales. Según Hammer & Champy (1993), el diseño de procesos busca mejorar la eficiencia y efectividad organizacional al rediseñar procesos de trabajo para alinear mejor las actividades con los objetivos estratégicos. La metodología comúnmente utilizada en este campo incluye el mapeo de procesos y la identificación de cuellos de botella y oportunidades de mejora (Davenport, 1993).

El enfoque sistémico es una perspectiva teórica y metodológica que considera a los elementos de un sistema como interdependientes e interrelacionados, donde el comportamiento del todo es más que la suma de sus partes. Este enfoque busca entender cómo las diferentes partes de un sistema interactúan y afectan al conjunto, y se aplica ampliamente en diversas disciplinas, incluyendo la biología, la ingeniería, la sociología y la gestión empresarial (Viteri, 2015).

Business Process Model and Notation (BPMN) es una notación estándar que proporciona una forma gráfica para describir los procesos de negocio. Introducida por la Object Management Group (OMG), BPMN se enfoca en la facilidad de comprensión y la comunicación entre todas las partes interesadas (White, 2004). BPMN utiliza una serie de símbolos y diagramas para representar procesos, eventos y flujos, facilitando así una visualización clara y una mejor gestión de los procesos (OMG, 2011).

Según Vargas y Castrillón (2022), FlexSim es una plataforma que facilita la creación de modelos de simulación de manera visual e interactiva, proporcionando una forma intuitiva de comprender y mejorar los procesos sin necesidad de detener la operación real del sistema. Este software es especialmente valioso en la gestión de operaciones, donde la simulación puede revelar cuellos de botella y oportunidades de optimización.

Por otro lado, SketchUp es un software de modelado 3D que se utiliza ampliamente en el diseño arquitectónico y la planificación. Desarrollado por Trimble, SketchUp permite a los usuarios crear y modificar modelos tridimensionales con facilidad, ofreciendo herramientas intuitivas y un enfoque basado en la simplicidad (Trimble, 2020). Su interfaz accesible y capacidades de visualización ayudan a los diseñadores a conceptualizar y comunicar sus ideas de manera efectiva.

METODOLOGÍA

Este capítulo aborda los resultados obtenidos del proyecto "Caracterización de la cadena de valor del cacao en el Tolima con fines de construcción de un plan de producción y exportación" código PGI0701ECBTI2024, proyecto adscrito a la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología en Ingeniería – ECBTI de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.

Se elige el subproducto del cacao en polvo de la cadena de valor del cacao, para el desarrollo de esta investigación porque este producto es considerado uno de los productos con mayor potencial de exportación para el año 2024 en Colombia y porque el cacao en polvo es altamente valorado en la industria alimenticia, gastronómica y cosmética. Según la Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (Fedecacao, 2021), el sector cacaotero ha crecido de forma continua en la última década, duplicando su producción y aumentando las exportaciones, no solo de cacao en grano, sino también de subproductos como el cacao en polvo. Este crecimiento es respaldado por la subida de precios del cacao en mercados internacionales, que han alcanzado niveles históricos, incentivando a los productores a expandir su cultivo.

El texto describe el diseño integral del sistema productivo de cacao en polvo, desde la modelización del proceso hasta la planificación y la distribución física de las estaciones de trabajo del área de producción y almacenamiento. Con un enfoque sistémico y orientado al proceso, se busca optimizar cada etapa del ciclo productivo. El capítulo introduce BPMN 2.0, una herramienta clave para diagramar y analizar procesos, que se utiliza para mapear el flujo de trabajo dentro del sistema productivo, desde la llegada de materias primas hasta guardar en un almacén o centro logístico el bien o producto terminado, asegurando la eficiencia operativa y la calidad del producto.

El capítulo presenta un enfoque sistémico que ofrece una visión holística del sistema productivo. Se propone una metodología para identificar y categorizar los requerimientos clave, incluyendo aspectos técnicos, operativos y estratégicos. A través de tablas y herramientas de análisis, se garantiza que todos los elementos críticos sean considerados, desde la selección de maquinaria hasta el cumplimiento de normativas. Este análisis sistemático permite diseñar un sistema eficiente, rentable y adaptable a futuros cambios en la demanda. Además, se aborda el diseño físico del área de producción utilizando herramientas como Flexsim.

Por último, se hará uso de la herramienta SketchUP para realizar el diseño de las instalaciones físicas de un centro logístico para el almacenamiento y despacho de grandes cantidades de cacao en polvo, con el objetivo de comercializar el producto final a territorios nacionales e internacionales, garantizando que estos procesos se hagan en óptimas condiciones.

Es de aclarar que la metodología explicada en este capítulo de libro nace y ha sido aplicada en el curso Diseño de plantas, código 212033 de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD (UNAD, 2024). La metodología de enseñanza está basada en la iniciativa CDIO - Concebir, Diseñar, Implementar y Operar, Lopera y Restrepo (2015) define esta iniciativa educativa, surgida a principios del siglo XXI, como un enfoque innovador para la formación de ingenieros. En lugar de centrarse exclusivamente en la teoría, el ciclo CDIO promueve una educación más práctica y experiencial, donde los estudiantes aprenden haciendo.

En el curso de Diseño de plantas a través de los contenidos bibliográficos y actividades del curso, a los estudiantes se les propone un modelo de sistema productivo de un bien manufacturado, semestre a semestre se cambia este modelo, para el semestre 2024 16-04, el modelo a construir es el de producción de cacao en polvo. A partir de una información básica sobre el proceso productivo los estudiantes deben analizar la información e identificar la secuencia de actividades requeridas para generar un producto, desde la recepción de la materia prima hasta su despacho al cliente, esta secuencia de actividades se representa mediante un diagrama de flujo o de bloques; los estudiantes del curso también deben identificar las entradas y salidas de cada actividad del proceso, entradas como materias primas, maquinaria, entre otros, se identifican también las salidas como los productos resultantes de cada actividad de transformación, para esto los estudiantes aplican el enfoque de sistemas para la administración fundamentado en la teoría general de sistemas. Ludwig von Bertalanffy (Velásquez, 2000), estas actividades se consideran correspondientes con la fase de Concebir del ciclo CDIO. Para las fases de diseño de ciclo CDIO, se usan herramientas digitales de diseño como Microsoft Visio y la metodología Systematic Layout Planning (SLP), que es un método estructurado para el diseño de la distribución en planta, desarrollado por Richard Muther en los años 1960. Su objetivo es organizar las instalaciones y los procesos de producción de manera eficiente, optimizando el uso del espacio y los recursos (Mendoza y García, 2023), de estas actividades se obtiene un plano de la distribución de planta de los procesos productivos del área de producción, sobre el plano obtenido aplica un diagrama de recorrido (representación gráfica que muestra el desplazamiento de materiales, personas o equipos dentro de una planta o área de trabajo para validar si el flujo de materiales en el área de producción será óptimo, identificando de forma previa obstáculos y cuellos de botella). Aunque en el curso la fase de implementación del ciclo CDIO no es posible llevarlo a una materialización en

escala real, los estudiantes diseñan maquetas virtuales realizadas en software de diseño 3D, en el curso tradicionalmente se usa el software de SketchUP, estas maquetas virtuales ayudan a previsualizar como podría quedar el área de producción y edificio industrial en general. Por último, para la fase de Operación del sistema productivo diseñado se puede experimentar mediante herramientas como Flexsim que permiten simular un proceso productivo y obtener datos cuantitativos para la toma decisiones que permitan la optimización y mejoramiento continuo del proceso.

Para el caso del curso Diseño de planta, a los estudiantes se les motiva a desarrollar como alternativa de grado proyectos aplicados basados en la metodología usada en el curso. Un caso de éxito es el de la ahora egresada del programa de Ingeniería Industrial, Magdala Quintero, quien desarrolló un proyecto bajo la orientación del semillero Ingeniería de valor de la cadena de formación industrial de la UNAD. El proyecto fue: "Diseño de una planta para la producción de bolsas oxo biodegradables, en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander" (Figura 1), el cual no solo llegó a ser publicado como un artículo de investigación en la revista Publicaciones e investigación de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingenierías sino a partir en eventos nacionales e internacionales como lo es el evento científicos como el "XX encuentro departamental de semilleros de investigación 2023", "XXVI encuentro nacional y xx encuentro internacional de semilleros de investigación RedCOLSI" y al "2 Encuentro de círculos y semilleros de Investigación" realizado en septiembre de 2024 en Lima – Perú (Quintero 2023). Se espera que a partir de los proyectos desarrollados a partir sirvan como fundamentos para emprendimientos reales y creación de nuevas empresas que generen empleo y nuevas fuentes de ingresos para la comunidad.

Figura 1

Póster del proyecto "Diseño de una planta para la producción de bolsas oxo biodegradables"



Nota. Quintero (2023)

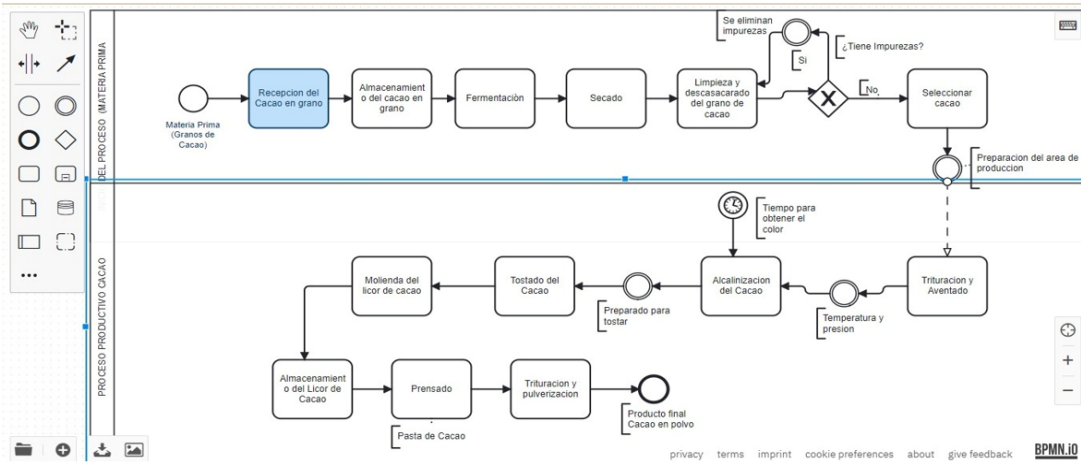
METODOLOGÍA

El BPMN (Business Process Model and Notation) es una herramienta estándar ampliamente utilizada para diagramar procesos productivos de bienes manufacturados y servicios, proporcionando una visualización óptima de la secuencia de actividades y la interacción entre diferentes elementos dentro de un proceso. BPMN es especialmente útil para varios propósitos. En la Figura 2, se representa la secuencia de actividades de un proceso productivo de cacao en polvo desarrollo bajo el estándar BPMN y usando el software BPMN 2.0, el cacao en polvo es un producto derivado de los granos de cacao, que se obtiene después de que se ha extraído la mayor parte de la manteca de cacao del licor de cacao, una pasta resultante de la molienda de los granos. Este polvo seco tiene un sabor intenso y amargo, característico del cacao, y se utiliza como ingrediente en una variedad de productos alimenticios, como chocolates, postres, bebidas, y productos horneados (Beckett, 2008).

El enfoque sistémico permite comprender las interacciones y componentes dentro de un sistema, lo que facilita la optimización global en lugar de mejorar partes aisladas. Al aplicar este enfoque, se alinean todas las áreas del sistema, maximizando la eficiencia, calidad y adaptabilidad a cambios futuros. Además, ayuda a identificar cuellos de botella, redundancias y áreas de mejora, asegurando un diseño coherente y sostenible. En procesos productivos, permite identificar entradas, actividades, salidas, recursos necesarios y resultados esperados, optimizando el proceso industrial y manufacturero (Viteri, 2015). En la Figura 3 puede visualizarse una matriz de enfoque sistémica que permite identificar las entradas, actividades y salidas de cada subproceso del proceso productivo del cacao en polvo:

Figura 2

Diagrama de procesos productivos del cacao en polvo usando estándar BPMN



Nota. Elaboración propia

Figura 3

Matriz de enfoque sistémico del proceso productivo del cacao en polvo

Nombre estudiante		ANDREA HELENA ROCHA TORRALBA				CEAD		JOSE ACEVEDO Y GOMEZ				
Subproceso	Actividades del subproceso	Materia prima	Entradas			Lista de Equipos de manejo de materiales					Salidas	
			Requisitos (Cantidad, peso, tamaño, etc.)	Capacidad de procesamiento	Foto maquina	Nombre	Dimensiones (largo/ancho) en metros	Capacidad de Carga o almacenamiento	Foto equipo de materiales	Producto en proceso	Destino	
FERMENTACION	1. RECEPCION DE GRANO DE CACAO EN PULPA 2. CARGO DE GRANO EN PULPA AL TAMBOR 3. FERMENTACION EN TAMBOR 4. DESCARGUE EN LAS CANECAS DE 90 L Y SE TAPAN BIEN	Granos de Cacao con pulpa	MODULO DE FERMENTACION ROSORAL, MODULO DE ALMACENAMIENTO OPARUAL	2.20X2.30 X130	Paneta fermenta hasta 400kg de cacao		CANECA PLASTICA CON TAPA AB	Altura 62 cm, Diámetro Boca 35.5 cm Diámetro Central 40 cm	60 litros		Granos de cacao fermentados	SECADO
SECADO	1. Se saca el grano manualmente hasta alcanzar un 7% de contenido de humedad total al fin de disminuir el azúcar y potenciar el sabor al cacao. 2. Se procede a cargar lo grano en sacos a la transportadora	Granos de cacao fermentados	QUEADORA SECADORA AS-30	2.20X2.60 X130	Productividad 1kg/h 1000 Productividad 400kg/h 30		ZORRA METALICA PARA TRANSPORTE DE MATERIALES ESPALDAR PLANO O CURVO	150x60 30x0 50	250Kg		Granos de cacao libres de humedad a mas de un 7% u 8%	LIMPIEZA
LIMPIEZA	1. Limpieza de los granos de cacao se eliminan piedras, granos dobles, cuerdas, materiales extraños, residuos de madera, etc. 2. Si aun se encuentran residuos se eliminan de forma manual.	Granos de cacao libres de humedad a mas de un 7% u 8%	DESPEDEGADO CASAPREMIER, PIRALENSE	2.30X2.60 X130	1. la maquina puede limpiar 2.000kg/h 2. la maquina puede limpiar 400kg/h 3. la maquina puede limpiar 400kg/h		Banda transportadora	15X10X2.0	50kg		Granos de cacao limpios libres de humedad a mas de un 7% u 8%	SELECCION DE GRANO
SELECCION DE GRANO	1. Se clasifica el grano por tamaño 2. se realiza medición de humedad para garantizar un correcto proceso de tostado.	Granos de cacao limpios. Libre de humedad a mas de un 7% u 8%	SELECCIONADO RA GRUPO METRICA PSA-3	1507 987 880 mm	Productividad 1kg/h 2.000 Productividad 400kg/h 40		Banda transportadora	15X10X2.0	50kg		Granos de cacao limpios y previamente seleccionados	TOSTADO

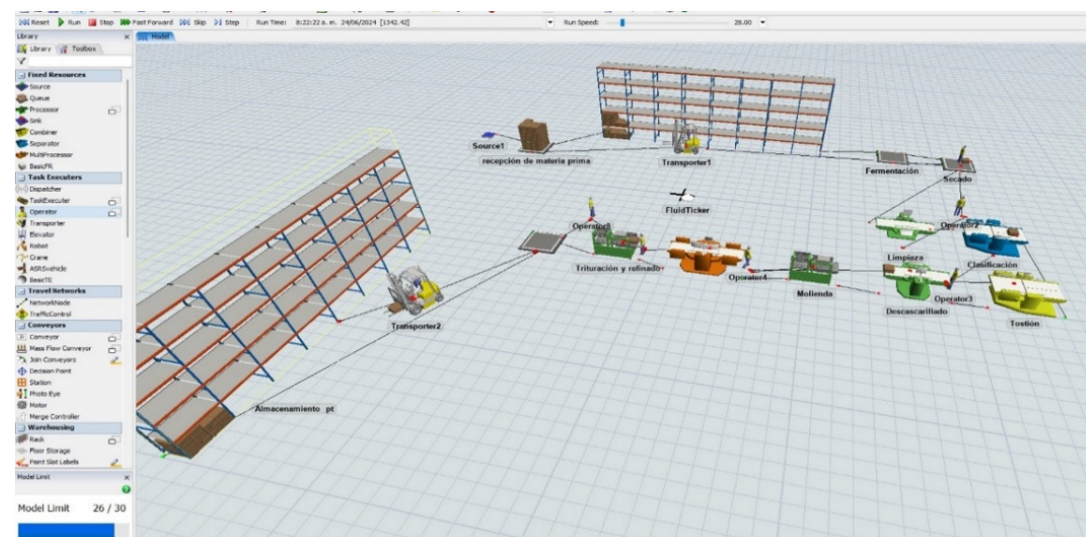
Nota. Elaboración propia

FlexSim es un software que permite desarrollar modelos de simulación de manera visual e interactiva, proporcionando una forma intuitiva de comprender y mejorar los procesos sin necesidad de detener la operación real del sistema. Este software es especialmente valioso en la gestión de operaciones, donde la simulación puede revelar cuellos de botella y oportunidades de optimización. En la Figura 4 se puede

visualizar un modelo de proceso productivo de cacao en polvo desarrollado en el software FlexSim, esta simulación le permite al usuario a partir del ingreso de unas estadísticas de producción simular el proceso e identificar posibles cuellos de botellas en el proceso e iterar el proceso cuantas veces sea necesario para optimizar el proceso a partir del análisis de múltiples variables del proceso productivo, FlexSim recopila datos detallados sobre cada parte del sistema, como tiempos de ciclo, tiempos de espera, utilización de máquinas y recursos, y tasas de producción. Esta información se presenta en forma de gráficos y tablas que permiten identificar qué parte del sistema tiene la mayor acumulación de trabajo o la menor eficiencia,. El software calcula la capacidad y el porcentaje de utilización de cada recurso (máquinas, empleados, estaciones de trabajo). Si un recurso está sobrecargado o está funcionando constantemente a su capacidad máxima, puede convertirse en un cuello de botella. FlexSim ayuda a identificar estos recursos críticos y evaluar cómo afectan al rendimiento general del sistema. FlexSim también tiene capacidades de optimización que permiten probar diferentes configuraciones del sistema (como el número de máquinas, la asignación de tareas o la secuencia de producción) para reducir o eliminar cuellos de botella. Al ajustar estos parámetros en la simulación, se puede predecir cómo cambiará el rendimiento del sistema y evitar que los cuellos de botella afecten la productividad (Vargas y Castrillón, 2022).

Figura 4

Implementación del proceso productivo de cacao en polvo en el software FlexSim

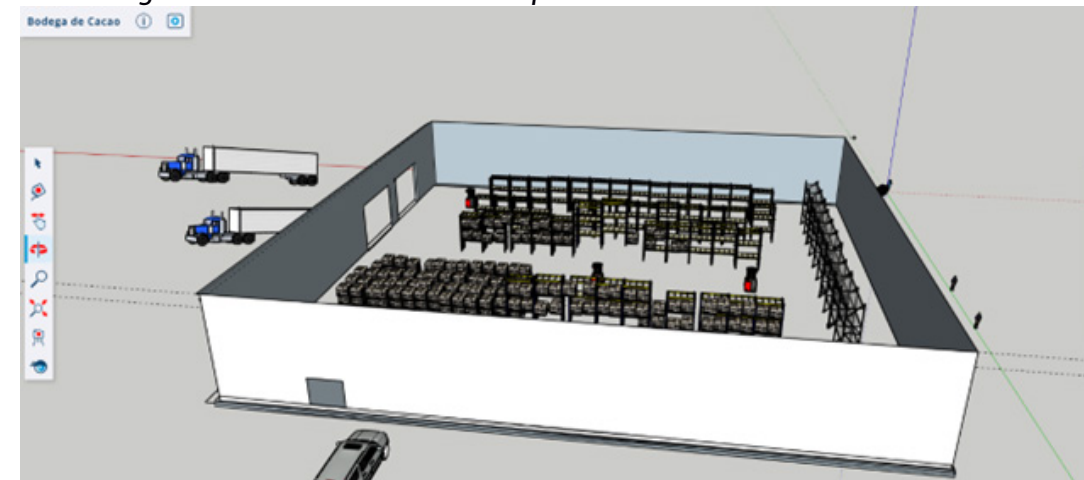


Nota. Elaboración propia

Por último, como un ejemplo de aplicación de software SketchUP para el modelamiento de un centro logístico de cacao en polvo (Figura 5), lo cual es una instalación estratégica donde se gestionan y coordinan actividades relacionadas con la recepción, almacenamiento, preparación de pedidos, y distribución de mercancías. Estos centros actúan como nodos clave en la cadena de abastecimiento, permitiendo la consolidación y desconsolidación de bienes para optimizar el flujo de materias primas desde los proveedores hasta los consumidores (Antún, 2013).

Figura 5

Centro logístico de bultos de Cacao en polvo simulado en SkethcUP



Nota. Elaboración propia

DISCUSIONES

El estudio destaca cómo la combinación de BPMN, FlexSim, SketchUp y un enfoque sistémico puede transformar los procesos productivos, desde su diseño hasta su operación. Estas herramientas no solo mejoran la eficiencia y la calidad, sino que también facilitan la adaptabilidad a los cambios en la demanda o en las condiciones del mercado. Sin embargo, el desafío radica en integrar estas tecnologías de manera coherente, superando barreras como la resistencia al cambio, la disponibilidad de recursos y la necesidad de capacitación técnica.

En investigaciones futuras, sería valioso explorar cómo estas herramientas pueden interoperar de manera más fluida, así como evaluar su impacto en términos económicos y ambientales. Además, la incorporación de tecnologías emergentes

como la inteligencia artificial y el análisis predictivo podría ampliar aún más las capacidades de diseño y optimización de sistemas productivos. Este enfoque holístico y basado en herramientas avanzadas representa un paso clave hacia la transformación digital y la sostenibilidad en la industria manufacturera.

CONCLUSIONES

Este capítulo ofrece una guía integral para el diseño del sistema productivo de cacao en polvo, desde la modelización del proceso hasta la distribución física de las actividades en un área de producción y almacenamiento. Utilizando BPMN 2.0, se analiza el flujo de trabajo para asegurar eficiencia operativa y calidad. Se adopta un enfoque sistémico que abarca la selección de maquinaria y el cumplimiento de normativas. También se emplean herramientas tridimensionales como FLEXSIM y SketchUP para optimizar la disposición de equipos, asegurando ergonomía, seguridad y adaptabilidad tanto en la parte de producción como en los procesos de almacenamiento. Finalmente, se diseña el centro de logístico para el almacenamiento de bultos de cacao en polvo.

REFERENCIAS

- Antún, J. P. (2013). *Distribución urbana de mercancías: Estrategias con centros logísticos*. Banco Interamericano de Desarrollo
- Beckett, S. T. (Ed.). (2008). *Industrial chocolate manufacture and use*. Wiley. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781444301588>
- Davenport, T. H. (1993). *Process innovation: Reengineering work through information technology*. Harvard Business Press
- Federación Nacional de Cacaoteros de Colombia (Fedecacao). (2021). *La producción cacaotera nacional sigue creciendo: en 2021 logra un nuevo récord histórico*. <https://www.fedecacao.com.co/post/la-produccion-cacaotera-nacional-sigue-creciendo-en-2021-logra-un-nuevo-r%C3%A9cord-hist%C3%B3rico>
- Hammer, M. & Champy, J. (1993). *Reingeniería*. Norma.
- Lopera, M. A., & Restrepo, G. (2015). CDIO: una gran estrategia de formación en ingeniería. *Ingeniería & Sociedad*, 9(1), 33-39.
- Mendoza Solís, M., & García Alcaraz, J. L. (2023). Impacto del liderazgo transaccional en el rendimiento operativo. *Cultura Científica Y Tecnológica*, 20(2), E2-E11. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2023.2.2e.1>
- Object Management Group (OMG). (2011). *Business process model and notation (BPMN) 2.0*. Recuperado de <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>
- Quintero Quintana, M. A., Zambrano Cortés, L. M., & Molina Arévalo, N. (2023). Diseño de una planta para la producción de bolsas oxo biodegradables, en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander. *Publicaciones E Investigación*, 17(4). <https://doi.org/10.22490/25394088.7500>

Restrepo, G. (2015). *CDIO: Una gran estrategia de formación en ingeniería*. Biblioteca Digital de la Universidad de Antioquia. Recuperado de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/7772/1/RestrepoGuillermo_2015_estrategiaformacioningenieria.pdf

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). (2024). *Agenda del curso diseño de plantas 2024-I 16-02*. Recuperado de <https://datateca.unad.edu.co/contenidos/agendas/2024-1702/212033.htm>

Vargas-Barbosa, J. M., & Castrillón, O. D. (2022). Modelo de simulación de eventos discretos y emulación de sensores para mejorar una ruta de transporte rural al reducir los tiempos de espera. *Ingeniería Industrial*, 16(6), 135-145. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000600135>

Velásquez, F. (2000). El enfoque de sistemas y de contingencias aplicado al proceso administrativo. *Innovar*, 10(4), 121-130. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232000000400002

Viteri, J. R. (2015). *Gestión de la producción con enfoque sistémico*. Universidad de los Andes.

Trimble. (2020). *SketchUp: The essential guide*. Trimble.

White, S. (2004). *Guía de referencia y modelado BPMN*. Future Strategies.

Análisis de Emisiones y Huella de Carbono: Estudio Comparativo en Cinco Empresas de Lima (2022) y una Entidad Bancaria (2019)

Raymundo Máximo del Carmen Carranza Noriega

Doctor en Ciencias

Mail: rmdccarranzan@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6231-3104>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Roger Hernando Peña Huaman

Doctor en Economía

Mail: rhpenah@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1379-364X>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Julio César Calderón Cruz

Doctor en Ingeniería Ambiental

Mail: jccalderonc@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7673-454>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Albertina Díaz Gutiérrez

Magister en Ingeniería Química

Mail: adiazg1@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6700-6998>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Linda del Rosario Guadalupe Bigueras

Ingeniería Química

Mail: ldrguadalupeb@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6682-8417>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Carranza Noriega, R. M. del C., Peña Huaman, R. H., Calderón Cruz, J. C., Díaz Gutiérrez, A., y Guadalupe Bigueras, L. del R. (2024). Análisis de emisiones y huella de carbono: estudio comparativo en cinco empresas de Lima (2022) y una entidad bancaria (2019) en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 415-433). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo principal calcular la huella de carbono generada por cinco empresas peruanas de diferentes sectores productivos, como la industria química, metalmecánica, consultoría ambiental, el sector textil y de confecciones. Además, de una entidad bancaria para proporcionar una visión más amplia del impacto ambiental en diversos sectores. El análisis se llevó a cabo en Lima Metropolitana durante el año 2022. Para calcular la huella de carbono, se tomaron en cuenta los consumos de combustible, energía eléctrica y transporte. Los gases de efecto invernadero considerados fueron el dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4). Los resultados mostraron que la empresa del sector químico fue la mayor generadora de emisiones, representando el 35% del total. Le siguieron la empresa metalmecánica con el 30% y la empresa de confecciones textiles con el 29%. La compañía textil contribuyó con un 5 %, mientras que la consultora ambiental representó solo el 1 % de las emisiones totales. Este estudio destaca la significativa contribución de estas industrias al impacto ambiental, principalmente debido al uso intensivo de combustibles fósiles y el consumo de energía eléctrica. Se subraya la necesidad urgente de adoptar medidas sostenibles que reduzcan la huella de carbono, alineándose con las tendencias globales hacia una economía baja en carbono y el cumplimiento de compromisos ambientales internacionales.

Palabras Clave: Huella de carbono; cambio climático; gases de efecto invernadero.

EMISSIONS AND CARBON FOOTPRINT ANALYSIS: COMPARATIVE STUDY IN FIVE COMPANIES IN LIMA (2022) AND A BANKING ENTITY (2019)

ABSTRACT

The main objective of this study was to calculate the carbon footprint generated by five Peruvian companies from different productive sectors, such as the chemical industry, metalworking, environmental consulting, the textile and clothing sector. In addition, a banking entity to provide a broader view of the environmental impact in various sectors. The analysis was carried out in Metropolitan Lima during the year 2022. To calculate the carbon footprint, fuel, electricity and transportation consumption were taken into account. The greenhouse gases considered were carbon dioxide (CO_2), nitrous oxide (N_2O) and methane (CH_4). The results showed that the company in the chemical sector was the largest generator of emissions, representing 35% of the total. It was followed by the metalworking company with 30% and the textile clothing company with 29%. The textile company contributed 5%, while the environmental consulting firm represented only 1% of the total emissions. This study highlights the significant contribution of these industries to environmental impact, mainly due to the intensive use of fossil fuels and the consumption of electric energy. It underlines the urgent need to adopt sustainable measures that reduce the carbon footprint, aligning with global trends towards a low-carbon economy and compliance with international environmental commitments.

Keywords: Carbon Footprint; Climate Change; Greenhouse Gases.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha emergido como uno de los problemas más apremiantes del siglo XXI, afectando a todas las esferas de la vida humana, desde la salud pública hasta la estabilidad económica y la biodiversidad del planeta. De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), los últimos años han registrado un aumento preocupante en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, principalmente debido a actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y la deforestación. Este incremento de gases como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) ha resultado en una aceleración del calentamiento global, con un aumento promedio de temperatura de 0.2 °C cada década desde 1980 (CNN, 2023). Esta situación plantea graves riesgos, con predicciones que indican que, de no tomarse medidas correctivas, para el año 2100 más del 74 % de la población mundial estará expuesta a olas de calor potencialmente mortales (Mora et al., 2017).

En respuesta a esta creciente amenaza, los gobiernos, empresas e individuos han comenzado a adoptar una serie de iniciativas destinadas a reducir su impacto ambiental. En este contexto, la huella de carbono se ha convertido en una herramienta crucial para medir, controlar y gestionar las emisiones de GEI. Según la definición ofrecida por la norma ISO 14064-1, la huella de carbono representa la cantidad total de emisiones de GEI, directas e indirectas, causadas por una actividad (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007). Medir con precisión la huella de carbono permite a las organizaciones identificar las fuentes clave de emisiones y desarrollar estrategias efectivas para reducirlas. Además de sus implicaciones ambientales, la reducción de la huella de carbono también puede conllevar beneficios económicos, ya que muchas empresas logran optimizar sus procesos y reducir costos asociados al consumo de energía y materias primas (International Organization for Standardization [ISO], 2006).

En los últimos años, diversas investigaciones han demostrado que las empresas que gestionan eficazmente sus emisiones de GEI no solo mejoran su sostenibilidad, sino que también refuerzan su competitividad y reputación en el mercado. Sin embargo, aún existe una gran heterogeneidad en los niveles de compromiso y capacidad para implementar estas medidas entre los diferentes sectores productivos.

La Teoría de la Sostenibilidad Empresarial se basa en el concepto de Triple Bottom Line (TBL), que sostiene que las empresas deben considerar no solo su rentabilidad económica, sino también su impacto social y ambiental. Esto implica generar beneficios financieros, asumir responsabilidad social al impactar positivamente en las comunidades y asegurar prácticas sostenibles que minimicen la huella ecológica. Al integrar estos tres pilares, las organizaciones pueden crear un modelo de negocio más equilibrado y responsable (Elkington, 1997).

METODOLOGÍA

DISEÑO DEL ESTUDIO

Este estudio descriptivo se llevó a cabo con el objetivo de estimar la huella de carbono generada por cinco empresas peruanas durante el año 2022, todas ubicadas en Lima Metropolitana. Las empresas seleccionadas representan una muestra diversa de sectores económicos claves: industria química, metalmecánica, consultoría ambiental, y los sectores textiles y de confección, cada uno de estos sectores tiene características particulares que influyen en la cantidad y tipos de emisiones que generan.

Como objetivos específicos, se determinan quienes presentan las mayores huellas de carbono, así como las emisiones indirectas significativas en algunos sectores, con el fin de que se adopten políticas de sostenibilidad empresariales proactivas.

El análisis no se limitó a las emisiones en tiempo real, sino que también incluyó una revisión retrospectiva de las emisiones generadas por una entidad bancaria durante el año 2019. Este análisis permitió comparar la evolución de las huellas de carbono en distintos contextos económicos y evaluar cómo factores como el crecimiento del sector financiero y la adopción de nuevas tecnologías han influido en las emisiones de GEI.

El estudio abordó tanto las emisiones directas como las indirectas, derivadas del consumo de energía, combustibles y transporte. En particular, en las empresas de sectores industriales, como la construcción y la metalmecánica, se prestó especial atención al uso de maquinaria pesada y procesos productivos que requieren grandes cantidades de energía. En los sectores textil y de confección, se analizó el impacto

del consumo eléctrico y el uso de materias primas. Para la consultoría ambiental, las principales fuentes de emisiones fueron las operaciones de oficina y el transporte asociado a las actividades comerciales.

METODOLOGÍA DEL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

El cálculo de la huella de carbono se realizó siguiendo las directrices del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol), una de las metodologías más reconocidas a nivel internacional para la medición y gestión de las emisiones de GEI BSI Group. (2019). Este protocolo clasifica las emisiones en tres alcances principales:

- **Emisiones Directas (Alcance 1):** Corresponden a las emisiones que se originan en fuentes que están bajo el control directo de la empresa. Incluyen tanto fuentes fijas, como calderas y hornos, como fuentes móviles, tales como vehículos de transporte y maquinaria. Impactando la calidad del aire en el área de influencia directa.
- **Emisiones Indirectas (Alcance 2):** Estas emisiones no provienen directamente de la empresa, sino que están asociadas al consumo de electricidad generada fuera de sus instalaciones, pero consumida por la organización. El impacto a la atmósfera dependerá de si se trata de una central térmica o nuclear que impactará directamente al ambiente, mientras que, si la fuente de generación eléctrica es hidráulica, solar o eólica, no generará impacto.
- **Otras Emisiones Indirectas (Alcance 3):** Involucran las emisiones que no son controladas directamente por la empresa, pero que están vinculadas a sus actividades operativas. Ejemplos de este tipo de emisiones incluyen los desplazamientos de los empleados, viajes aéreos y el uso de materiales de oficina. Impactando al ambiente en el área de influencia indirecta.

Para cuantificar las emisiones de cada una de las empresas evaluadas, se recopilamos datos detallados sobre el consumo anual de combustibles, electricidad y transporte, a través de registros, recibos y recolección de información primaria. Estos datos fueron utilizados para calcular las emisiones de CO₂, N₂O y CH₄ en toneladas equivalentes de CO₂ (tCO_{2e}). Los factores de emisión específicos para

cada tipo de fuente fueron extraídos de las guías técnicas proporcionadas por el Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM), así como de normativas internacionales del IPCC. Porter & Kramer (2011). Para cada tipo de emisión, se aplicaron las siguientes ecuaciones:

1. **Emisiones Directas (alcance 1):** Emisiones directas = $\sum (\text{Consumo de combustible [gasolina, petróleo, gas natural o gas licuado de petróleo]} \times \text{Factores de emisión de GEI})$
2. **Emisiones Indirectas (alcance 2):** Emisiones indirectas = $\sum \text{Consumo de energía eléctrica [recibos, eficiencia eléctrica]} \times \text{Factor de emisión de GEI eléctrico}$
3. **Otras Emisiones Indirectas (alcance 3):** Otras emisiones indirectas = $\sum (\text{Actividades específicas [movilidades para el desplazamiento del personal]} \times \text{Factor de emisión correspondiente})$

La estimación de la huella de carbono se llevó a cabo siguiendo la metodología del *Greenhouse Gas Protocol*, estructurada en tres etapas principales: identificación de las fuentes de emisión, recopilación de datos y cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los cálculos fueron realizados utilizando la herramienta del GHG Protocol, basada en Microsoft Excel. Para las emisiones derivadas del consumo de energía eléctrica, se consideraron factores de emisión específicos por país, lo que garantiza que los resultados sean confiables y adecuados al contexto local. Además, la transparencia y credibilidad del proceso se reforzaron mediante el uso de datos obtenidos de fuentes externas, asegurando mayor rigor en la estimación.

- **Consumo de energía eléctrica:** Facturas de electricidad: Revisa las facturas de los últimos 12 meses para obtener el consumo de kilovatios hora (kWh). Medidores de electricidad: Sí, es posible, usar registros directos de los medidores para obtener datos más precisos y en tiempo real.
- **Consumo de combustibles fósiles:** Facturas de compra de combustible: En caso de que la empresa utilice generadores o vehículos propios, recopilar facturas de combustible (gasolina, diésel, etc.). Registros de transporte: Si hay vehículos propios, anotar los kilómetros recorridos, el tipo de vehículo y la eficiencia en combustible (litros por kilómetro).

- **Desplazamientos del personal:** Encuestas o registros de transporte: Puedes recolectar información sobre cómo llega el personal al trabajo (transporte público, automóvil, bicicleta, a pie, etc.) y la distancia recorrida utilizando aplicaciones como Google Maps. Esto es útil para estimar las emisiones por transporte. También pueden utilizarse aplicaciones móviles o GPS para medir distancias recorridas o medios de transporte utilizados.
- **Equipos eléctricos y electrónicos:** Registro de inventario de equipos eléctricos: Anotar la cantidad y tipo de dispositivos electrónicos (computadoras, proyectores, aires acondicionados, entre otros), para ser posible medir la eficiencia energética y estimar cuántas horas al día se usan.

RESULTADOS

En la Tabla 1, se resumen las fuentes de emisión obtenidas para cada empresa, lo que da como resultado la emisión de toneladas equivalentes de CO2 en el año 2022.

Tabla 1

Emisiones generadas por las empresas de industria química, metal mecánico, consultora ambiental, compañía y confecciones textiles expresadas en TeqCO₂ según alcances en el año 2022.

Empresas	Industrial Química	Metal mecánico	Consultora Ambiental	Compañía Textil	Confecciones Textiles
Fuente de emisión	Total, CO ₂ eq				
Alcance 1	567.75	308.09	9.30	91.21	504.29
Alcance 2	46.22	104.40	0.35	0.00	0.00
Alcance 3	54.43	154.92	9.99	0.08	61.59
Emisiones totales	668.40	567.41	19.64	91.29	565.89

Nota. Elaboracion propia

Las figuras 1 y 2 proporcionan una representación visual detallada de la distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) clasificadas según los diferentes alcances.

En la Figura 1, se destaca que la mayor proporción de las emisiones generadas por las empresas estudiadas se origina del Alcance 1. Este alcance abarca las emisiones directas asociadas con la quema de combustibles fósiles, como diésel, gasolina y gas licuado de petróleo (GLP), que son utilizados en actividades esenciales para las operaciones de las empresas, tales como el transporte de mercancías, la operación de maquinaria industrial y otros procesos productivos intensivos en energía. Esta predominancia de las emisiones de Alcance 1 subraya la importancia de abordar las fuentes directas de emisión mediante la implementación de tecnologías más limpias y eficientes, así como la optimización de los procesos industriales y de transporte.

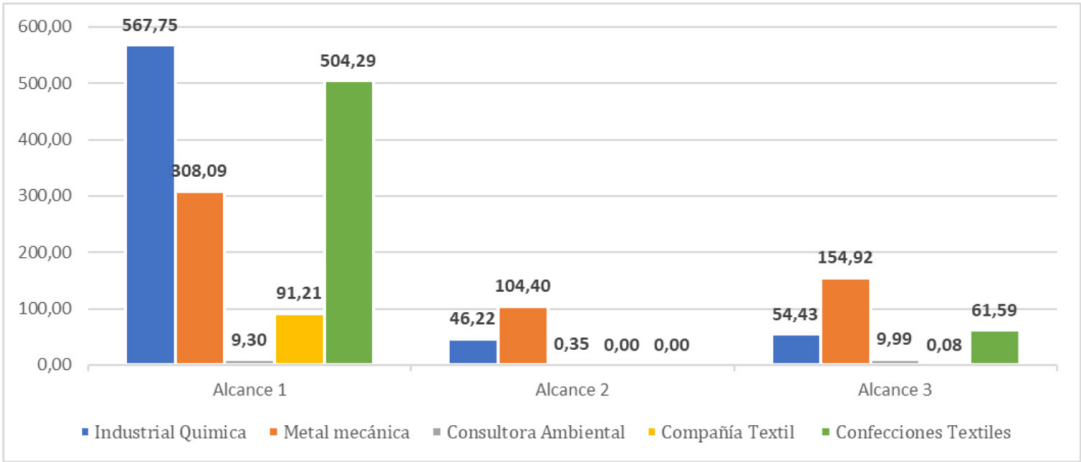
En contraste, la Figura 2 ilustra que la entidad bancaria evaluada en el año 2019 tiene una distribución de emisiones notablemente diferente. En este caso, la mayor parte de las emisiones se concentra en el Alcance 2, que corresponde al consumo de electricidad. Las emisiones en este alcance provienen del consumo de electricidad utilizada en las operaciones de oficina, sistemas informáticos y otros servicios asociados con el funcionamiento diario de la entidad financiera. Dado que las actividades bancarias no involucran procesos industriales intensivos en consumo de combustibles fósiles, la energía eléctrica se convierte en el principal contribuyente a su huella de carbono.

Este contraste en los patrones de emisiones entre los sectores estudiados resalta la variabilidad en las fuentes de GEI según el tipo de actividad y la estructura operativa de las organizaciones. Para las empresas industriales, la reducción de emisiones puede centrarse en mejorar la eficiencia energética en la quema de combustibles y en optimizar el uso de maquinaria. Para la entidad bancaria, en cambio, las estrategias para disminuir su huella de carbono pueden enfocarse en la transición hacia fuentes de energía renovable, la mejora de la eficiencia energética en sus instalaciones y la implementación de prácticas de gestión de energía más sostenibles.

En resumen, estas figuras no solo ilustran la distribución de las emisiones según los diferentes alcances, sino que también subrayan la necesidad de adoptar enfoques diferenciados para la reducción de emisiones en función del sector y de las actividades predominantes de cada tipo de organización.

Figura 1

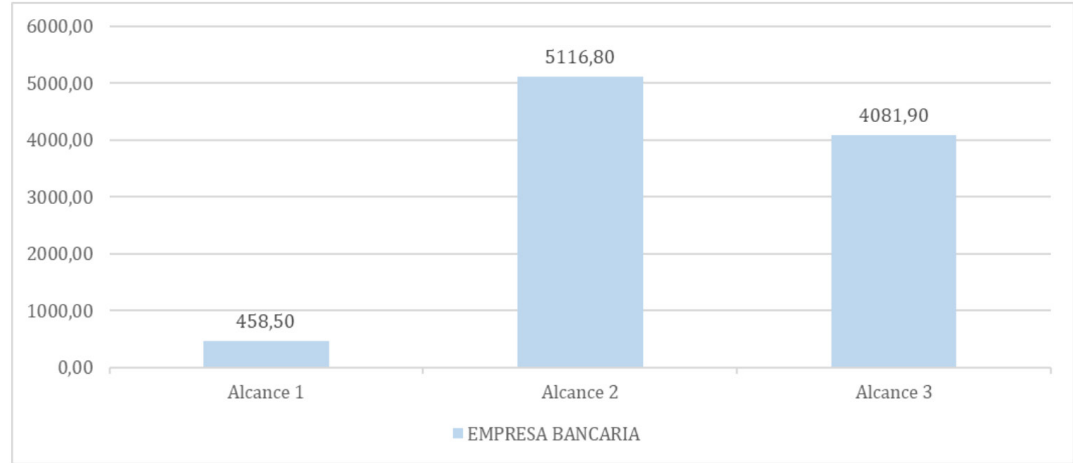
Distribución de emisiones según alcances de la medición de la huella de carbono



Nota. Elaboración propia

Figura 2

Distribución de emisiones según alcance de la medición de huella de carbono de la empresa bancaria en Perú



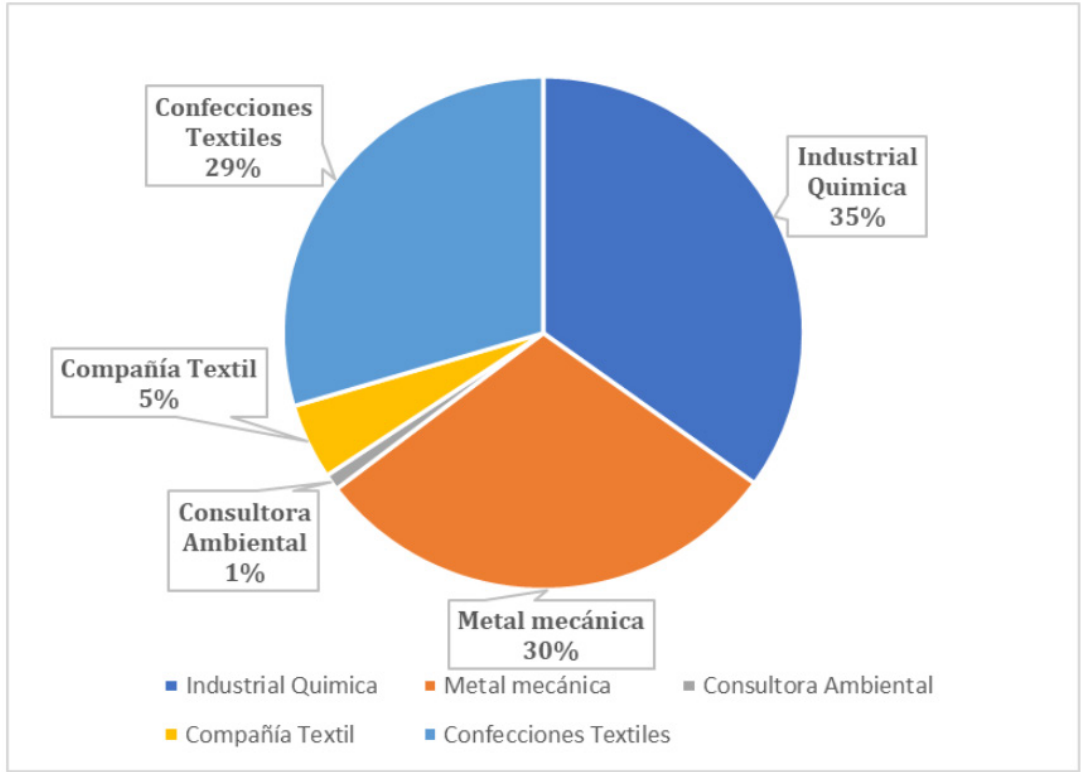
Nota. Elaboración propia

En la figura 3 se muestra la huella de carbono de diversas empresas. La empresa Industrial Química registra la mayor emisión, con un 35%, seguida por Metalmecánica con un 30% y Confecciones Textiles con un 29%.

En contraste, la Compañía Textil aporta un 5%, mientras que la Consultoría Ambiental presenta la menor emisión de gases de efecto invernadero, con apenas un 1%.

Figura 3

Huella de Carbono de las empresas



Nota. Elaboración propia

DISCUSIONES

El análisis de las cinco empresas peruanas revela una clara relación entre el tipo de industria y las emisiones de gases de efecto invernadero. Las empresas que realizan actividades intensivas en el uso de combustibles fósiles, como la industria química y la metalmecánica, son las que presentan mayores emisiones, particularmente en el alcance 1. Esto coincide con estudios previos que demuestran que las industrias que dependen de procesos industriales pesados tienden a generar más emisiones de GEI (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2021).

Por otro lado, la consultora ambiental, al no depender de procesos industriales intensivos, presenta una huella de carbono significativamente menor, lo que refleja la importancia de la estructura organizacional y la naturaleza de las actividades en el impacto ambiental de las empresas (Skea et al., 2019). Sin embargo, incluso en empresas de servicios como las consultoras, las emisiones indirectas del alcance 3 (como los viajes de los empleados y el consumo de materiales) pueden ser una fuente significativa de emisiones si no se gestionan adecuadamente (Wiedmann & Minx, 2008).

En cuanto a la entidad bancaria, los resultados muestran que la mayor parte de sus emisiones provienen del Alcance 2, lo que subraya la importancia de mejorar la eficiencia energética en las oficinas y sucursales bancarias. De hecho, estudios recientes han señalado que las instituciones financieras pueden reducir sus emisiones adoptando energías renovables y tecnologías más eficientes en el consumo de electricidad (CDP, 2020).

La adopción de políticas de sostenibilidad que integren la eficiencia energética, el uso de tecnologías limpias y una gestión responsable de la cadena de suministro es cada vez más crucial. La literatura especializada señala que, aunque las inversiones iniciales para implementar estas medidas pueden ser elevadas, los beneficios a largo plazo son claros. Estos beneficios incluyen no solo una reducción significativa de los costos operativos, sino también una mejora notable en la reputación corporativa (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2015).

Un aspecto relevante identificado en este estudio es la importancia del alcance 3 en las emisiones de las empresas de manufactura, como la industria de confecciones textiles y la metalmecánica. Estas empresas, aunque presentan grandes volúmenes de emisiones directas por el uso de combustibles fósiles, también generan importantes emisiones indirectas a lo largo de su cadena de suministro y en las actividades relacionadas con el transporte y los viajes de negocios. Según investigaciones previas, el Alcance 3 puede representar hasta el 70 % de las emisiones totales de una empresa en ciertos sectores industriales (Downie & Stubbs, 2013).

La evidencia también sugiere que una mayor transparencia en la medición y reporte de la huella de carbono permite a las empresas no solo cumplir con regulaciones

ambientales, sino también alinearse con los objetivos globales de sostenibilidad, como los establecidos por los Acuerdos de París (Griffiths, 2021).

En la actualidad, cada vez más empresas están integrando la sostenibilidad en sus estrategias corporativas, lo que incluye la medición continua de los gases de efecto invernadero, su reducción y compensación mediante técnicas de captura o reforestación (Pachauri et al., 2014).

Cabe resaltar que la medición de la huella de carbono permite identificar áreas de alto impacto ambiental, facilitando la implementación de políticas y regulaciones que incentiven a las empresas a reducir sus emisiones. Asimismo, en países desarrollados, también sirve para establecer límites de emisiones y mejorar la eficiencia energética.

CONCLUSIONES

Este estudio comparativo de cinco empresas de Lima y una entidad bancaria en Perú ha revelado una variabilidad significativa en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) entre sectores. A continuación, se destacan las principales conclusiones:

Las empresas industriales presentan las mayores huellas de carbono: Las empresas de la industria química y metalmecánica son las mayores emisoras de GEI debido a sus procesos intensivos en el uso de combustibles fósiles. Estas empresas generan una cantidad significativa de emisiones directas (Alcance 1), lo que subraya la necesidad de adoptar medidas urgentes para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de combustibles fósiles.

Las emisiones indirectas son significativas en algunos sectores: En empresas de manufactura, como las de confecciones textiles, las emisiones del alcance 3 relacionadas con la cadena de suministro y el transporte de mercancías también juegan un papel importante. Las estrategias de optimización de la cadena de suministro y la adopción de prácticas de transporte más sostenibles podrían reducir de manera significativa estas emisiones.

La entidad bancaria genera emisiones principalmente en el Alcance 2: Los resultados del año 2019 muestran que la entidad bancaria en Perú depende en gran medida del consumo de electricidad, lo que constituye la principal fuente de emisiones indirectas. La transición hacia fuentes de energía renovable y la mejora en la eficiencia energética de las oficinas y sucursales son medidas clave para reducir estas emisiones.

La consultoría ambiental tiene el perfil más bajo de emisiones: Presenta la menor huella de carbono debido a la naturaleza de sus actividades, que no requieren grandes cantidades de energía ni de procesos industriales. Sin embargo, incluso en este tipo de empresas, las emisiones indirectas del alcance 3 pueden ser significativas si no se gestionan adecuadamente.

La necesidad de políticas empresariales proactivas: Las empresas deben adoptar políticas de sostenibilidad que incluyan la reducción de emisiones en los tres alcances, el uso de tecnologías limpias, la implementación de energías renovables, y la gestión eficiente de los recursos. Estas políticas no solo ayudan a mitigar el cambio climático, sino que también generan beneficios económicos a largo plazo.

RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones para las empresas peruanas evaluadas y, en general, para cualquier organización que busque reducir su huella de carbono:

Implementar energías renovables: Las empresas industriales deben evaluar la viabilidad de implementar sistemas de energía renovable, como paneles solares o energía eólica, para reducir su dependencia de combustibles fósiles. Esto no solo reduciría las emisiones del Alcance 1, sino también las del Alcance 2, al disminuir el consumo de energía de la red.

Mejorar la eficiencia energética: Se deben realizar auditorías energéticas para identificar oportunidades de mejora en la eficiencia de los procesos industriales y el consumo de energía en las oficinas. La adopción de tecnologías más eficientes, como motores de alta eficiencia y sistemas de iluminación LED, puede reducir considerablemente las emisiones.

Implementar un programa de eficiencia energética, orientado a reducir el consumo de energía, mejorar el uso y minimizar las pérdidas, sin afectar el rendimiento, a través de incentivos y capacitaciones.

Fomentar el transporte sostenible: Las empresas pueden reducir las emisiones del alcance 3, promoviendo el uso de transporte público o compartido para los empleados, así como la implementación de vehículos eléctricos para el transporte de mercancías.

Gestión de la cadena de suministro: Las empresas deben trabajar estrechamente con sus proveedores para reducir las emisiones en toda la cadena de suministro. Esto puede incluir la selección de proveedores que utilicen prácticas sostenibles y la optimización de las rutas de transporte para reducir las distancias recorridas.

Compensación de carbono: Para las emisiones que no se puedan reducir directamente, las empresas pueden considerar la compensación de carbono mediante la inversión en proyectos de reforestación, conservación de bosques o tecnologías de captura y almacenamiento de carbono.

REFERENCIAS

- Bsi group. (2019). *Pas 2050: specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. British standards institution. Recuperado de <https://biolatina.com/wp-content/uploads/2018/08/pas2050.pdf>
- CDP.Net. (2020). *Financial services disclosure report 2020*. Recuperado de <https://www.cdp.net/en/research/global-reports/financial-services-disclosure-report-2020>
- CNN. (2023). *La última década fue la más calurosa registrada en la Tierra*. Recuperado de <https://edition.cnn.com/2023/12/05/climate/past-decade-warmest-record-wmo-emissions/index.html>
- Downie, J., & Stubbs, W. (2013). Corporate carbon strategies and greenhouse gas emissions Assessments: The Implications of Scope 3 Emission Factor Selection. *Business Strategy and the Environment*, 22(2), 121–144. <https://doi.org/10.1002/bse.1734>
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Capstone.
- Griffith Foods. (2021). *Corporate responsibility and carbon reduction: 2021 sustainability report*. Griffith Foods. Recuperado de <https://griffithfoods.b-cdn.net/wp-content/uploads/2023/01/2021-Sustainability-Report.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* in S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, & H. L. Miller (Eds.). Cambridge University Press. Recuperado de https://www.lrl.mn.gov/docs/2015/other/150681/PFEISref_2/Solomon%20et%20al.%202007.pdf

- International Organization for Standardization (ISO). (2006). *ISO 14064-1:2006: Gases de efecto invernadero – Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de organización, para la cuantificación y el informe de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero*. Recuperado de <https://iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2021). *Guía para el cálculo de la huella de carbono*. Ministerio del Ambiente. Recuperado de <https://huellacarbonoperu.minam.gob.pe/huellaperu/#/inicio>
- Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I. R., Powell, F. E., Geronimo, R. C., Bielecki, C. R., ... Trauernicht, C. (2017). Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7(7), 501–506. <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
- Pachauri, R. K., & Meyer, L. A. (Eds.). (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de <https://research-repository.uwa.edu.au/en/publications/climate-change-2014-synthesis-report-contribution-of-working-grou>
- Porter, M., & Kramer, M. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review*, 89(1/2), 62–77. <https://hbr.org/2011/01/creating-shared-value>
- Skea, J., Shukla, P. R., & Reisinger, A. (2019). *The IPCC's Fifth Assessment Report: What's in it for businesses?* Climate and Development Knowledge Network (CDKN). Recuperado de <https://cdkn.org>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). *Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change. Recuperado de <https://unfccc.int>
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of 'carbon footprint'. En C. C. Pertsova (Ed.), *Ecological economics research trends* (pp. 1–11). Nova Science Publishers. Recuperado de <https://books.google.com.co/>

Adaptación de los Productores Agrícolas a las Tecnologías de Información y Comunicación para la Apropiación Social del Conocimiento

Aracely Buitrago Mejía

Doctor en Ciencias económicas y administrativas

Mail: abuitragom@ut.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/000000026583-7827>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001360501

Filiación Institucional: Universidad del Tolima

Mario Samuel Rodríguez Barrero

Doctor en Administración Gerencial

Mail: mario.rodriguezb@campusucc.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/00000001-9356-6764>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000007631

Filiación Institucional: Universidad Cooperativa de Colombia

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Buitrago Mejía, A. y Rodríguez Barrero M. S. (2024). Adaptación de los productores agrícolas a las tecnologías de información y comunicación para la apropiación social del conocimiento en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 434-458). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

Este capítulo se inscribe en la línea de las ciencias empresariales y el desarrollo sostenible. El estudio aborda la brecha digital entre las áreas rurales y urbanas, que limita el acceso y uso efectivo de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) por parte de los productores agrícolas, afectando su competitividad. El propósito es analizar el proceso de adaptación de los productores agrícolas a las TIC y cómo este proceso contribuye a la apropiación social del conocimiento desde una perspectiva teórico-práctica. Se utilizó la red Rizoma como plataforma principal para promover el aprendizaje grupal mediante acciones como las escuelas de campo para agricultores (ECAS) y la formación en coaching estratégico para mejorar la competitividad. La metodología del estudio, de enfoque mixto, descriptivo y transversal, involucró a 435 pequeños productores agrícolas de 17 municipios de Colombia. Los resultados revelaron que las estrategias implementadas fomentaron la confianza y motivación entre los productores agrícolas y fueron determinantes para su adaptación a las TIC. El 87% de los participantes se integraron a la Comunidad Virtual Red Rizoma y adoptaron las TIC, principalmente a través de dispositivos móviles. Se concluye que el uso de las tecnologías puede reducir significativamente la brecha digital entre las zonas urbanas y rurales, facilitando así un mejor acceso a la información y al conocimiento. Este estudio hace una contribución significativa al demostrar que la adopción de TIC por parte de los productores agrícolas puede reducir notablemente la brecha digital entre áreas rurales y urbanas, mejorando así su competitividad.

Palabras Clave: Apropiación social del conocimiento; Brecha digital; Competitividad empresarial; Red Rizoma; Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

ADAPTATION OF AGRICULTURAL PRODUCERS TO INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR THE SOCIAL APPROPRIATION OF KNOWLEDGE

ABSTRACT

This chapter falls within the scope of business sciences and sustainable development. The study addresses the digital divide between rural and urban areas, which limits the access to and effective use of Information and Communication Technologies (ICT) by agricultural producers, affecting their competitiveness. The purpose is to analyze the adaptation process of agricultural producers to ICT and how this process contributes to the social appropriation of knowledge from a theoretical-practical perspective. The Rizoma network was used as the main platform to promote group learning through actions such as farmer field schools (ECAS) and strategic coaching training to improve competitiveness. The study's methodology, with a mixed, descriptive, and cross-sectional approach, involved 435 small agricultural producers from 17 municipalities in Colombia. The results revealed that the implemented strategies fostered trust and motivation among agricultural producers and were crucial for their adaptation to ICT. 87% of the participants joined the Rizoma Virtual Community and adopted ICT, primarily through mobile devices. It is concluded that the use of technology can significantly reduce the digital divide between urban and rural areas, thus facilitating better access to information and knowledge. This study makes a significant contribution by demonstrating that ICT adoption by agricultural producers can markedly reduce the digital divide between rural and urban areas, thereby improving their competitiveness.

Keywords: Social Appropriation of Knowledge; Digital Divide; Business Competitiveness; Rizoma Network; Information and Communication Technologies (ICT).

INTRODUCCIÓN

Con el surgimiento y avance de las nuevas tecnologías, la Inteligencia Artificial y las redes sociales, especialmente Facebook, Instagram, WhatsApp, YouTube y TikTok, surgen desafíos en el sector rural relacionados con las nuevas formas de aprendizaje en un entorno social que demanda la conformación de comunidades virtuales que fomenten la comunicación, interacción social y aprendizaje. Estar ausente de este mundo interconectado limita el acceso a la información y, en consecuencia, a las oportunidades que aportan a la productividad y competitividad empresarial (Tovar et al., 2019).

Esta falta de adaptación a las nuevas tecnologías no solo limita el acceso a la información, sino que también se amplía la brecha digital urbana y rural, obstaculizando aún más la inclusión social y económica. Por lo tanto, es necesario crear y fortalecer mecanismos para disminuir la brecha digital y que sean aprovechados por los productores agrícolas para que sea aplicado a las unidades productivas, en sus entornos sociales, familiares, asociativos y laborales, de lo contrario la brecha digital seguirá aumentando y se podría perder las oportunidades de potenciar el uso de estas tecnologías en el sector rural que podrían transformar los desafíos en soluciones efectivas (Bert, 2021).

Con relación a este tema, la Universidad Cooperativa de Colombia ha creado la comunidad virtual Red Rizoma, una innovadora herramienta de aprendizaje diseñada para integrar al sector rural en un mundo cada vez más interconectado (Espinal, 2023). Su objetivo es proporcionar a los productores agrícolas un espacio donde puedan interactuar, establecer redes de apoyo y compartir experiencias, facilitando así su adaptación gradual a las nuevas tecnologías en sus procesos de aprendizaje. En este contexto se plantea la pregunta ¿Cómo están adaptando los productores agrícolas del departamento del Tolima las tecnologías de información y comunicación (TIC) para fomentar la apropiación social del conocimiento en las unidades agrícolas y mejorar su competitividad mediante escuelas de campo y coaching estratégico?

La investigación se fundamenta en los cuatro núcleos que integran la Red Rizoma de la Universidad Cooperativa de Colombia (Universidad Cooperativa de Colombia, 2022). El núcleo "Explora - Aprende" se enfoca en generar nuevas formas de enseñanza y aprendizaje, utilizando la plataforma Yammer para que los participantes del proyecto

adquieran tanto conocimiento teórico como práctico en contextos específicos. Esta plataforma también facilita la interacción, la creación de redes de apoyo y el intercambio de experiencias, permitiendo a los productores agrícolas adaptarse gradualmente a las nuevas tecnologías en sus procesos de aprendizaje. El núcleo "Sorprende - Apropia" busca incentivar la producción, uso y curación de Recursos Educativos Digitales (RED) elaborados por los asociados, instituciones o expertos externos, promoviendo la exposición y adopción de nuevas tecnologías que faciliten la creación y compartición de contenidos valiosos.

El núcleo "Innova - Investiga" se dedica a explorar nuevas formas de producción agrícola, incorporando innovaciones desarrolladas por otros productores y generando nuevas soluciones de manera conjunta para el sector. Además, este núcleo fomenta la iniciación científica de niños, jóvenes y productores, integrando la investigación y la innovación en las actividades cotidianas y estableciendo bases sólidas para el relevo generacional. Por último, el núcleo "Comunica - Participa" promueve la participación activa de los asociados como actores principales en la apropiación del modelo, propiciando conexiones en red basadas en propósitos comunes, intereses específicos y las múltiples oportunidades que ofrece el entorno productivo.

REFERENTES

En este apartado se presentan aportes teóricos para describir cómo, desde las comunidades rurales tradicionales, se pueden formar comunidades virtuales que estén a la vanguardia en la adopción de las nuevas tecnologías que influyan en el acceso a la información de manera pertinente y oportuna y que aporte a los procesos de productividad y competitividad empresarial. Con relación a la competitividad en el sector agroindustrial es un factor crucial para el desarrollo económico y social de las regiones rurales, Buitrago et al. (2022) aborda la competitividad como un constructo teórico que incluye diversos elementos relacionados con la capacidad de las empresas para innovar, producir eficientemente y adaptarse a las demandas del mercado. El análisis evaluó 71 sub variables vinculadas a los procesos de dirección, operativos y de apoyo. Se indica que las acciones de mejora de las empresas, asociaciones y la academia se deben alinear con las políticas de Estado para fomentar una mayor competitividad para promover un entorno más competitivo y resiliente, facilitando la integración de las nuevas tecnologías de información y comunicación (TIC) en la apropiación social del conocimiento

y contribuyendo a la sostenibilidad y desarrollo de las comunidades rurales.

Por su parte, Howard Rheingold, pionero en el estudio de las comunidades virtuales, definió este concepto como grupos sociales que conforman redes cuando un número suficiente de personas participan en debates públicos durante el tiempo suficiente y con un nivel de implicación emocional adecuado, formando redes de relaciones personales en el ciberespacio (Rheingold, 2000). El autor, en su obra sobre las comunidades virtuales, explora cómo reflejan las dinámicas de las personas que interactúan, debaten y crean lazos significativos. Estas comunidades virtuales pueden ser tan reales y diversas como las físicas, tienen un potencial para ofrecer apoyo emocional y fomentar el aprendizaje colaborativo, beneficios que pueden ser aprovechados por los productores agrícolas para adaptarse a las TIC y mejorar su competitividad y cohesión social en un entorno rural (Meirinhos y Osório, 2009).

Posteriormente, este autor aporta una visión innovadora al analizar estas como ecosistemas digitales donde las interacciones sociales evolucionan de manera espontánea y orgánica comparando estas comunidades con cultivos de microorganismos, donde cada experimento social presenta una única pero constante transformación. Rheingold (2009), a través de su propia experiencia y observación, describe cómo estas comunidades virtuales, lejos de ser una utopía futurista, constituyen una realidad presente y en constante crecimiento. Esta capacidad para conectar a personas de diversas culturas y geografías ha generado nuevas formas de comunicación, aprendizaje y colaboración, superando las estructuras de poder tradicionales y abriendo nuevas posibilidades para la democracia y la libertad de expresión. Sin embargo, se advierte sobre los riesgos de un control excesivo de estas plataformas por parte de gobiernos y corporaciones, enfatizando la importancia de proteger la autonomía y la diversidad de las comunidades virtuales (Gómez y Eito, 2023).

Según Rodríguez (2022), cuando una comunidad logra un cambio significativo en su vida social y laboral, es importante entender cómo este cambio ha influenciado su forma de pensar y cómo perciben su calidad de vida y su futuro inmediato. Este estudio permitió el diseño de un modelo de ecorregión solidaria, en el que comunidades previamente marginadas por el estado se involucran en un proceso integral de concientización, capacitación, formalización y seguimiento apoyado por la academia, el cual constituye un antecedente a la conformación de comunidades

de aprendizaje. Este modelo ha permitido que estas familias campesinas, se transformen en una colectividad que trabaja cooperativamente hacia un objetivo común, convirtiéndose en generadores de seguridad alimentaria para la región. El estudio busca determinar el impacto de la aplicación de las diversas variables del modelo en los asociados y cómo se vislumbra su futuro familiar y comunitario. Estos resultados son fundamentales para evaluar la efectividad del modelo y su potencial replicabilidad en otras regiones rurales.

Se evidencia que las comunidades virtuales tienen un rol relevante en la adopción de nuevas tecnologías y en el fomento de la productividad y competitividad en el sector agrícola. Según Buendía (2018), estas comunidades proporcionan una plataforma donde los emprendedores rurales pueden gestionar mejor el conocimiento y mantener o iniciar actividades económicas en el medio rural. La investigación de Buendía permite identificar que comunidades virtuales, como la de los cultivadores de pistacho, permiten a los productores rurales trascender las fronteras físicas sin perder su identidad, facilitando el acceso a información pertinente y oportuna. Este acceso mejorado a la información, gracias a la interacción en línea, contribuye significativamente a la adopción de nuevas tecnologías y prácticas innovadoras, impulsando así la productividad y competitividad empresarial en el ámbito agrícola. La investigación permite concluir que las comunidades virtuales pueden ser una herramienta poderosa para el desarrollo sostenible en zonas rurales.

Según Rizo (2013), las comunidades virtuales generan un tipo de socialización diferente que no debe ser considerado inferior a las formas tradicionales de interacción social. Estas comunidades no deben entenderse como opuestas o sustitutas de las comunidades reales, sino como una nueva modalidad de comunicación que puede fortalecer y democratizar las relaciones comunitarias, sociales e institucionales. La integración de lo virtual con la vida cotidiana no supone una separación, sino una inserción constitutiva en los diversos ámbitos de significado que conforman la experiencia y el conocimiento humanos. En este sentido, la comunicación humana en el contexto actual incluye tanto la comunicación masiva como la interpersonal, evidenciando que las nuevas formas de comunicación digital complementan y enriquecen las interacciones sociales tradicionales.

Las comunidades virtuales de aprendizaje, caracterizadas por su interculturalidad y presentes en entornos digitales, no solo facilitan la construcción de sujetos que aprenden, sino que también ofrecen oportunidades para la construcción social del conocimiento. Estas comunidades pueden fomentar relaciones fragmentadas y disonantes, pero también potencian la colaboración y el aprendizaje recíproco. En este sentido, la inteligencia colectiva, entendida como una inteligencia ubicua y coordinada en tiempo real, es fundamental para el desarrollo humano y la formación integral en estos contextos. Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) desempeñan un papel crucial al resignificar procesos de lectoescritura, oralidad y aprendizaje, facilitando la transición hacia un aprendizaje más colaborativo y socialmente pertinente (Pineda et al., 2013).

Finalmente, el estudio de Arion et al. (2024) permite comprender cómo las comunidades rurales tradicionales pueden transformarse en comunidades virtuales mediante la adopción de nuevas tecnologías. La investigación revela que, aunque el acceso y la calidad del Internet en áreas rurales son elevados, la falta de habilidades digitales limita el uso efectivo de estas tecnologías. Este déficit muestra la necesidad de implementar centros públicos de acceso a internet y programas de capacitación para aumentar la competencia digital de las comunidades rurales. El papel del Estado es clave para la promoción y desarrollo de esta economía digital, fortaleciendo la infraestructura de TIC y asegurando un acceso inclusivo y asequible, permitiendo mejorar la competitividad y productividad agrícola, fomentando la creación de contenido local y el uso eficaz de las TIC, disminuyendo la brecha digital y aprovechar estas tecnologías en las comunidades rurales, promoviendo la gestión del conocimiento en las unidades agrícolas como medio para generar aprendizaje generacional (Buitrago et al., 2018).

METODOLOGÍA

La investigación empleó el método descriptivo con el fin de describir las características de la población y conocer de cerca el nivel de adaptación a las nuevas tecnologías (Cárdenas et al., 2023). Se utilizaron herramientas propias de las TIC como el internet, correo electrónico, WhatsApp, aplicación Viva Engage Microsoft, comunidad Yammer, Drive, capacitaciones mediadas sobre el manejo de la Red Rizoma y talleres mediados con contenidos propios del diplomado en coaching estratégico para productividad y competitividad empresarial organizado y dirigidos de la Universidad Cooperativa de Colombia.

El método descriptivo permitió describir y comprender las interacciones y dinámicas que suceden en la comunidad virtual Red Rizoma que, sin generalizar, puede aportar al conocimiento para realizar intervenciones propias de los estudios de comunidades virtuales (Méndez et al., 2023). Para recolectar información primaria se utilizó la plataforma de la Red Rizoma con el fin de consolidar y organizar las interacciones y dinámicas de los productores agrícolas del departamento del Tolima, en cuanto a la información secundaria, se acudió a los informes técnicos presentados por el líder de la comunidad Rizoma.

La investigación se desarrolló con 435 pequeños productores agrícolas del departamento del Tolima, durante el proceso de formación en las escuelas de campo "ECAS" y el diplomado de coaching estratégico para la productividad y competitividad empresarial que vincula la estrategia de comunidad virtual llamada Red Rizoma porque facilita las interacciones sociales, la adopción de las nuevas tecnologías a través de los procesos de capacitación impartidos por el líder Rizoma, intercambio de conocimientos, experiencias y participaciones en los foros desde la perspectiva de las respuestas a las preguntas generadoras, así que lo que el objetivo principal de la investigación es: Establecer los resultados alcanzados de los productores agrícolas en la adaptación a las nuevas tecnologías en el marco de las escuelas de campo "ECAS" y en el diplomado de coaching estratégico para competitividad y productividad empresarial.

El análisis se orientó en conocer la participación y contribución de los participantes de manera individual y colectiva en la forma de socializar el conocimiento ancestral, experiencias innovadoras no solo con palabras, sino también con registros fotográficos y videos. La Red Rizoma, cuenta con catorce comunidades. Para el presente estudio se tuvo en cuenta la comunidad denominada apropiación social del conocimiento, específicamente se vincularon cinco comunidades externas identificadas así:

- C.E. El campo tolimente gestiona el conocimiento. Cadena productiva café: los beneficiarios del proyecto de la cadena productiva de café son 69 pequeños productores agrícolas de los municipios de Chaparral, Ataco, Ibague, Dolores, Líbano, Rovira, Rioblanco y Fresno.

- C.E. El campo tolimente gestiona el conocimiento. Cadena productiva de cacao: los beneficiarios del proyecto de la cadena productiva de cacao son 27 pequeños productores agrícolas de los municipios de Ibagué, Ataco, Chaparral y Mariquita.
- C.E. El campo tolimente gestiona el conocimiento. Cadena productiva cítricos: los beneficiarios del proyecto de la cadena de productiva de cítricos son 242 pequeños productores agrícolas de los municipios de Guamo, Coello, Espinal, Armero Guayabal y Mariquita.
- C.E. El campo tolimente gestiona el conocimiento. Cadena productiva de aguacate: los beneficiarios del proyecto de la cadena productiva de aguacate son 65 pequeños productores agrícolas de los municipios de Fresno, Herveo, Palocabildo y Casabianca.
- C.E. El campo tolimente gestiona el conocimiento. Cadena productiva arracacha: los beneficiarios del proyecto de la cadena productiva de arracacha son 32 pequeños productores agrícolas del municipio de Cajamarca.

El proceso de entrenamiento se realizó de forma permanente, el horizonte del tiempo para el presente estudio tuvo una duración de 8 meses, se incluyó la capacitación en el manejo de las nuevas herramientas TIC, clases mediadas con temáticas propias del diplomado en coaching estratégico, ECAS y la práctica se vio reflejada en la comunidad virtual Rizoma, un espacio para comentar, opinar, compartir experiencias y conocimientos nuevos, además para subir videos cortos y registros fotográficos. El análisis se fundamentó en la participación durante la formación y la interacción en la Red Rizoma, lo que permitió el fortalecimiento del tejido social de las comunidades rurales participantes.

RESULTADOS

A partir de la investigación realizada, los resultados se obtuvieron de los informes consolidados por el del líder de la Red Rizoma y validados en la plataforma Yammer (Comunidad Red Rizoma de la Universidad Cooperativa de Colombia) que muestran los resultados en la adaptación de las nuevas tecnologías. A continuación, se presentan los resultados por cada una de las comunidades virtuales.

En la comunidad C.E. El campo Tolimente Gestiona el Conocimiento - Cadena productiva CAFÉ, se observó que el 87% de los beneficiarios del proyecto de la cadena productiva de CAFÉ están vinculados a la comunidad virtual Red Rizoma.

Las interacciones dentro de la plataforma se centran en la presentación individual de los participantes, las respuestas a preguntas orientadoras y el intercambio de experiencias a través de registros fotográficos, videos y reacciones y comentarios. A continuación, se recogen las voces de los productores agrícolas de la cadena productiva de CAFÉ dentro de esta comunidad virtual. Las siguientes publicaciones corresponden a los productores al inicio del diplomado en coaching estratégico para la productividad y competitividad empresarial:

1. Buen día, con gran expectativa, iniciamos este diplomado en coaching empresarial, mil gracias.
2. Muy buenas tardes para toda la comunidad. Productor, transformador y comercializador de cafés especiales en Ibagué, Tolima Colombia.
3. Buenas tardes, soy productora de café de la vereda La Libertad, municipio de Rovira, Tolima.
4. Buenas tardes, primeramente, le doy gracias a Dios por permitirme estar en la Universidad Cooperativa y les agradezco a ustedes por la invitación para tener más aprendizajes. Muchas gracias.
5. Hola, buen día a toda la comunidad productora de Café y Cacao de Ibagué de la vereda San Antonio de corregimiento de San Bernardo.
6. Hola a todos, y quiero invitarlos a conocer mi proyecto en Instagram como @mata.deuva.
7. Hola, buenas tardes. Soy artista plástico y produzco café en la finca La Comarca en Dolores, Tolima vereda Ilanitos, y tengo un Museo de arte precolombino tejido sobre MDF y lienzo
8. Buenas tardes, pertenezco a la asociación Asolaunion, vivo en la vereda Irco Dos Aguas (Chaparral). Soy productora de café.
9. Hola, buenas noches, pertenezco a la asociación Asoquebradon de Rioblanco Tolima. Soy productor de café especial, y también vendo café tostado. Mi marca es Sueño Real.
10. ¡Buenas tardes! ¡Con profunda emoción, quiero darles a conocer que ya se encuentra abierta la Tienda de Café de nuestra Asociación!, ¡Luz Aroma Kafé - Askafé, se llama Tienda Askafé y nos encontramos ubicadas a la entrada del Municipio de Fresno, en el letrero de Yo Amo Fresno!!! ¡Los esperamos!!

Con el fin de motivar la interacción con temas propios de la formación de los agricultores, se les presentó posteriormente en la comunidad virtual la siguiente pregunta generadora: ¿De qué manera el diplomado de coaching estratégico para la competitividad empresarial, ha contribuido a la apropiación social del conocimiento de los productores agrícolas del Departamento del Tolima? Se obtuvieron las siguientes respuestas:

1. El diplomado Coaching Empresarial se ha constituido en soporte fundamental para la apropiación del conocimiento en la aplicación y desarrollo de las metas y objetivos sociales y comunitarios, desde el punto de vista personal este proceso es la esencia dogmática del mandato constitucional en el desarrollo del marco social y comunitario de una democracia participativa e incluyente, en buena hora la unidad de la academia del Tolima se hace partícipe de este proceso que esperamos se le dé continuidad, perenne gratitud y reconocimiento por tan loable labor.
2. Buenos días para todos, el diplomado ha influido muchas cosas en como persona, me ha hecho conocer muchas oportunidades y conocimientos para nuestra empresa productora, influye mucho en nuestros valores como ser humano
3. Gracias al diplomado se ha adquirido el conocimiento para aplicar todo sobre el papel, no solo dejarlo en nuestras mentes sino poder estandarizar los procesos con estos mayores resultados.
4. Del coaching he aprendido muchos valores, muchos conocimientos ante los procesos formativos y he aprendido muchas técnicas para mis cultivos.
5. Buenas, a través de todo el conocimiento que hemos obtenido, y el diálogo con los compañeros, nos hemos motivado a proponer diferentes proyectos antes diferentes Entidades
6. Me sirve para mi desarrollo integral desde mi visión empresarial dese mi empresa agropecuaria orgánica con vocación agroturística, con el empoderamiento de conceptos y el posicionamiento de principios de vida agregándole técnicas, que ayudarán a mejorar cada día el nivel de vida de todos mis colaboradores mi familia mis vecinos, entorno en general, pero sobre todo y lo más importante mi planeta.
7. Sí, ya que por medio de capacitaciones y esta aplicación de rizoma podemos adquirir más información importante para todos.
8. Considero que gracias a la tecnología hoy en día podemos adquirir mucho conocimiento a través de páginas documentales y cosas así por el estilo. Además, a través de las plataformas se obtiene información de capacitaciones, programas y proyectos de participación presencial.

En el caso de la comunidad C.E. El campo Tolimense Gestiona el Conocimiento - Cadena productiva CACAO, se observó que 73% de los beneficiarios del proyecto de la cadena productiva de cacao están vinculados a la comunidad virtual Red Rizoma y, como parte de las Presentaciones individuales, los agricultores manifestaron lo siguiente:

1. Buenas tardes de la cooperativa Riqueza Ancestral - planta transformación de cacao de mariquita.
2. Buenas tardes, compañeros del municipio de Mariquita Tolima, los saludo cordialmente y espero poder compartir y aprender mucho con todos ustedes
3. Buenas tardes... Soy de la vereda tres esquinas banqueo corregimiento del limón Soy productora de cacao con variedades ricas en sabor y aromas. Es un gusto saludarlos y compartir grandes experiencias en este grupo que nos ayude a fortalecernos y seguir avanzando en este medio de la agricultura.
4. Hola, muy buenas tardes de la vereda Altamira del corregimiento del limón, soy productora de cacao y también trabajamos con manualidades y mucho más.
5. Hola, soy del corregimiento de Calarma del municipio de Chaparral, cadena de cacao.

Igualmente, a esta comunidad se le presentó la siguiente pregunta: ¿De qué manera el diplomado de coaching estratégico para la competitividad empresarial, ha contribuido a la apropiación social del conocimiento de los productores agrícolas del Departamento del Tolima? Y se obtuvieron las siguientes respuestas:

1. Buena tarde, la gestión que ha realizado la universidad cooperativa ha sido maravillosa porque nos orienta hacia un camino de proyección empresarial, fortaleciendo nuestros emprendimientos, permitiendo que nuestra ruralidad tenga una calidad de vida familiar, personal y comunitaria. Reitero mi gratitud a la institucionalidad por su labor... Un abrazo para todos.
2. Contribuye en el sentido en que se han generado espacios de transferencias de conocimientos y saberes ancestrales que permiten hacer una inclusión y equidad en el sector agrícola, permitiendo aplicar lo aprendido en cada una de las unidades productivas o empresas, asociaciones y cooperativas

Al preguntárseles si consideran que la apropiación social del conocimiento es limitada entre los productores agropecuarios del departamento del Tolima, se encontraron las siguientes respuestas:

1. Es limitada, por qué no todos tenemos las mismas experiencias y oportunidades de transferir el conocimiento y poder crear espacios de equidad e inclusión en el sector agrícola que pueda generar confianza y una transformación social.
2. No puede ser limitada, claro está, depende de las personas, y el lugar. Por eso somos afortunados de tener educación y ser orientados para que cada día seamos mejores, por eso es fundamental promover la educación y que los recursos sean viables para mejorar en las zonas que tienen tal servicio y que las personas adquieran conocimientos para un futuro mejor. El conocimiento no tiene límites...

En cuanto a la comunidad C.E. El campo Tolimense Gestiona el Conocimiento - Cadena productiva CÍTRICOS, el 86% de los beneficiarios del proyecto de la cadena productiva de cítricos están vinculados a la comunidad virtual Red Rizoma. A continuación, se presentan las opiniones y comentarios individuales al indicio de la formación:

1. Excelente capacitar a nuestro relevo generacional, en los diferentes campos de las tecnologías emergentes, de tecnificación e innovación en el agro.
2. Una gran pérdida ha causado el fuerte verano en la zona de Espinal, Coello, Flandes, Suárez, Guamo, Saldaña, San Luis, entre otros municipios. Los bajos costos de los cítricos, ponen a los agricultores de cítricos en aprietos y en este último mes el precio del bulto de 72 kilos no superó los \$35.000.
3. Delavareda Rincón Santo, sector La Troja del municipio del Guamo, Tolima. Les reitero mis más sinceros agradecimientos, aprecio y estimación a todos los profesores de la UCC. Agrosavia y la UT. A los ingenieros agrónomos de las ECAS, al ingeniero Jorge Mario de la aplicación Rizoma. Al personal que ejecutó la logística con gran excelencia. Para que todos los productores de los diferentes nodos recibiéramos los conocimientos con comodidad en los procesos de dirección, proceso operativo y procesos de apoyo. Para lograr el cambio en aspectos importantes del crecimiento de nuestra unidad productiva. Me siento orgullosa hoy de estar cumpliendo un mes de haber recibido el certificado en el Diplomado Coaching Estratégico para la competitividad empresarial. Felicidades compañeros, felicitaciones para la UCC. Agrosavia y a la UT por cumplir excelentemente con el currículo.

Con relación a la pregunta generadora, se planteó: ¿De qué manera el diplomado de coaching estratégico para la competitividad empresarial, ha contribuido a la apropiación social del conocimiento de los productores agrícolas del Departamento del Tolima? Y como parte de las respuestas, se encontró que ha contribuido significativamente a la apropiación social del conocimiento entre los productores agrícolas del departamento del Tolima al recibir capacitaciones, grupos diferentes, de varias regiones del Tolima por parte de la UCC. Agrosavia y la UT.

En cuanto a la comunidad virtual C.E. El campo Tolimense Gestiona el Conocimiento - Cadena productiva AGUACATE, se evidenció que el 46% de los beneficiarios del proyecto de la cadena productiva están vinculados a la comunidad virtual Red Rizoma. A continuación, se presenta el contenido de los mensajes expresados por los participantes:

1. Escuela de campo Agrosavia y productos de aguacate del municipio de Casabianca, Tolima. Tema: Plagas y enfermedades
2. Los conflictos lo generan el no pensar en el otro punto de vista del otro, hay que aprender a buscar los puntos medios para llegar acuerdos mutuos y terminar felices acuerdos.
3. Gracias a Dios, hoy recibimos grado, hoy no son solo empresarios de alta talla, hoy somos empresarios campesinos de base. Gracias a la universidad cooperativa de Colombia con el apoyo del gobierno. Colombia, potencia de la vida. Gracias y bendiciones para todos.

Como parte de las preguntas generadoras, se les consultó: ¿De qué manera el diplomado de coaching estratégico para la competitividad empresarial, ha contribuido a la apropiación social del conocimiento de los productores agrícolas del Departamento del Tolima?, y se presentaron las siguientes respuestas:

1. Principalmente, al reconocer nuestros predios como una gran empresa y como persona, me reconozco que soy líder en cuanto a las capacidades adquiridas en ese diplomado y que puedo ponerlas en práctica.
2. Me enseñó a conocerme mejor, aprender a confiar en mí, me enseñó que todos somos líderes. Fue una experiencia muy bonita y muy productiva.

3. Me enseñó a conocerme en mi parte interna de mi ser. Me di cuenta de que las cosas que hacía giraban en torno en cómo las hacía. Con esta nueva experiencia que han brindado, he atendido que primero debía cambiar mi ser. Luego, al aplicarlo al entorno, todas las personas que giraban a mi alrededor se han dado cuenta del cambio que he tenido. No solo ellas se dieron cuenta; yo lo he percibido en todos los ámbitos que giran en mi mundo.
4. Una de las formas fue hacernos entender que debemos llevar registros contables de nuestras unidades productivas. Contribuir a una sociedad más justa, basada en principios y valores.
5. El coaching estratégico me ha servido para impulsar mi producto empresa hacia los mercados del mundo. Me ha llevado desde la perspectiva de mi ser a contribuir de manera mucho más eficiente y equilibrada al entorno social, económico, cultural y familiar. Esta formación me enseñó a conocerme y a valorar mis principios y valores, a ponerlos por delante de los intereses de los demás.

Respeto a la comunidad C.E. El campo Tolimense Gestiona el Conocimiento - Cadena productiva ARRACACHA. El 71% de los beneficiarios del proyecto de la cadena productiva de arracacha están vinculados a la comunidad virtual Red Rizoma. Los productores de arracacha documentaron las actividades a través de registros y videos en tiempo real para facilitar el intercambio de conocimientos entre los productores:

1. La ECA de arracacha, parcela agroecológica orgánica ... Agrosavia. Variedad la 22
2. Excelente actividad
3. En la ECA Agrosavia Arracacha de hoy
4. Buenas tardes. Estamos en la ECA. Excelente
5. Así empezamos el trabajo en la parcela convencional
6. Compartiendo en la ECA de Agrosavia
7. ECA Rizoma
8. Aquí en la finca de don Jorge con los muchachos de Agrosavia
9. Esa es una de las tareas, que cada productor haga un listado de malezas o arvenses que encuentren en su finca en el lote de arracacha
10. Hagamos una lista de las arvenses de la finca. ¿Malezas y, cómo las controla?

Se planteó como pregunta generadora: ¿De qué manera el diplomado de coaching estratégico para la competitividad empresarial, ha contribuido a la apropiación social del conocimiento de los productores agrícolas del Departamento del Tolima? Encontrándose que le permitió tener en cuenta la importancia de tener una misión y una visión de nuestros predios y a llevar una contabilidad de nuestras inversiones en nuestros proyectos productivos. Al consultarles, ¿Considera que la apropiación social del conocimiento es limitada entre los productores agropecuarios del departamento del Tolima?, se encontraron las siguientes respuestas:

1. Sí, es un poco limitado, ya que por el tiempo los campesinos no pueden sacar tiempo y debería ser más largo para poder ASER más convocatorias abiertas.
2. Sí, porque en todo lo aprendido pudimos tener diálogo, análisis y reflexión

Estos resultados evidencian cómo las comunidades rurales han integrado las TIC en su proceso de apropiación social del conocimiento a través de la plataforma virtual Red Rizoma. Los resultados muestran que, en cadenas productivas clave como café, cacao y cítricos, la mayoría de los beneficiarios participaron activamente en esta red, lo que facilitó interacciones significativas como el intercambio de experiencias, registros visuales y comentarios en línea. Este entorno digital no solo promovió el aprendizaje colectivo, sino que también permitió a los agricultores conectar sus realidades productivas con una dimensión empresarial más formalizada, como evidencian sus testimonios al adoptar prácticas como la contabilidad y la planificación estratégica en sus unidades productivas.

Además, la formación en coaching estratégico fue percibida como un catalizador de transformación personal y organizacional. Los participantes destacaron mejoras en su autoconocimiento, valores y liderazgo, así como en su capacidad para implementar conocimientos adquiridos en contextos prácticos. Las respuestas reflejan una percepción positiva sobre el rol de las TIC y la formación académica como herramientas clave para cerrar brechas de conocimiento y fomentar la equidad en el sector agrícola. Sin embargo, también se reconocen desafíos como la limitada disponibilidad de tiempo para los campesinos y la necesidad de ampliar las convocatorias, lo que señala oportunidades para fortalecer la apropiación social del conocimiento y aumentar la sostenibilidad de estas iniciativas tecnológicas.

DISCUSIONES

La integración de los productores agrícolas a la comunidad virtual Red Rizoma en el contexto de las ECAS es un proceso fundamental que responde, en primera instancia, a la capacitación impartida a través de dispositivos móviles. Esta formación inicial permite que los productores agrícolas comiencen a adaptarse a las nuevas tecnologías, utilizando la aplicación para ingresar a la comunidad virtual. Con el apoyo continuo de los docentes y el líder de Rizoma, los productores generan confianza en el entorno virtual, reconociendo la importancia y el valor de compartir conocimientos y experiencias ancestrales. Esta dinámica se ve reflejada en la disminución de la brecha digital entre las áreas rurales y urbanas, fomentando una mayor equidad en el acceso y uso de las tecnologías.

Los resultados del estudio evidencian la creación y fortalecimiento de habilidades entre los pequeños productores agrícolas, permitiéndoles mejorar su competitividad y productividad. La adopción de TIC en contextos rurales no solo facilita la transmisión de conocimientos, sino que también promueve una mayor inclusión digital y social. Arion et al. (2024) subrayan que la falta de habilidades digitales en áreas rurales es un obstáculo significativo, pero con una capacitación adecuada, como la ofrecida por la Red Rizoma, es posible superar estas barreras y fomentar un desarrollo sostenible en el sector agrícola. Asimismo, Buendía (2018) destaca cómo las comunidades virtuales pueden fomentar el emprendimiento rural, proporcionando una plataforma para la gestión del conocimiento y el intercambio de experiencias, lo que resulta en un impacto positivo en la productividad y competitividad de los productores.

La integración de los productores agrícolas en herramientas digitales como redes sociales, WhatsApp y aplicaciones empresariales, a través de la Red Rizoma, ha demostrado ser un mecanismo efectivo para fomentar la confianza y la conexión en tiempo real con el mundo exterior. Esta formación continua permite que los productores agrícolas no solo adquieran habilidades técnicas, sino que también comprendan la importancia de estar conectados y participen activamente en el aprendizaje colaborativo. Espinal (2023) señala que las comunidades virtuales, como la Red Rizoma, se han convertido en una estrategia clave para superar los desafíos educativos presentados por el COVID-19, facilitando la interacción y el intercambio de conocimiento en entornos virtuales.

En este contexto, las Tecnologías para el Aprendizaje y Conocimiento (TAC) juegan un papel fundamental al proporcionar acceso a un aprendizaje continuo y dinámico. Los productores participan en foros y responden a preguntas generadoras planteadas por los docentes y líderes de la comunidad, lo cual refuerza su confianza y habilidad para aplicar nuevos conocimientos. Bert (2021) destaca que la digitalización en la agricultura es un determinante crucial para la transformación de los sistemas alimentarios, promoviendo la sostenibilidad y competitividad a nivel global. Por lo tanto, el uso de herramientas digitales no solo mejora la capacitación técnica de los productores, sino que también impulsa su integración en un entorno productivo más competitivo y resiliente.

En esta experiencia, la comunidad virtual Rizoma ha demostrado ser una plataforma eficaz para fortalecer tanto la participación individual como comunitaria de los productores agrícolas mediante el uso de nuevas tecnologías. Al integrarse en la comunidad virtual, los productores toman decisiones y opinan sobre diversos temas relacionados con sus unidades productivas, ganando así espacios y visibilidad que antes no tenían. Los resultados de la adaptación a las nuevas tecnologías, como mecanismo de aprendizaje para los productores agrícolas del departamento del Tolima, están alineados con los siguientes núcleos de la Red Rizoma:

- Núcleo Explora - Aprende: los productores adquirieron competencias técnicas en el uso de nuevas tecnologías y comprendieron nuevas formas de aprender y enseñar, gracias a las dinámicas implementadas por los docentes.
- Núcleo Sorprende - Apropia: los productores se enriquecieron con herramientas digitales de forma interactiva, participando en las ECAS y clases presenciales y mediadas, lo que facilitó la apropiación del conocimiento.
- Núcleo Innova - Investiga: a través del uso de herramientas digitales y la participación en la Red Rizoma, los productores no solo adquirieron nuevos conocimientos, sino que también despertaron su espíritu de investigación e innovación en sus procesos productivos.
- Núcleo Comunica - Participa: el uso de nuevas tecnologías fomentó el diálogo abierto y la interacción activa, facilitando la comunicación y el trabajo en equipo en tiempo real.

Estas metodologías activas y el uso de TIC en entornos de aprendizaje, como se describe en Cárdenas et al. (2023), son esenciales para fomentar la participación y el aprendizaje continuo en comunidades virtuales. Además, según Gómez y Eito (2023), la transición de la comunidad ancestral a la comunidad virtual permite conservar y compartir conocimientos tradicionales mientras se adoptan nuevas tecnologías, lo que es crucial para el desarrollo sostenible y competitivo de las unidades productivas.

Según Rheingold (2009), las comunidades virtuales funcionan como ecosistemas de subculturas y grupos espontáneamente constituidos, comparables a cultivos de microorganismos en un laboratorio, donde cada uno se desarrolla como un experimento social no planificado. Este marco teórico es esencial para entender la dinámica y evolución de la Red Rizoma. La investigación realizada permitió integrar a cinco grupos de diferentes cadenas productivas con intereses comunes en la Red Rizoma, donde el lenguaje y las formas de comunicación reflejan sus culturas y valores ancestrales. Con el crecimiento de la comunidad, se observa cómo estos elementos culturales surgen y evolucionan naturalmente. La Red Rizoma ha demostrado ser un mecanismo digital efectivo que facilita la adaptación de los pequeños productores agrícolas a las nuevas tecnologías, fortaleciendo los procesos de enseñanza y aprendizaje. Al proporcionar un espacio para el intercambio de conocimientos y experiencias, la Red Rizoma no solo promueve la confianza y la cohesión entre los productores, sino que también fomenta la innovación y el desarrollo sostenible en sus prácticas agrícolas.

CONCLUSIONES

La investigación demostró que la Red Rizoma es una plataforma eficaz para facilitar la adaptación de los pequeños productores agrícolas a las nuevas tecnologías, fortaleciendo así los procesos de enseñanza y aprendizaje. Los productores no solo adquirieron nuevas habilidades digitales, sino que también aprendieron a compartir, socializar e intercambiar conocimientos y experiencias en una comunidad virtual. Este enfoque permite que el conocimiento fluya de manera natural, promoviendo la cocreación de buenas prácticas agrícolas adaptadas a los contextos locales específicos de cada región.

La Red Rizoma, desarrollada por la Universidad Cooperativa de Colombia, se ha

consolidado como un medio para empoderar a los productores agrícolas, proporcionando acceso a información relevante y fortaleciendo sus capacidades colectivas para enfrentar desafíos comunes. Las estrategias implementadas, tales como las escuelas de campo para agricultores (ECAS) y la formación en coaching estratégico, han sido determinantes para fomentar la confianza y motivación entre los productores, facilitando su integración en la Comunidad Virtual Red Rizoma.

Los resultados del estudio permiten identificar cómo el uso de las TIC puede reducir significativamente la brecha digital entre las zonas urbanas y rurales, facilitando un mejor acceso a la información y al conocimiento. La participación activa de las comunidades de diferentes cadenas productivas en una plataforma virtual ha demostrado ser una herramienta poderosa para cerrar las brechas digitales y promover la competitividad y sostenibilidad en el sector agrícola. Así, el estudio concluye que la adopción de las TIC por parte de los productores agrícolas no solo mejora su competitividad, sino que también contribuye a la apropiación social del conocimiento, fomentando el desarrollo de comunidades rurales más conectadas y resilientes.

REFERENCIAS

- Arion, F. H., Harutyunyan, G., Aleksanyan, V., Muradyan, M., Asatryan, H., & Manucharyan, M. (2024). Determining Digitalization Issues (ICT Adoption, Digital Literacy, and the Digital Divide) in Rural Areas by Using Sample Surveys: The Case of Armenia. *Agriculture*, 14(2), 249. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020249>
- Bert, F. (2021). *La digitalización de la agricultura como determinante para la transformación de los sistemas alimentarios: Una perspectiva desde las Américas*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/18586/BVE21088334e.pdf?sequence=1>
- Buendía, T. (2018). *Las comunidades virtuales como medio para fomentar el emprendimiento en el medio rural* [Tesis doctoral, Universitat Internacional de Catalunya]. TDX. Recuperado de <https://tdx.cat/handle/10803/482204>
- Buitrago, P., García, J., & Martínez, L. (2022). La competitividad de las empresas agroindustriales del Tolima: Un estudio basado en la norma técnica colombiana NTC 6001 en M. S. Rodríguez-Barrero et al. (Eds.), *Perspectivas interdisciplinarias de la sostenibilidad* (1ª ed., Vol. 2, pp. 274–297). Editorial CIDE Ecuador.
- Buitrago Mejía, A., Serna Gómez, H., y Rodríguez Barrero, M. (2018). La gestión del conocimiento empresarial como contribución al aprendizaje generacional-estudio de caso en Colombia. *Horizontes Empresariales*, 17(1), 45-58. DOI: <https://doi.org/10.22320/hem.v17i1.3281>
- Cárdenas Cordero, N. M., Guevara Vizcaíno, C. F., Moscoso Bernal, S. A., & Álvarez Lozano, M. I. (2023). Metodologías activas y las TIC en los entornos de aprendizaje. *Conrado*, 19(91), 397–405. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442023000200397
- Espinal Correa, C. E. (2023). Comunidades virtuales Rizoma: Estrategia de la Universidad Cooperativa de Colombia ante los desafíos del Covid-19 en Fundación Organización Universitaria Interamericana (Ed.), *Modelos educativos innovadores en educación superior* (pp. 95–106). Recuperado de <https://oui-iohe.org/wp-content/uploads/2022/11/Publicaci%C3%B3n-Premio-MEIN-2020.pdf>
- Gómez Quintero, J. D., & Eito Matero, A. (2023). De la comunidad ancestral a la comunidad virtual: Transiciones teóricas sobre lo comunitario. *Espacios Transnacionales*, 10(20). Recuperado de <https://espaciostransnacionales.xoc.uam.mx/espacios-transnacionales-20/>
- Meirinhos, M., & Osório, A. (2009). Las comunidades virtuales de aprendizaje: El papel central de la colaboración. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (35), 45–60. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36812381004>
- Méndez Sánchez, M. del P., Peñaloza Gómez, R., & García Méndez, M. (2023). Escala de comunidades virtuales: Un estudio exploratorio y confirmatorio. *Acta de investigación psicológica*, 13(3), 40–48. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/aip/v13n3/2007-4719-aip-13-03-40.pdf>
- Pineda Ballesteros, E., Meneses Cabrera, T., & Téllez Acuña, F. R. (2013). Análisis de redes sociales y comunidades virtuales de aprendizaje: Antecedentes y perspectivas. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 1(38), 40–55. Recuperado de <https://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/404>
- Rheingold, H. (2000). *The virtual community: Homesteading on the electronic frontier* (Revised ed.). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/7105.001.0001>
- Rheingold, H. (2009). *La comunidad virtual: Una sociedad sin fronteras*. Gedisa.
- Rodríguez, J., García, P., Martínez, L., & Sánchez, M. (2022). Influencia del modelo de ecorregión solidaria aplicado en el desarrollo sostenible de comunidades rurales del sur oriente del Tolima. En M. S. Rodríguez-Barrero et al. (Eds.), *Perspectivas interdisciplinarias de la sostenibilidad* (1ª ed., Vol. 2, pp. 171–199). Editorial CIDE Ecuador. Recuperado de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/3c81e12e-279f-4fde-a4de-033d90f90b81/content>
- Rodríguez, J., García, P., Martínez, L., & Sánchez, M. (2022). Influencia del modelo de ecorregión solidaria aplicado en el desarrollo sostenible de comunidades rurales del sur oriente del Tolima. En M. S. Rodríguez-Barrero et al. (Eds.), *Perspectivas interdisciplinarias de la sostenibilidad* (1ª ed., Vol. 2, pp. 171–199). Editorial CIDE Ecuador. Recuperado de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/3c81e12e-279f-4fde-a4de-033d90f90b81/content>

Tovar Soto, J. P., Solórzano Suárez, J. de los S., Badillo Rodríguez, A., & Rodríguez Cainaba, G. O. (2019). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: Estado actual. *Lámpsakos*, (22), 86–105. <https://doi.org/10.21501/21454086.3253>

Universidad Cooperativa de Colombia. (2022). *Rizoma Academia Integrada*. Recuperado de <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/0f75d410-e20d-43fd-bfcd-dad0dcbedc03>

Análisis de los Conjuntos de Datos Aplicados en el Aprendizaje Automático para la Detección de Fraudes en los Estados Financieros

Ludivia Hernández Aros

Magíster en Auditoría y Gestión empresarial, Doctorando en Contabilidad y Finanzas

Mail: ludivia.hernandez@campusucc.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1571-3439>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001438723

Filiación Institucional: Universidad Cooperativa de Colombia
Universidad de la Salle

Mario Samuel Rodríguez Barrero

Doctor en Administración Gerencial

Mail: mario.rodriguezb@campusucc.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/00000001-9356-6764>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000007631

Filiación Institucional: Universidad Cooperativa de Colombia

Laura Constanza Gallego Cossio

Doctora en Administración

Mail: laura.gallego@campusucc.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3131-235X>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001431144

Filiación Institucional: Universidad Cooperativa de Colombia

Daniela Alejandra Vela Ruiz

Estudiante Contaduría Pública

Mail: daniela.velaruiz@campusucc.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1543-3233>

Filiación Institucional: Universidad Cooperativa de Colombia

Juliana Rodríguez Hincapié

Estudiante Contaduría Pública

Mail: juliana.rodriguezh@campusucc.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7547-5624>

Filiación Institucional: Universidad Cooperativa de Colombia

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Hernández-Aros, L., Rodríguez-Barrero, M. S., Gallego Cossio, L. C., Vela Ruiz, D. A., y Rodríguez Hincapié, J. (2024). Análisis de los conjuntos de datos aplicados en el aprendizaje automático para la detección de fraudes en los estados financieros en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 459-491). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

La presente investigación analiza la aplicación de conjuntos de datos en la detección de fraudes en estados financieros mediante aprendizaje automático. Su objetivo general es explorar y caracterizar los conjuntos de datos utilizados, documentando las variables que los componen para prevenir y detectar fraudes financieros. La metodología es cualitativa y documental, siguiendo fases como la revisión teórica, caracterización de datos y documentación de características relevantes. Los conjuntos de datos son esenciales para construir modelos precisos y confiables. Se emplearon bases como Audit Analytics, EDGAR y CSMAR, integrando variables financieras (ratios, ingresos, activos) y no financieras (como la proporción de acciones directivas). Herramientas como Python y bibliotecas como Scikit-learn facilitan la evaluación de algoritmos supervisados como Random Forest, SVM, y redes neuronales. Los resultados más relevantes son: Según la Association of Certified Fraud Examiners (ACFE), los fraudes más comunes incluyen malversación de activos (89% de casos), corrupción (48%) y manipulación de estados financieros (5%), siendo esta última la más costosa, la caracterización de los conjuntos de datos, asegura su calidad y limpieza lo cual es crucial para reducir sesgos y mejorar la precisión de los modelos. La selección de las variables permite optimizar los modelos predictivos y, por último, estudios destacan el uso de variables financieras y no financieras, aplicando algoritmos como XGBoost, AdaBoost y SVM. Los modelos recientes alcanzaron hasta el 99.3% de precisión en datos sintéticos masivos.

Palabras Clave: Conjuntos de datos, aprendizaje automático, detección de fraudes, estados financieros.

ANALYSIS OF DATA SETS APPLIED IN MACHINE LEARNING FOR FRAUD DETECTION IN FINANCIAL STATEMENTS

ABSTRACT

This research analyzes the application of datasets in detecting fraud in financial statements through machine learning. Its general objective is to explore and characterize the datasets used, documenting the variables they comprise to prevent and detect financial fraud. The methodology is qualitative and documentary, following phases such as theoretical review, data characterization, and documentation of relevant features. Datasets are essential for building accurate and reliable models. Databases such as Audit Analytics, EDGAR, and CSMAR were used, integrating both financial variables (ratios, income, assets) and non-financial variables (such as the proportion of managerial shares). Tools like Python and libraries such as Scikit-learn facilitate the evaluation of supervised algorithms like Random Forest, SVM, and neural networks. The most relevant findings are: According to the Association of Certified Fraud Examiners (ACFE), the most common types of fraud include asset misappropriation (89% of cases), corruption (48%), and financial statement manipulation (5%), with the latter being the most costly. The characterization of datasets ensures their quality and cleanliness, which is crucial for reducing biases and improving model accuracy. The selection of variables optimizes predictive models, and recent studies highlight the use of both financial and non-financial variables, applying algorithms like XGBoost, AdaBoost, and SVM. The recent models have achieved up to 99.3% accuracy on massive synthetic data.

Keywords: Datasets, Machine Learning, Fraud Detection, Financial Statements

INTRODUCCIÓN

Los estados financieros son documentos básicos en una empresa en los que refleja su situación económica (Gómez y Leyva, 2019). Para inversores, acreedores y otros interesados, los estados financieros son indispensables para tomar decisiones, mediante estos se evalúa la rentabilidad, solvencia, liquidez y la eficiencia operativa de la organización, su análisis es un pilar fundamental para garantizar desarrollo sostenible y expansión a largo plazo de cualquier entidad económica.

Sin embargo, en los últimos años, los casos de estados financieros fraudulentos se han vuelto cada vez más graves, entre ellos está el caso de Enron Corporation, una compañía estadounidense dedicada a la comercialización de gas natural y energía, la cual estaba al borde del colapso económico y como solución a su situación financiera toman la decisión de manipular las cifras en los estados financieros excluyendo de ellos algunas de las compañías filiales, con el fin de ocultar sus deudas y pérdidas; la anterior es una de otras anomalías contables intencionales cometidas por esta compañía (Conejo y Díaz, 2009).

Los fraudes en los estados financieros son una problemática de gran importancia que generan un impacto negativo en la economía, inversores y empleados, estos actos implican el uso de técnicas como la falsificación y manipulación de registros contables, las cuales son utilizadas con el fin de ocultar pérdidas, desviar fondos o simplemente crear una imagen financiera falsa de la empresa, entre los tipos de fraudes más comunes se encuentran, la anticipación de ingresos que consiste en el registro de ventas o ingresos antes de que ocurran.

Otro de los fraudes utilizados, es la creación de Inventarios ficticios donde se registran productos o servicios que no existieron, cuentas por cobrar con cifras numéricas más altas que su valor real, esto con el fin de aumentar o sobrevalorar los activos mostrando una mejor situación financiera que es irreal y el ocultamiento de ingresos para la evasión de impuestos (Márquez, 2018).

Por lo anteriormente mencionado, el uso de la inteligencia artificial ha revolucionado como un instrumento de ayuda dentro de las organizaciones para la identificación de irregularidades contables; considerando la capacidad de estas para procesar grandes bases de datos y así poder analizar patrones fraudulentos en las

transacciones financieras, registros contables y datos externos de una compañía en poco tiempo, la cual se convierte en una herramienta invaluable para detectar anomalías que podrían indicar un fraude a tiempo.

Obtener conjuntos de datos reales proporcionados por las organizaciones, es de gran importancia para poder llevar a cabo experimentos centrados en identificar y determinar las características de los datos que son más relevantes para la detección de anomalías contables, ayudando a los investigadores a desarrollar modelos de algoritmos más precisos y confiables en la detección de diferentes tipos de fraudes en los estados financieros. Es así como investigaciones (Hernandez-Aros et al., 2024) sobre detección de fraudes usan datos reales, como los de bolsas de valores y el conjunto "Credit Card Fraud Detection", en donde se destaca la calidad de los datos y la importancia de Dataset que ayuden a la detección de anomalías en la información financiera.

El fraude en los estados financieros se ha convertido en un problema grave para las empresas, gobiernos e inversores (Kootanaee et al., 2021). Este tipo de fraude amenaza la confianza en los mercados financieros y pone en dificultades a los auditores, quienes a menudo tienen problemas para detectar fraudes a gran escala. Se proponen a través del presente estudio un nuevo modelo que combina varias técnicas de inteligencia artificial para mejorar la detección de fraudes en los estados financieros, el modelo utiliza un árbol de decisión mejorado junto con una máquina de soporte vectorial, además de algoritmos genéticos y redes neuronales. Esta combinación permite obtener resultados más precisos y eficientes al reducir el tiempo de cálculo y mejorar la selección de las características más relevantes.

La Encuesta Regional de Crimen Económico y Fraude 2023 de PricewaterhouseCoopers(PwC)determinaqueal menos el 56% de las empresas a nivel global afirman haber experimentado un fraude financiero en los últimos 24 meses. A pesar de los controles internos establecidos, los fraudes continúan evolucionando y se vuelven más difíciles de detectar. Además, el empleo de inteligencia artificial en la identificación de irregularidades es poco común en Latinoamérica, debido a la elevada inversión que requiere su implementación. Las pocas empresas que utilizan esta herramienta pertenecen principalmente al sector financiero. Por otro lado, en otras regiones del mundo es más común el uso de tecnologías avanzadas,

como el análisis de redes, el monitoreo de transacciones y la inteligencia artificial (PricewaterhouseCoopers [PwC], 2023).

Deloitte España, en la encuesta de fraude realizada en 2022 revela que, a pesar de la evolución de la inteligencia artificial para el análisis de grandes bases de datos con el fin de prevenir fraudes financieros, su implementación se ve condicionada a la poca disponibilidad y calidad de los datos proporcionados por las empresas, los cuales son fundamentales para el entrenamiento de estas. Existe una gran dificultad latente frente a los datos financieros, con base a esto las empresas, se muestran cerradas al momento de presentar la información que manejan para poder realizar pruebas necesarias para detectar fraudes; en esta investigación se podrá observar un conjunto de datos de grandes empresas muy importantes, ya que son organizaciones que cotizan en la bolsa de valores, por lo anterior, existe una gran problemática, lo que dificulta la obtención de información y así poder dar respuesta frente a los fraudes financieros a tiempo (Deloitte, 2022).

REFERENTES

Las normas internacionales de información financiera (NIIF) establecen un marco legal para la presentación y preparación de los estados financieros, donde enfatizan la importancia de que, la información contable presentada por las empresas sea confiable, transparente y de calidad. En particular las NIIF 1 su objetivo es, "asegurar que los primeros estados financieros con arreglo a las NIIF de una entidad, así como sus informes financieros intermedios, relativos a una parte del ejercicio cubierto por tales estados financieros, contienen información de alta calidad que: (a) Sea transparente para los usuarios y comparable para todos los ejercicios que se presenten; (b) Suministre un punto de partida adecuado para la contabilización según las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF); y (c) Pueda ser obtenida a un coste que no exceda a los beneficios proporcionados a los usuarios" (IASB, 2009). Los estados financieros son la herramienta principal de comunicación entre los usuarios de la información financiera y la empresa; por lo anterior, es necesario que la información financiera contenida en estos documentos sea transparente y confiable.

Los conjuntos de datos es una compilación de información numérica y descriptiva de las transacciones contables de una compañía, estos contienen fecha,

cuentas contables, explicación de la transacción, valor monetario, clientes, proveedores, entre otros tipos de categorías; las *data set* varían de tamaño desde pequeños a grandes los cuales contienen millones de registros que deben estar organizados por filas y columnas que representa una variable, contienen una colección estructurada de información encontrada a partir de encuestas, bases de datos transaccionales, redes sociales o experimentos científicos, son considerados la materia prima de la investigación en modelos de aprendizaje, ya que a partir de estos conjuntos de datos se entrenan los algoritmos y después se realizan las pruebas de eficiencia.

Según Goodfellow et al., (2016), los modelos de Machine Learning aprenden a partir de las *data set*, los cuales brindan la experiencia necesaria para la detección de algoritmos, que distingan entre transacciones legítimas y fraudulentas; por lo anterior, es fundamental que estas herramientas se entrenen constantemente con grandes bases de datos de diversos tipos de fraudes y así los algoritmos identifiquen patrones más complejos para detectar ataques no vistos, también es necesario que la información esté libre de errores e inconsistencias, ya que esto reduciría la precisión del modelo.

En el contexto de los fraudes financieros, los procedimientos de auditoría y aseguramiento desempeñan un papel crucial para garantizar la confianza de los usuarios en la información presentada. Este proceso implica la aplicación de técnicas específicas diseñadas para recopilar evidencia suficiente que permita identificar posibles anomalías contables. Durante la revisión, los auditores deben considerar todos los aspectos relevantes de la información, colocando especial atención en su credibilidad y confiabilidad para asegurar la transparencia y exactitud en los informes financieros.

Las anomalías contables son, aquellas irregularidades o errores encontrados en los registros contables de una organización, las cuales se clasifican en anomalías intencionales, que se toman como un tipo de fraude, porque normalmente se hacen con el fin de ocultar información importante como lo son, las pérdidas o deudas y así engañar a los usuarios de la información financiera, mostrando una falsa realidad de la situación financiera de la organización, por otra parte, están las anomalías no intencionales, que son aquellos errores involuntarios que se cometen al momento de registrar o interpretar los hechos económicos de la misma, estas anomalías

tienen un gran impacto en los estados financieros de las organizaciones, ya que pueden llevar a tomar decisiones equivocadas a los usuarios de la información sean externos o internos.

La detección de estas anomalías en datos financieros es fundamental con el fin de mantener la veracidad y completitud de la información contable. Es así, como Bakumenko & Elragal (2022) presentan un enfoque innovador para identificar patrones atípicos en datos financieros con la ayuda de modelos de aprendizaje automático (ML). Los autores exploran diversas técnicas y evalúan su eficacia en la detección de diferentes tipos de anomalías, lo que contribuye significativamente a la mejora de los sistemas de detección de fraudes y errores en el ámbito financiero; Los resultados obtenidos en esta investigación revelan el potencial de las técnicas de Machine Learning para automatizar y optimizar los procesos de auditoría financiera. Al identificar de manera proactiva las transacciones y los datos que se desvían de los patrones normales, las organizaciones pueden reducir el riesgo de pérdidas financieras y mejorar la calidad de la información contable. Sin embargo, los autores también destacan la importancia de complementar estos modelos con el conocimiento experto de los auditores, para garantizar una interpretación adecuada de los resultados y tomar decisiones informadas.

Estos algoritmos de aprendizaje se dividen en dos categorías, aprendizaje supervisado y no supervisado, la primera categoría se refiere a aquellos algoritmos que reciben datos etiquetados y así aprenden a identificar y predecir valores correctos, en la segunda categoría se encuentran los algoritmos de aprendizaje no supervisado el cual no recibe datos etiquetados, sin embargo, aprende a encontrar patrones en los datos sin ayuda de los datos etiquetados.

El análisis de datos se presenta como un proceso iterativo que implica la limpieza, transformación y modelado, que tiene por objetivo principal descubrir información oculta que permita comprender mejor un fenómeno o resolver un problema específico. Al visualizar y analizar los resultados, podemos identificar oportunidades y tomar decisiones más informadas. Este proceso es un viaje que comienza con la preparación de los datos y culmina con la interpretación de los resultados. En el caso de los datos cualitativos, el proceso implica codificar la información, identificar temas recurrentes y contextualizar los hallazgos. Por otro

lado, el análisis cuantitativo requiere limpiar los datos, explorar su distribución y aplicar técnicas estadísticas adecuadas para extraer conclusiones significativas.

De este modo, Lei et al. (2022) argumentan que el análisis automatizado de información supervisado es necesario, para predicciones de los sistemas de información de gestión financiera, es indispensable y puede ayudar a las instituciones financieras tomar decisiones más informadas y seguras; en el estudio de caso que realizó utiliza un sistema de información inteligente para instituciones financieras con el fin de detectar fraudes, donde se encontró que este algoritmo tiene la capacidad de identificarlos con una precisión del 95%. Esto significa que las instituciones financieras pueden usar Machine Learning para mejorar sus propias estrategias en la detección de fraude y reducir el riesgo de pérdidas financieras.

Zupan et al. (2020) desarrollaron un modelo de aprendizaje profundo para identificar anomalías en entradas de diario contable. Su enfoque se basó en la exploración de patrones en datos secuenciales como montos de transacciones y fechas de registro. Al entrenar un modelo de redes neuronales recurrentes Long Short-Term Memory con estos datos, lograron capturar patrones subyacentes y detectar desviaciones significativas que podrían indicar errores o fraudes.

La elección de utilizar datos numéricos en este estudio se justifica por la naturaleza cuantitativa de las transacciones contables, las cuales argumentan que, al representar las transacciones como vectores numéricos, es posible aplicar técnicas de aprendizaje profundo para extraer características relevantes y construir modelos robustos. Sin embargo, es importante reconocer que la inclusión de datos textuales, como las descripciones de las transacciones, podría enriquecer el análisis y permitir la detección de un rango más amplio de anomalías.

METODOLOGÍA

La presente investigación relacionada con la detección de fraudes a los Estados Financieros es de enfoque cualitativo, porque permite consultar los diferentes *data set* internacionales, al interior de la investigación de cada uno de los autores, sobre la detección de fraudes en los Estados Financieros, según lo establecido por Hernández et al. (2014). Los estudios cualitativos son más flexibles que los estudios cuantitativos.

En los estudios cualitativos, las preguntas de hipótesis e investigación pueden desarrollarse en cualquier momento del proceso de investigación.

Lo que permite al investigador explorar un tema de manera más profunda. Los enfoques son diferentes en la forma en que desarrollan preguntas de investigación e hipótesis. En los estudios cuantitativos, las preguntas de investigación e hipótesis suelen establecerse antes de la recolección de datos, a diferencia de los estudios cualitativos, que estas preguntas se desarrollan en cualquier momento del proceso de investigación.

De igual manera, la investigación es documental define este como un proceso sistemático de búsqueda, recopilación, estructuración, evaluación e interpretación de datos sobre un tema específico. Donde se deben seguir pasos previamente establecidos, en los que se basa en la formulación de un problema, la captación y análisis de una base de datos, lo que lleva a formular conclusiones y generar nuevas teorías o conocimientos dentro de la investigación documental. También enfatiza que la investigación busca no solo generar conocimiento, sino también soluciones a problemas prácticos y ayudar con el avance y desarrollo de una disciplina determinada; motivo por el cual resalta la importancia de que los resultados sean comunicados y compartidos con la sociedad.

Las fases de la investigación son: Fase 1. Permite realizar una búsqueda de información relacionada con la que se presentan los fraudes financieros; fase 2. Una vez realizada toda la documentación teórica al interior de los fraudes financieros, se hace la caracterización con el conjunto de datos estudiados en la detección y prevención del fraude financiero; fase 3. Permite realizar una documentación de las características de los datos de las empresas analizadas en los experimentos.

RESULTADOS

Con relación a los fraudes financieros y su tipología según la literatura consultada, Cárdenas et al. (2021) hacen referencia a dos tipos de fraudes, denominados fraude interno y externo, el interno es cometido por empleados buscando un beneficio personal, donde utilizan de forma indebida los recursos de la empresa, los fraudes externos son cometidos por personas ajenas a la empresa, como proveedores o clientes, con el objetivo de obtener un beneficio económico ilícito, estos pueden

incluir desde la presentación de facturas falsas hasta el robo de información confidencial.

Según ACFE (2024), una de las organizaciones antifraudes más grande del mundo, habla de que los fraudes abarcan desde simples evasiones hasta complejas estafas financieras, poniendo en riesgo a las empresas, los individuos y gobiernos. Todos los sectores son vulnerables, lo que exige medidas preventivas sólidas, la presencia del fraude en cualquier ámbito profesional representa una grave amenaza para la estabilidad financiera de las empresas, este artículo explora los diversos tipos de fraude y subtipos, desde la evasión fiscal hasta las estafas electrónicas, que pueden llevar a pérdidas significativas y dañar la reputación de cualquier organización.

La Asociación categoriza los fraudes en tres categorías, donde la primera de estas es la malversación de activos, en el informe presentado en el año 2024, esta es la modalidad más común representando un 89% de casos, es una manera de fraude laboral que abarca desde el robo directo de dinero hasta la manipulación de registros contables, como la presentación de facturas falsas o el inflado de nóminas.

Este tipo de fraude tiene unos subtipos denominados:

- Skimming donde se genera un robo del efectivo antes de que se genere su registro.
- Larceny que consiste en el robo del efectivo que ya ha sido registrado.
- Fraude en reembolsos de gastos presentando gastos inexistentes o inflados.
- El robo de activos no monetarios donde hay sustracción ilícita de bienes físicos de la
- Empresas, tales como inventario, maquinaria o herramientas.
- Manipulación de cheques y pagos donde se genera la modificación fraudulenta de
- Cheques para desviar los fondos (ACFE, 2024).

La segunda categoría se centra en la corrupción. Este tipo de fraude representa un 48% de los casos donde se evidencia una conducta indebida. En los subtipos se encuentran, los sobornos que implica una acción perversa o ilegal para obtener un beneficio. Por otro lado, se considera que la extorsión económica es cuando

hay una acción para adquirir dinero o rendimientos económicos, así mismo los conflictos de interés donde se presentan situaciones de intereses personales que afectan decisiones laborales, y por último los esquemas de compra donde se puede evidenciar la manipulación de los procesos de compra para adquirir un provecho personal (ACFE, 2024).

En la tercera categoría está el fraude a los Estados Financieros, que es la categoría menos común, pero en ella se puede evidenciar el 5 % de los casos. Este fraude genera las mayores pérdidas medianas aproximadas a unos (USD 766,000 por caso). Lo que implica la manipulación intencionada de los estados financieros. La categoría cuenta con tres subtipos:

- Sobreestimaciones de ingresos que consisten en inflar los ingresos que se han reportado.
- Subestimaciones de pasivos en las cuales no reportan deudas, gastos o simplemente se relacionan por un valor menor al real.
- Las revelaciones inapropiadas radican con el objetivo de presentar la información financiera de una empresa de modo engañosa o incompleta, no revelando la información relevante que podría afectar las decisiones de los inversores (ACFE, 2024).

El informe señala que los fraudes financieros van acompañados de comportamientos característicos en los autores, como cambios en su estilo de vida a una más lujosa, evasión de sus responsabilidades o simplemente una actitud defensiva durante el desarrollo de los procesos de auditoría.

El árbol del fraude muestra cómo los distintos delitos financieros están relacionados entre sí y comparten características comunes, Márquez (2018) relaciona en él diferentes tipos de fraudes y explica cada uno de ellos, este autor tiene opinión compartida con la ACFE (2024), ya que, relacionan algunos tipos de fraude en su clasificación de esquemas donde se da una información detallada de cada uno de ellos.

Como lo es la corrupción que, aunque existen leyes internacionales que buscan combatirla, la corrupción sigue siendo una práctica extendida a nivel mundial. En muchos países, esta técnica es especialmente frecuente en procesos de compra, donde se ofrecen sobornos para obtener ventajas comerciales, esta práctica no

solo daña a las empresas y a la economía, afectando de manera directa la calidad de vida de las personas; el fraude en inventarios y otros activos implica el robo o mal uso de bienes de la empresa. Los empleados pueden utilizar vehículos, equipos o suministros para fines personales, o simplemente robarlos y el robo antes del registro un ejemplo común es cuando un empleado recibe un pago de un cliente, pero no lo registra, apropiándose del dinero; la detección de este fraude es sumamente difícil de encontrar, ya que no hay evidencia contable de que el dinero haya entrado a la empresa (Márquez, 2018).

El robo después del registro, donde el empleado roba dinero que ya ha sido registrado contablemente. Por ejemplo, puede tomar efectivo de la caja o alterar los registros contables para ocultar el robo. Además, existen los desembolsos fraudulentos. Este tipo de fraude involucra el uso indebido de los fondos de la empresa para usos ilícitos o personales. Los empleados pueden falsificar cheques, enviar facturas falsas o realizar otros pagos fraudulentos, así mismo el Lapping consiste en tomar pequeñas cantidades de dinero de la empresa de manera repetida y "lavar" el dinero al día siguiente, aunque inicialmente se tiene la intención de devolver el dinero, esta práctica suele convertirse en un fraude a largo plazo (Márquez, 2018).

En cuanto a los reembolsos falsos en este tipo de fraude, el empleado registra una devolución de un producto que nunca ocurrió, apropiándose del dinero del reembolso, se puede evidenciar también la manipulación de cheques donde los empleados pueden cometer fraude al crear cheques falsos, alterando los legítimos o falsificando documentos relacionados con la nómina, por otro lado, se encuentran los empleados fantasmas este fraude ocurre cuando se incluye en la nómina a personas que ya no trabajan en la empresa o que nunca han existido, con el objetivo de desviar fondos, de la mano de este fraude se encuentran los siguientes, las horas extra falsas donde se exageran las horas trabajadas para recibir un pago adicional que no corresponde al trabajo realizado y los fraudes en comisiones que alteran los datos de ventas o rendimiento para obtener comisiones más altas de las que realmente merecen (Márquez, 2018).

Los fraudes en los estados financieros consisten en alterar intencionalmente la información financiera de una empresa, ya sea exagerando los ingresos y activos o minimizando las deudas y pérdidas. Los responsables de esta acción suelen ser los altos directivos, quienes buscan obtener beneficios personales o

proteger a la empresa de posibles problemas financieros, los cuales tienen una subcategoría.

Donde la sobrestimación consiste en registrar ingresos y gastos en periodos contables distintos a los reales, con el objetivo de ajustar los resultados financieros y proyectar una imagen positiva de la empresa, relacionando con ello los ingresos ficticios donde se crean facturas falsas por bienes o servicios que nunca se entregaron o prestaron, con el fin de aumentar artificialmente los ingresos de la empresa y la valuación indebida, esta práctica implica sobrevalorar el valor de los activos de la empresa en los estados financieros, lo que puede mejorar indicadores como la liquidez y la solvencia, aunque no refleje la realidad financiera de la compañía y la última subpartida en este árbol de fraudes es el fraude fiscal que consiste en presentar información falsa o engañosa a las autoridades fiscales con el objetivo de reducir la carga tributaria de una persona o empresa (Márquez, 2018).

Chen & Wu (2022) centran la investigación en la detección de fraudes financieros en las compañías que cotizan en la bolsa de valores de China, utilizando sistemas de aprendizaje automático, que pueden detectar patrones fraudulentos. Algunas tipologías de fraude financiero que estudian son la manipulación de ingresos, que consiste en inflar o registrar anticipadamente los ingresos para aparentar una mejor situación financiera.; la ocultación de pasivos, que está basada en no registrar intencionalmente las deudas y obligaciones financieras de la empresa, esta práctica engaña a inversionistas, acreedores u otros interesados.

La falsificación de activos en la que se registran activos inexistentes o manipula información relacionada con activos para obtener beneficios económicos ilícitos, está involucrada la falsificación de documentos donde se alteran facturas, contratos o estados financieros, para respaldar la existencia el valor de los activos falsos y la distorsión de costos o gastos donde las empresas Omiten o subestiman los gastos para mostrar una mejor rentabilidad, este tipo de fraude financiero puede incurrir de manera intencional adoptando métodos contables que pueden generar distorsiones temporalmente, pero también está la posibilidad de que estos errores ocurran de forma no intencional donde se evidencian errores humanos simples al registrar o calcular los costos y gastos (Chen & Wu, 2022).

A continuación, se presentan, de manera resumida en una tabla, los tipos de fraudes

financieros en atención a las investigaciones abordadas por los autores.

Tabla 1

Tipos de fraudes financieros

Clasificación de fraudes financieros	Tipos de fraudes financieros	Subtipos de fraudes financieros	Autor
Fraude Interno	Apropiación indebida de activos	Fraude en reembolsos de gastos	Association of Certified Fraud Examiners (2024), Márquez et al. (2018)
		Skimming	Association of Certified Fraud Examiners (2024)
		Lacerny	
		Robo de activos no monetarios	Association of Certified Fraud Examiners (2024), Márquez et al. (2018)
		Manipulación de cheques y pagos	
	Corrupción	Soborno	Association of Certified Fraud Examiners (2024), Márquez et al. (2018)
		Extorsión económica	
		Conflicto de intereses	
	Fraude en nómina	Esquemas de compras.	Márquez et al. (2018)
		Empleados fantasmas.	
		Horas extras falsas.	
Fraude Externo	Esquemas de facturas falsas	Fraude en comisiones alterando los datos de ventas.	Márquez et al. (2018)
		Presentación de facturas por bienes o servicios no entregados.	
	Robo de información confidencial	Robo de datos confidenciales de la compañía.	Márquez et al. (2018)
Fraude en los Estados Financieros	Sobreestimación de ingresos	Ingresos ficticios.	Association of Certified Fraud Examiners (2024), Márquez et al. (2018), Chen & Wu (2022)
		Sobreestimación de ventas.	Association of Certified Fraud Examiners (2024), Márquez et al. (2018)
	Subestimación de pasivos	Ocultar deudas para mejorar la situación financiera.	
	Revelaciones inapropiadas	Presentar información financiera de manera engañosa o incompleta.	Association of Certified Fraud Examiners (2024)

Clasificación de fraudes financieros	Tipos de fraudes financieros	Subtipos de fraudes financieros	Autor
Fraude en los Estados Financieros	Falsificación de activos:	Registrar activos inexistentes o sobrevalorar los existentes.	Márquez et al. (2018)
	Distorsión de costos o gastos	Omitir o subestimar los gastos.	Chen & Wu (2022)
	Fraude fiscal	Falsificación de documentos, contratos y facturas.	

Nota. Elaboración propia

Según las fuentes consultadas, una clasificación detallada de diversos tipos de fraudes financieros corresponde a tres categorías principales: fraude interno, fraude externo y fraude en los estados financieros, el fraude interno abarca una amplia gama de actividades ilícitas perpetradas por empleados de una organización, como el uso indebido de los activos de la compañía, corrupción, la manipulación de cheques y pagos. Los fraudes perpetrados por personas o entidades ajenas a la organización se clasifican como externos, como los esquemas de facturas falsas y el robo de información confidencial, por último, el fraude en los estados financieros involucra la manipulación intencional de los registros contables con la finalidad de engañar a inversores y acreedores.

Los autores citados en el cuadro, como Cárdenas et al. (2021) y Chen & Wu (2022), así como la Association of Certified Fraud Examiners (2024), han realizado contribuciones significativas en la identificación y clasificación de estos tipos de fraudes, esta clasificación detallada proporciona un marco de referencia útil para profesionales de la contabilidad, auditoría y seguridad de la información en la prevención y detección de fraudes.

Con relación al conjunto de datos, según la literatura que usan experimentos de Machine Learning para detectar Fraudes en los Estados Financieros, Dutta et al. (2017) exploran cómo las técnicas de exploración de datos pueden automatizar y mejorar el proceso de detección de reexpresiones financieras. Se centran en la identificación de patrones utilizando algoritmos de minería de datos, se pueden identificar patrones inusuales en los datos financieros que podrían indicar una reexpresión, los algoritmos de clasificación pueden ayudar a categorizar datos y determinar si un conjunto de datos financieros corresponde a una reexpresión o no

y la predicción de reexpresiones se pueden desarrollar modelos predictivos para anticipar futuras reexpresiones basadas en datos históricos.

En el desarrollo de modelos de detección de fraudes financieros, Python se ha consolidado como una herramienta esencial debido a su flexibilidad y amplia adopción en la ciencia de datos. Una de sus bibliotecas más destacadas, Scikit-learn, facilita la construcción y evaluación de modelos de clasificación al ofrecer una variedad de algoritmos, desde regresión logística hasta bosques aleatorios, junto con herramientas avanzadas para el preprocesamiento y selección de modelos. La evaluación del desempeño de los modelos se realiza utilizando métricas clave como precisión, sensibilidad y especificidad, especialmente relevantes en problemas de clasificación desbalanceada. Adicionalmente, la curva ROC se emplea como una representación gráfica para comparar visualmente el rendimiento de los diferentes modelos, equilibrando la tasa de verdaderos positivos y la de falsos positivos, lo que resulta crucial en la optimización del modelo final.

Tabla 2

Experimentos de Machine Learning utilizados para la detección de fraudes financieros

Autor	Tipo de Fraude	Conjunto de datos	Modelo aprendizaje
Chen & Wu (2022)	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros	El conjunto de datos es de empresas que cotizan en la bolsa de valores desde el año 1998 hasta 2016 obtenido de la base de datos de negociación de acciones CSMAR de informes financieros anuales y violaciones, se seleccionaron 400 informes anuales corporativos utilizando ganancias ficticias.	Aprendizaje Supervisado: Regresión Logística (LR); Máquina de vectores de soporte (SVM); Bosque aleatorio (RF); AdaBoost; RUSBoost; Apilamiento XGBoost
Chen (2016)	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros	El conjunto de datos consistió en 176 empresas taiwanesas que cotizan en bolsa y OTC durante los años 2002 a 2013.	Aprendizaje Supervisado: Arbol de Decisión (DT); Red de Creencias Bayesianas (BBN); Máquina de vectores de soporte (SVM); Red Neuronal Artificial (RNA).
Chen et al. (2014)	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros	El conjunto de datos consistió en 132 empresas que cotizan en bolsa y OTC del Taiwan Economic Journal Data Bank (TEJ) entre los años 1998 y 2012.	Aprendizaje Supervisado: Regresión Logística (RL); Máquina de vectores de soporte (SVM); Arbol de decisión (DT) C5.0
Chullamonth on & Tangamchit (2023)	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros- Manipulación del valor de las Acciones	Conjunto de datos de la Bolsa de Valores de Tailandia (SET) durante los años 2004 a 2016.	Aprendizaje supervisado: Memoria a Largo y Corto Plazo (LSTM); Máquina de vectores de soporte (SVM). Aprendizaje no supervisado: Memoria a corto plazo - AutoEncoder (LSTM-AE).

Autor	Tipo de Fraude	Conjunto de datos	Modelo aprendizaje
Dutta et al. (2017)	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros	El conjunto de datos consta de dos conjuntos: el primer conjunto: las incidencias de la reexpresión financiera compiladas por la base de datos Audit Analytics (AA) durante los años fiscales 2001 a 2014, y el segundo conjunto: datos financieros relevantes obtenidos por la base de datos financiera COMPUSTAT.	Aprendizaje Supervisado: Árbol de Decisión (DT); Máquina de vectores de soporte (SVM); Bayes ingenuo (NB); Red Neuronal Artificial (RNA); Red de Creencias Baseyan (BBN).
Hajek & Henriques (2017).	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros	El conjunto de datos consta de 622 empresas que incluyeron 311 informes financieros fraudulentos y no fraudulentos indicados por la Comisión de Bolsa y Valores de los Estados Unidos (SEC) durante los años 2005 a 2015, la información se obtuvo del 10-k (documento de rendimiento financiero anual de la empresa) del sistema electrónico de análisis y recuperación de datos (EDGAR), además, los datos de las variables financieras se recopilaron de la base de datos Reuters Global Market Data and Value Line, disponible públicamente.	Aprendizaje Supervisado: Regresión Logística (LR); Métodos bayesianos (BBN, Naive Bayes - NB, clasificador híbrido - NB/DT); árboles de decisión (CART simple, C4.5); Máquina de vectores de soporte (SVM); Mapas Autoorganizados (SOM); Redes neuronales (perceptrón y MLP); Métodos de ensamble (Random Forest, Bagging y AdaBoostM).
Kootanaee et al. (2021)	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros	El conjunto de datos corresponde a 151 compañías cotizantes en estados financieros en la bolsa de valores de Teherán durante el año 2014 y 2015.	Aprendizaje Supervisado: Árbol de Decisión (DT); Perceptrón multicapa; Redes neuronales. Algoritmos de búsqueda heurística adaptativa: Algoritmo genético (GA)
Papik & Papiková (2022)	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros	El conjunto de datos fueron 10 mil formularios de publicación de cumplimiento de contabilidad y auditoría (AAER) obtenidos de la base de datos EDGAR de la Comisión de Bolsa y Valores de EE. UU. (SEC) para los años 2002 a 2017.	Aprendizaje supervisado: Random Forest (RF); K-Vecino más cercano (KNN); Regresión Logística (LR); Red Neuronal (NN); Árbol de Decisión (DT); Máquina de vectores de soporte (SVM); Análisis discriminante
Shou et al. (2023)	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros	El conjunto de datos consta de 29 variables de datos financieros de 2.318 empresas de CSMAR, un total de 67.222 variables.	Aprendizaje supervisado: Máquinas de Vectores de Soporte (SVM); Método de Selección Univariante; Redes Neuronales; Bosque aleatorio (RF); Regresión Logística (LR); Árbol de Decisión (DT); Bayes ingenuo (NB); Embolsado.
Xiuguo & Shengyong (2022)	Fraude interno. Fraude de Estados Financieros	El conjunto de datos fueron los informes financieros anuales de la Comisión Reguladora de Valores de China (CSRC) para el año 2016 a 2020 obtenidos de la Base de Datos de Investigación Contable y del Mercado de Valores de China (CSMAR).	Aprendizaje supervisado: Random Forest (RF); Máquina de vectores de soporte (SVM); eXtreme Gradient Boosting (XGBoost); Red Neuronal Artificial (RNA). Aprendizaje profundo: Red neuronal convolucional (CNN); Red de Memoria a Largo y Corto Plazo (LSTM); Transformador de unidades recursivas cerradas (GRU)

Nota. Elaboración propia

Se observa una compilación de diferentes estudios que emplean técnicas de aprendizaje automático para detectar fraudes en los estados financieros. Cada estudio se centra en un conjunto de datos específicos, provenientes de diferentes bolsas de valores y distintos periodos de pruebas. Los investigadores han empleado una variedad de algoritmos de aprendizaje supervisado, como árboles de decisión, máquinas de vectores de soporte y redes neuronales artificiales, entre otras, para entrenar modelos que sean capaces de identificar patrones asociados con actividades fraudulentas.

En cuanto a las variables que presenta el conjunto de datos de las empresas analizadas en los experimentos, se identifica que la detección de fraudes financieros es un proceso complejo que depende en gran medida de la selección adecuada de estas variables. No todas las métricas financieras son igualmente útiles para predecir fraudes. Algunos indicadores pueden resultar más relevantes que otros, mientras que algunos incluso pueden perjudicar la precisión de los modelos de detección. Por lo tanto, es crucial elegir cuidadosamente las variables que se utilizarán en el análisis, ya que una selección incorrecta puede llevar a resultados erróneos.

El aprendizaje automático se ha consolidado como una herramienta clave en la detección de fraudes, con el uso de algoritmos como redes neuronales, árboles de decisión y SVM para identificar transacciones fraudulentas en distintos escenarios, como el uso de tarjetas de crédito y la elaboración de estados financieros. La precisión de estos modelos depende directamente de la calidad de los datos utilizados en su entrenamiento. Datos desordenados o sin procesar pueden llevar a resultados imprecisos y sesgados. Por ello, en este enfoque, la limpieza y preparación de los datos fueron pasos esenciales para garantizar la fiabilidad y precisión del modelo desarrollado para la detección de fraudes.

Basándose en investigaciones previas, Xiuguo & Shengyong (2022) en su estudio introduce un nuevo conjunto de variables financieras y no financieras, identificadas mediante técnicas de ML. Estas variables se organizan en diez categorías principales (solventía, actividad, rentabilidad, EVA (Valor Económico Agregado), liquidez, capacidad de desarrollo, nivel de riesgo, ratio de estructura, índice por acción y valor de mercado) y se desglosan en un total de 58 indicadores específicos.

Este enfoque innovador proporciona una perspectiva más completa y detallada para analizar el desempeño financiero y detectar posibles irregularidades.

En la literatura existente sobre este tema se presenta una variedad de enfoques en cuanto a la selección de variables. Algunos estudios se centran exclusivamente en variables financieras, mientras que otros priorizan las variables no financieras. Sin embargo, un número creciente de investigaciones combinan ambas tipologías de variables para obtener una visión más completa del fenómeno (Chen et al., 2014). Las variables más comunes utilizadas en estos experimentos son cuentas contables, transacciones y fechas.

Bakumento y Elragal (2022), utilizan un total de 32,100 transacciones, 31,952 de ellas corresponden a datos etiquetados originales extraídas del libro mayor de empresas anónimas y 148 son entradas sintéticas, las cuales fueron utilizadas para entrenar los diferentes modelos de aprendizaje supervisado y no supervisado; el modelo con mejor rendimiento fue Random Forest con una precisión del 99,25%, detectando todas las transacciones sospechosas.

Lei et al. (2022), para su investigación, utilizan conjuntos de datos históricos de estados financieros de empresas anónimas. Para mejorar la precisión de los modelos de aprendizaje y evitar el sobre ajuste de estos, las variables utilizadas se simplifican con técnicas de reducción de dimensionalidad. De dichas variables se incluyeron ratios financieros, como indicadores de crecimiento de ventas, inventarios o cuentas por cobrar. También se analizaron diferencias entre los resultados esperados y los reales en ventas y costos. Por último, se integraron variables cualitativas, como oportunidades para cometer fraude, prácticas de auditoria en el análisis de anomalías contables, patrones históricos y evaluación de los procesos contables internos.

Las redes neuronales tienen mayor precisión para detectar patrones inusuales, mientras que las redes bayesianas son utilizadas para predecir situaciones. El modelo que arrojó mayor precisión en la investigación de Lei et al. (2022) fue el árbol de decisión con un 98%. Papík & Papíková (2022) emplearon variables financieras basadas en el modelo Beneish M-Score, una herramienta matemática que fue creada para detectar la probabilidad de la manipulación de ingresos o sobreestimación de los pasivos en las empresas, este modelo emplea ocho ratios

financieros y es utilizado frecuentemente por auditores y analistas financieros para detectar fraudes financieros. Los modelos utilizados obtuvieron una precisión de hasta el 91% en la detección de anomalías contables y falsos positivos.

Tabla 3

Caracterización de modelos Machine Learning para detección de fraudes financieros

Autor	Modelo de investigación	Precisión en %	Clasificación de variables	Descripción de las variables
Alwadain & Muneer (2023)	XGBClassifier	99,60%	Financiero	Transacciones / Terceros / Fechas /Ingresos en efectivo / Saldos iniciales antes de transacción / Nuevo saldo después de la transacción
	NuSVC	99,00%		
	KNeighborsClasificado	96,00%		
	ExtraTreesClassifier	93,00%		
	LGBMClassifier	90,00%		
	Análisis Discriminante Cuadrático	90,00%		
	SVC	89,00%		
	Random Forest Classifier	89,00%		
	SGDClassifier	82,00%		
	Clasificador de ensacado	81,00%		
	BernoulliNB	81,00%		
	Decision TreeClassifier	78,00%		
Bakumenko & Plagal (2022)	ExtraTreesClassifier	72,00%	Financiero	Número de cuenta, signo débito/crédito, origen del sistema. Número de cuenta, signo débito/crédito, origen del sistema. Número de cuenta, signo débito/crédito, origen del sistema. Número de cuenta, signo débito/crédito, origen del sistema. Número de cuenta, signo débito/crédito, origen del sistema. Número de cuenta simplificado, sistema de origen (datos preprocesados). Representación comprimida de atributos como número de cuenta y sistema.
	DummyClassifier	50,00%		
	Random Forest	99.25%		
	SVM (Máquinas de Soporte Vectorial)	96.50%		
	Regresión Logística	94.32%		
	Decision Trea	98.59%		
	Naïve Bayes	59.52%		
	Isolation Forest	94.41%		
	Autoencoder	94.41%		

Autor	Modelo de investigación	Precisión en %	Clasificación de variables	Descripción de las variables
Chen & Wu (2022).	RUSBoost (Antes del reajuste)	63,00%	Financiero	Efectivo e inversiones a corto plazo / Cuentas por cobrar / Inventarios / Activos Tangibles Totales / Activos corrientes / (De 2007 a 2017) Propiedades de inversión + Activos financieros comerciales + Valores disponibles para la venta + Inversiones mantenidas hasta el vencimiento + Inversiones de capital a largo plazo / cuentas por pagar / Impuestos sobre la renta a pagar / Pasivos corrientes totales / Patrimonio neto / Acciones preferentes / ingresos de operación /Gastos de Venta + Gastos de Administración + Gastos Financieros
	Impulso ruso	64,70%		
	Regresión logística	61,70%		
	SVM	67,60%		
	AdaBoost	70,60%		
	Apilado	76,50%		
Chen, Goo & Shen (2014).	Bosque aleatorio	70,60%	Financiero	Cuentas por cobrar/activos totales. Existencias/activos corrientes. Múltiplos de protección de intereses. Ratio de endeudamiento. Ratio de flujo de caja. Volumen de negocios de cuentas por pagar. Utilidad de operación/utilidad de operación del último año >1.1.
	XGBoost	72,50%		
	C5.0	93.94%		
	Logístico	83.33%		
Hajek & Henriques (2017).	SVM	78.79%	No Financiero	Ratio de prenda de acciones de los directores y supervisores.
	Stacking	95,10%	Financiero	Activos totales / Ingresos / Acciones en poder de fondos mutuos / Acciones en manos de personas con información privilegiada / Ratios de rentabilidad / Utilidad neta / Margen neto / Margen operativo / Rentabilidad de los fondos propios / Rentabilidad de activos / Ganancias por acciones
	C4.5	91,20%		
	SVM	78,70%		
	BBN	90,30%		
	MLP	80,00%		
	ID3	73,60%		
	CART	92,50%		
	LR	89,60%		
	PNN	90,20%		
	LDA	87,80%		
	Text mining + SVM	82,00%	No Financiero	Tenencias de información / Ratios de reinversión
	Text mining	75,40%		
	Voting	88,90%		

Autor	Modelo de investigación	Precisión en %	Clasificación de variables	Descripción de las variables
Lei et al. (2022)	Redes neuronales	93.2%	Financiero	Ratios contables como deuda/activos, margen neto, retorno sobre activos (ROA), y flujo de caja operativo.
			No Financiero	Comportamientos históricos de las empresas, patrones detectados en reportes previos de fraude.
	Redes Bayesianas	90.4%	Financiero	Datos de ingresos, costos operativos, desviaciones en cuentas por cobrar e inventarios.
			No Financiero	Variables cualitativas que reflejan la probabilidad condicional de fraude, como patrones de transacciones sospechosas o relaciones entre datos.
	Árbol de decisión	98,00%	Financiero	Ratios clave (días de inventario, utilidad bruta/ventas, rotación de activos).
			No Financiero	Variables categóricas derivadas de análisis de comportamiento, como cambios abruptos en políticas contables o alteraciones en la periodicidad de reportes.
	Naïve Bayes	75.8%	Financiero	Totales de ingresos y gastos
			No Financiero	Clasificaciones simples de registros basadas en probabilidades de ocurrencia de eventos fraudulentos conocidos.
	Nearest Neighbor (KNN)	79,00%	Financiero	Ratios financieros
			No Financiero	Comparación de patrones históricos y características operativas para identificar similitudes entre entidades sospechosas.
			Financiero	Ratios contables como deuda/activos, margen neto, retorno sobre activos (ROA), y flujo de caja operativo.
			No Financiero	Comportamientos históricos de las empresas, patrones detectados en reportes previos de fraude.
			Financiero	Datos de ingresos, costos operativos, desviaciones en cuentas por cobrar e inventarios.
			No Financiero	Variables cualitativas que reflejan la probabilidad condicional de fraude, como patrones de transacciones sospechosas o relaciones entre datos.

Autor	Modelo de investigación	Precisión en %	Clasificación de variables	Descripción de las variables
Papik & Papiková (2022)	Logistic Regression (LR)	71-80%	Financieras	Variables tradicionales como Ratio corriente, ratio deuda/patrimonio y ratio de rentabilidad bruta; identifican patrones anómalos en estados financieros.
	Discriminant Analysis (DA)	62-82%	Financieras	Uso de índices como Leverage Index, Return on Equity (ROE) y Current Asset Turnover Ratio, diseñados para diferenciar entre empresas fraudulentas y no fraudulentas.
	Neural Network (NN)	83-91%	Financieras	Modelo basado en todas las variables seleccionadas, destacando ratios como Índice de crecimiento de ventas, índice de calidad de activos y índice de margen bruto.
	Decision Tree (DT)	86-89%	Financieras	Estructura jerárquica de decisiones basada en variables como Índice de días de ventas en cuentas por cobrar y margen de beneficio neto en ventas para identificar casos fraudulentos.
	Random Forest (RF)	90-91%	Financieras	Construcción de múltiples árboles de decisión utilizando variables como Índice de Depreciación, Rotación de Activos Fijos, y Relación Deuda/Activo; modelo más preciso para la detección de fraude.
	Support Vector Machine (SVM)	77-84%	Financieras	Método de clasificación basado en índices financieros específicos, como índice de Calidad de Activos y Acumulaciones Totales sobre Activos Totales, para identificar discrepancias en los datos contables.
Zhao & Bai (2022)	LR	66.99%	Financiero	Utilidades no distribuidas / Efectivo pagado por activos fijos, activos intangibles y otros activos a largo plazo/ Obras en curso/ Depósito recibido/ Gastos no empresariales/Efectivo recibido en relación con las actividades operativas/ Inventario/Equidad minoritaria/ Impuestos y recargos comerciales/ Ganancia por enajenación de activos/ Beneficio primario por acción/ Resultado integral total atribuible a los accionistas minoritarios/Flujo de caja operativo (ingresos operativos)
	RF	98.96%		
	XGBoost	98.89%		
	SVM	97.61%		
	Despegue	98,26%		

Nota. Elaboración propia

Alwadain et al. (2023) emplearon 6.367.620 transacciones, de conjuntos de datos financieros sintéticos, las cuales contenían 13.213 transacciones fraudulentas y 6.354.407 no fraudulentas, para el entrenamiento de modelos de varios modelos aprendizaje, utilizaron un conjunto masivo de datos sintéticos, alcanzando un 99.3% con KNeighbors Classifier, lo que resalta la importancia del tamaño y la calidad del dataset en la construcción de modelos robustos.

Chen & Wu (2022) utilizaron para sus experimentos variables financieras, en las cuales se tuvieron en cuenta ratios financieros como el margen bruto, rotación de inventario, cuentas contables, ingresos, gastos, activos, pasivos, flujo de efectivo, entre otras; también se utilizaron variables relacionadas con el precio de las acciones y variables cualitativas donde se detectaban si existían fraudes financieros, en total emplearon 28 conjuntos de datos de empresas que tenían relación acorde a su tamaño e industria, logrando una precisión de hasta el 76%.

Chen et al. (2014) para su estudio, seleccionaron 66 empresas FFS cotizadas en bolsa entre los años 1998 y 2012, según datos del Taiwan Economic Journal (TEJ). A cada una de estas empresas se le asignó una empresa “normal” como par, resultando en una muestra total de 132 empresas. Se utilizaron 29 variables, tanto financieras como no financieras, para construir el modelo de clasificación. Para garantizar la robustez del modelo, se empleó una metodología de validación cruzada, dividiendo los datos en un conjunto de entrenamiento (50%) y un conjunto de prueba (50%). Además, se realizaron tres pruebas adicionales de validación cruzada para evaluar la estabilidad del modelo, que alcanzaron un nivel de precisión del 93,94% combinando variables financieras y no financieras.

Hajek & Henriques (2017) exploró la posibilidad de mejorar la detección del fraude financiero al analizar tanto las cifras financieras tradicionales como el lenguaje utilizado en los informes anuales. Se evidenció una menor frecuencia de palabras negativas en los informes, lo que podría indicar empresas honestas. Sin embargo, para identificar con precisión a las empresas fraudulentas, es fundamental combinar esta información con otros datos, como las previsiones de los analistas, ya que no se exploró a fondo técnicas de análisis de texto más sofisticadas, como el etiquetado de partes del discurso o la extracción de conceptos, que podrían aportar información adicional.

El estudio presentado por Zhao & Bai (2022) con un modelo de predicción que emplea técnicas de ML para clasificar empresas según sus características financieras. Se seleccionaron indicadores clave, agrupados en categorías como flujo de caja, capacidad operativa y rentabilidad, para entrenar modelos de clasificación como Random Forest, Gradient Boosting y XGBoost, entre otros. Los resultados obtenidos demuestran que el modelo de conjunto, que combina múltiples algoritmos, logra una alta precisión en la detección de fraudes financieros.

DISCUSIONES

El análisis de los conjuntos de datos aplicados en el aprendizaje automático para la detección de fraudes en los estados financieros revela una comprensión detallada de las diversas tipologías de fraudes financieros. Según la literatura, Cárdenas et al. (2021) identifican dos tipos principales de fraude: interno y externo. El fraude interno es perpetrado por empleados que buscan beneficios personales mediante el uso indebido de los recursos de la empresa. Por otro lado, el fraude externo es cometido por personas ajenas a la empresa, como proveedores o clientes, y puede incluir desde la presentación de facturas falsas hasta el robo de información confidencial.

La ACFE (2024) amplía esta clasificación al categorizar los fraudes en tres tipos principales, siendo la malversación de activos la más común, representando el 89% de los casos. Esta categoría incluye subtipos como el *skimming*, el *larceny*, el fraude en reembolsos de gastos, el robo de activos no monetarios y la manipulación de cheques y pagos. Estas prácticas fraudulentas presentan una amenaza significativa para la estabilidad financiera de las organizaciones, independientemente del sector, y requieren la implementación de medidas preventivas robustas.

La integración de técnicas de aprendizaje automático en la detección de fraudes permite analizar grandes volúmenes de datos para identificar patrones inusuales y comportamientos sospechosos, facilitando la prevención y mitigación del fraude financiero. Las herramientas de machine learning no solo ayudan en la detección temprana de actividades fraudulentas, sino que también mejoran la precisión y eficiencia en la identificación de fraudes, contribuyendo a la protección de los activos empresariales y al fortalecimiento de la confianza en los sistemas financieros.

La corrupción, según la ACFE (2024), representa el 48% de los fraudes financieros e incluye subtipos como sobornos, extorsión económica, conflictos de interés y esquemas de compra. Estos tipos de fraude se caracterizan por conductas indebidas que buscan beneficios personales o económicos, y siguen siendo prevalentes a nivel global a pesar de las leyes internacionales diseñadas para combatirlos (Márquez, 2018). Estos fraudes a los estados financieros, aunque menos común, generan las mayores pérdidas significativas. Este tipo de fraude implica la manipulación intencional de los estados financieros, con subtipos como la sobreestimación de ingresos, la subestimación de pasivos y las revelaciones inapropiadas. Estas prácticas buscan presentar una situación financiera más favorable de la empresa, lo cual puede engañar a inversores y reguladores (ACFE, 2024).

Esta discusión permite determinar que la detección de fraudes financieros puede ser extremadamente compleja debido a la falta de evidencia contable clara.

Sin embargo, la implementación de técnicas de aprendizaje automático permite analizar grandes volúmenes de datos y detectar patrones sospechosos, facilitando la identificación temprana de actividades fraudulentas. Estas herramientas mejoran la precisión en la detección y aumentan la eficiencia en la protección de los activos empresariales, fortaleciendo la confianza en los sistemas financieros.

CONCLUSIONES

Los fraudes, tanto internos como externos, representan una amenaza significativa para las organizaciones y revelan una realidad alarmante en diversos sectores. Por un lado, los fraudes internos, cometidos por empleados, se caracterizan por el uso indebido de los recursos de la empresa para beneficio personal. Estos pueden ir desde el robo directo de dinero hasta la manipulación de registros contables. Por otro lado, los fraudes externos, perpetrados por personas ajenas a la organización, buscan un enriquecimiento ilícito a través de diversas tácticas, como la presentación de facturas falsas o el robo de información confidencial.

Es importante destacar que los fraudes no se limitan a pequeños actos, sino que pueden escalar a complejas estafas financieras que ponen en riesgo la estabilidad de empresas e individuos, como lo es la aplicación del ML para poder realizar análisis a la diversidad de esquemas fraudulentos que se pueden evidenciar, los cuales van desde la evasión fiscal hasta las estafas electrónicas, lo que exige que

las organizaciones implementen medidas preventivas sólidas para protegerse. En este sentido, la malversación de activos emerge como la modalidad más común de fraude, lo que subraya la importancia de fortalecer los controles internos y promover una cultura de integridad en las empresas y el uso de inteligencia artificial para poder identificarlos.

El fraude a los estados financieros genera un sin fin de pérdidas económicas significativas y daños sociales. Aunque se han estudiado a fondo las causas y consecuencias de las irregularidades contables, aún no se ha desarrollado una herramienta eficaz para predecir el fraude intencional por parte de los directivos. Mientras que los métodos estadísticos se basan en pruebas de hipótesis y relaciones causales establecidas, los modelos de ML se centran en maximizar el rendimiento predictivo. Aunque esto puede conducir a resultados precisos, también puede generar modelos que exploten correlaciones espurias y dificulten la interpretación de los resultados.

Los estudios sobre detección de fraudes en estados financieros, utilizando técnicas de aprendizaje automático, revelan un potencial significativo para mejorar la precisión y eficiencia en la identificación de anomalías financieras. Investigaciones como las de Dutta et al. (2017) demuestran que algoritmos de minería de datos y clasificación pueden identificar patrones inusuales en los datos financieros que podrían indicar algún tipo de fraude, como las reexpresiones. Además, el uso de lenguajes de programación como Python y bibliotecas como Scikit-learn facilita la construcción y evaluación de modelos predictivos, permitiendo anticipar futuras irregularidades. Estas investigaciones apuntan hacia un futuro donde las técnicas de aprendizaje automático desempeñarán un papel cada vez más importante y crucial en la prevención y detección de fraudes en los estados financieros, brindando a las organizaciones herramientas más avanzadas y eficaces para proteger sus activos.

La selección y caracterización de variables es una etapa fundamental para la efectividad de los modelos de detección de fraudes financieros, los estudios analizados destacan que las combinaciones de variables financieras y no financieras, como en el caso de Chen et al. (2014), que logró una precisión del 93,94%, ofrecen una perspectiva más integral. Por otro lado, enfoques como el de Alwadain et al. (2023), con un gran volumen de datos sintéticos, alcanzaron un 99,3% de precisión al emplear el clasificador KNeighbors, demostrando la importancia de datasets amplios y balanceados.

REFERENCIAS

- Alwadain, A., Ali, R. F., & Muneer, A. (2023). Estimating financial fraud through transaction-level features and machine learning. *Mathematics*, 11(5), Article 1184. <https://doi.org/10.3390/math11051184>
- Association of Certified Fraud Examiners (ACFE). (2024). *Occupational fraud 2024: A report to the nations*. <https://www.acfe.com/-/media/files/acfe/pdfs/rtn/2024/2024-report-to-the-nations.pdf>
- Bakumenko, A., & Elragal, A. (2022). Detecting anomalies in financial data using machine learning algorithms. *Systems*, 10(5), Article 130. <https://doi.org/10.3390/systems10050130>
- Cárdenas Gómez, R., Ruiz Malbarez, M., Pozo Ceballos, S. (2021). Proyección de la contabilidad y la auditoría forense ante el fraude financiero. *Cofin Habana*, 15(1), 1–14. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612021000100003
- Chen, S., Goo, Y.-J. J., & Shen, Z.-D. (2014). A Hybrid Approach of Stepwise Regression, Logistic Regression, Support Vector Machine, and Decision Tree for Forecasting Fraudulent Financial Statements. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/968712>
- Chen, Y., & Wu, Z. (2022). Financial fraud detection of listed companies in China: A machine learning approach. *Sustainability*, 15(1), Article 105. <https://doi.org/10.3390/su15010105>
- Conejo González, M., & Díaz, M. (2009). *El caso Enron: Wendy*. El Cid Editor
- Deloitte España. (2022). *Encuesta fraude 2022*. <https://www.deloitte.com/es/es/services/risk-advisory/research/encuesta-fraude.html>
- Dutta, I., Dutta, S., & Raahemi, B. (2017). Detecting financial restatements using data mining techniques. *Expert Systems with Applications*, 90, 374–393. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.08.030>

Gómez García, S. L., y Leyva Ferreiro, G. (2019). Utilidad de los modelos de predicción de fracaso y su aplicabilidad en las cooperativas. *Cofin Habana*, 13(Supl. 1), Artículo e13. <http://scielo.sld.cu/pdf/cofin/v13s1/2073-6061-cofin-13-s1-e13.pdf>

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press. <https://www.deeplearningbook.org/>

Hajek, P., & Henriques, R. (2017). Mining corporate annual reports for intelligent detection of financial statement fraud: A comparative study of machine learning methods. *Knowledge-Based Systems*, 128, 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.05.001>

Hernandez Aros, L., Bustamante Molano, L. X., Gutierrez-Portela, F., Moreno Hernandez, J. J., & Rodríguez Barrero, M. S. (2024). Financial fraud detection through the application of machine learning techniques: A literature review. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), Article 22, 1–22. <https://doi.org/10.1038/s41599-024-03606-0>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill. Recuperado de https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

International Accounting Standards Board (IASB). (2009). *NIIF 1: Primera aplicación de las NIIF*. Recuperado de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cr/Documents/audit/documentos/niif-2019/NIIF%201%20-%20Adopci%C3%B3n%20por%20Primera%20Vez%20de%20las%20Normas%20Internacionales%20de%20Informaci%C3%B3n%20Financiera.pdf>

Kootanaee, A. J., Aghajan, A. A. P., & Shirvani, M. H. (2021). A hybrid model based on machine learning and genetic algorithm for detecting fraud in financial statements. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 14(2), 183–201. <https://doi.org/10.22094/JOIE.2020.1877455.1685>

Lei, X., Mohamad, U., Sarlan, A., Shutaywi, M., Daradkeh, Y., & Mohammed, H. (2022). Development of an intelligent information system for financial analysis dependent on supervised machine learning algorithms. *Information Processing and Management*, 59(5), Article 103036. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103036>

Márquez, R. H. (2018). *Auditoría forense*. Instituto Mexicano de Contadores Públicos. ISBN 978-607-855-263-4

Papík, M., & Papíková, L. (2022). Detecting accounting fraud in companies reporting under US GAAP through data mining. *International Journal of Accounting Information Systems*, 45, Article 100559. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2022.100559>

PricewaterhouseCoopers (PwC). (2023). *Encuesta regional de crimen económico y fraude 2023*. Recuperado de <https://www.pwc.com/co/es/publicaciones/encuesta-crimen-fraude-economico.html>

Shou, M., Bao, X., & Yu, J. (2023). An optimal weighted machine learning model for detecting financial fraud. *Applied Economics Letters*, 30(4), 410–415. <https://doi.org/10.1080/13504851.2021.1989367>

Xiuguo, W., & Shengyong, D. (2022). An analysis on financial statement fraud detection for Chinese listed companies using deep learning. *IEEE Access*, 10, 22516–22532. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3153478>

Zhao, Z., & Bai, T. (2022). Financial fraud detection and prediction in listed companies using SMOTE and machine learning algorithms. *Entropy*, 24(8), Article 1157. <https://doi.org/10.3390/e24081157>

Zupan, M., Budimir, V., & Letinic, S. (2020). Journal entry anomaly detection model. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 27(4), 197–209. <https://doi.org/10.1002/isaf.1485>

**Cultivo de Colla Negra (*Smallanthus Pyramidalis* (Triana)
H. Rob.), como Alternativa de Alimentación Bovina, en
el Centro Internacional de Producción Limpia Lope Sena
Regional Nariño**

Diana María Guerrero Pérez

Magíster en Recursos Hídricos

Mail: dmguerrerop@sena.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2469-170X>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000486680

Filiación Institucional: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA Regional Nariño.

Juanita Alexandra Agreda Bastidas

Tecnóloga en Gestión de Empresas Agropecuarias

Mail: agredabastidas@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0651-1290>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002278995

Filiación Institucional: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA Regional Nariño.

Hugo Alfonso Santacruz Sarasty

Técnico en cultivos Agrícolas

Mail: hugoalfa20@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2192-7550>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002278979

Filiación Institucional: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA Regional Nariño.

RESUMEN

Este capítulo analiza el uso de Colla negra (*Smallanthus pyramidalis*) como una opción viable para la alimentación bovina en el contexto de la agricultura sostenible. Este arbusto es originario de Sudamérica, particularmente en Colombia, Ecuador y Venezuela, y se destaca por su habilidad para desarrollarse en regiones altoandinas y su valor en la conservación ambiental.

La investigación presentada en este capítulo aborda varios aspectos clave que subyacen al cultivo y la explotación de la colla negra. Es relevante en este contexto, sobre todo, el examen de los métodos de propagación; ya sea sexual, a partir de semillas, o asexual, a través de estacas. El análisis tiene como objetivo identificar las prácticas de cultivo más eficientes para aumentar la producción de biomasa. Es igualmente relevante considerar las prácticas agronómicas específicas, es decir, la fertilización orgánica y la gestión cultural del cultivo, que garantizan el crecimiento ideal y la alta producción de forraje. En particular, la fertilización orgánica se considera como una de las estrategias centrales en el enfoque agroecológico. De tal manera, no solo puede mejorar la fertilización del suelo, sino también la reducción de la dependencia de los insumos externos.

En general, los resultados de este estudio muestran un aumento significativo de la producción de forraje. Por lo tanto, sugieren que la colla negra debe ser considerada como una opción de alimentación prometedora, que puede ser utilizado para diversificar la alimentación de los animales, reducir la dependencia de los suministros externos y promover un uso más eficiente y ecológico de los recursos naturales.

Palabras Clave: Colla negra, *Smallanthus pyramidalis*, alimentación bovina, agricultura sostenible, fertilización orgánica, sistemas de producción ganadera.

Camilo Navarro Bastidas

Tecnólogo en Mecanización Agrícola

Mail: kaminabas6@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1441-1317>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002279033

Filiación Institucional: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA Regional Nariño.

Roiman David Rosero Guevara

Pasante Ingeniería Agronómica

Mail: roimanrosero@udenar.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1334-4553>

CvLAC: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001988811

Filiación Institucional: Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA Regional Nariño.

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Guerrero Pérez, D. M., Agreda Bastidas, J. A., Santacruz Sarasty, H. A., Navarro Bastidas, C., y Rosero Guevara, R. D. (2024). Cultivo de colla negra (*smallanthus pyramidalis* (triana) H. Rob.), como alternativa de alimentación bovina, en el centro internacional de producción Limpia Lope Sena regional Nariño en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 492-544). Editorial CIDE Ecuador

CULTIVATION OF COLLA NEGRA (*Smallanthus pyramidalis* (Triana) H. Rob.), AS AN ALTERNATIVE FOR BOVINE FEEDING, IN THE CENTRO INTERNACIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA LOPE SENA REGIONAL NARIÑO

ABSTRACT

This chapter analyzes the use of Colla negra (*Smallanthus pyramidalis*) as a viable option for cattle feed in the context of sustainable agriculture. This shrub is native to South America, particularly in Colombia, Ecuador and Venezuela, and stands out for its ability to grow in high Andean regions and its value in environmental conservation.

The research presented in this chapter addresses several key aspects underlying the cultivation and exploitation of Colla negra. Relevant in this context, above all, is the examination of propagation methods; either sexual, from seeds, or asexual, through cuttings. The analysis aims to identify the most efficient cultivation practices to increase biomass production. It is equally relevant to consider specific agronomic practices, that is, organic fertilization and cultural management of the crop, which guarantee ideal growth and high forage production. In particular, organic fertilization is considered as one of the central strategies in the agroecological approach. As such, it can not only improve soil fertilization but also reduce dependence on external inputs.

Overall, the results of this study show a significant increase in forage production. Therefore, they suggest that colla negra should be considered as a promising feeding option, which can be used to diversify animal feed, reduce dependence on external supplies and promote a more efficient and ecological use of natural resources.

Keywords: Colla negra, *Smallanthus pyramidalis*, Bovine Feeding, Sustainable Agriculture, Organic Fertilization, Livestock Production Systems.

INTRODUCCIÓN

La ganadería en Nariño, Colombia, es un sector fundamental para la economía local y nacional, destacándose por su producción en un entorno geográfico y climático diverso, lo que influye en los sistemas de producción y en la calidad del forraje disponible, la alimentación del ganado es un factor clave para la productividad; esto es especialmente importante en un contexto donde los costos de alimentación son uno de los mayores gastos en la producción bovina (Botia-Carreño, 2019).

El empleo de especies arbóreas y arbustivas se presenta como una alternativa para las dietas de bovinos, un claro ejemplo es *S. pyramidalis*, es una planta que, aunque no es ampliamente conocida fuera de las regiones donde se cultiva, tiene un gran potencial en la alimentación animal y en la agricultura sostenible, particularmente en zonas altoandinas; Su relevancia en el contexto agrícola actual radica en su capacidad para adaptarse a condiciones difíciles y en su contribución a la diversificación de las fuentes de forraje.

En un mundo donde la sostenibilidad se ha convertido en un imperativo, el uso de cultivos que puedan crecer en terrenos marginales y que, además, promuevan la restauración ecológica es de suma importancia. *Smallanthus pyramidalis*, nativa de Sudamérica y extendida principalmente en Colombia, Ecuador y Venezuela, ofrece varias ventajas desde un punto de vista agroecológico; su ciclo de cultivo permite su integración en sistemas agrícolas que buscan reducir la dependencia de insumos externos, como los fertilizantes químicos.

El manejo de la colla negra a través de métodos orgánicos representa un enfoque que mejora la fertilidad del suelo de manera natural, también alinea la producción agrícola con las tendencias globales hacia la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental. (Lerma-Lasso et al., 2023); en términos de producción de forraje, la implementación de *S. Pyramidalis* en sistemas de producción ganadera, su cultivo promueve la biodiversidad, mejora la resiliencia de los sistemas de producción y contribuye a la restauración de suelos degradados.

Esto es relevante en un contexto donde la agricultura debe adaptarse a desafíos como el cambio climático y la degradación del suelo, lo que hace de la colla negra una planta de interés estratégico para la agricultura del futuro; por lo tanto,

este capítulo no solo examina los aspectos técnicos del cultivo de *Smallanthus pyramidalis*, sino que también sitúa esta planta en el marco más amplio de la agricultura sostenible, destacando su papel potencial en la creación de sistemas agrícolas más resilientes, diversos y sostenibles en las regiones altoandinas.

MARCO TEÓRICO

La ganadería lechera en Colombia es un sector fundamental para la economía del país, representando una fuente crucial de ingresos. Además de abastecer la demanda nacional de leche, la actividad genera ingresos para los productores, estimula la economía local y crea oportunidades laborales a la población rural, especialmente en las zonas de alta montaña, donde el 90% de los productores son pequeños ganaderos; para estos pequeños productores, la actividad ganadera es fundamental para su sustento y seguridad alimentaria, ya que la leche aporta un flujo de dinero quincenal o incluso diario, que les permite acceder a bienes y servicios, mejorar sus condiciones de vida y contribuir al desarrollo de sus comunidades (Lerma-Lasso et al., 2023).

Nariño, un departamento situado en el suroccidente de Colombia, donde la actividad ganadera lechera se destaca como uno de los pilares económicos de la región. Esta actividad no solo es fundamental para la economía local, sino que también desempeña un papel crucial en la vida de las comunidades rurales, ya que la leche aporta un flujo de dinero quincenal o incluso diario que posibilita garantizar la adquisición de bienes y servicios de las familias (Botia-Carreño, 2019).

Los sistemas especializados de producción de leche en Nariño se desarrollan principalmente en el altiplano andino bajo condiciones de trópico de altura (1800 a 3000 msnm), principalmente en las subregiones Centro y Ex provincia de Obando como la de mayor producción del departamento con 182.838 bovinos, representando el 43.29%, esto debido a que comprende los municipios pertenecientes a la cuenca lechera, que registran el mayor número de ganaderías dedicadas a la producción de leche en Nariño. Se estima que esta actividad beneficia a aproximadamente 30,000 familias en el departamento (Gobernación de Nariño, 2024).

El Inventario del Hato Bovino de los años 2019-2023 para el departamento de Nariño registra un promedio de 422.340,3 cabezas de ganado. Estadísticamente, se

encuentra que el 96% de la ganadería se concentra en minifundio (Gobernación de Nariño, 2024), este sistema agrícola es caracterizado por la pequeña escala de las explotaciones; la mayoría de los productores de esta zona tiene una superficie de tierra menor a cinco hectáreas; 60 % de los predios poseen ocho vacas o menos (Lerma-Lasso et al., 2023).

Por otro lado, la región se caracteriza por su clima y sus pastos nativos, de acuerdo con Lerma-Lasso et al. (2023). El 80 % de sus áreas están constituidas principalmente de una base de monocultivos de kikuyo *Cenchrus clandestinus* (*Hochst. ex Chiov.*) Morrone. Sin embargo, esto afecta la biodiversidad y la calidad nutritiva, debido principalmente al manejo deficiente de las praderas en relación con el sobrepastoreo, renovación de praderas, o bien, por su susceptibilidad a heladas y sequías. Lo cual provoca que el productor recurra al uso de alimentos concentrados que incrementan los costos de producción (Nieto et al., 2021).

Dado que los altos costos de los insumos alimenticios para la alimentación bovina representan un desafío significativo para los productores lecheros de Nariño, es fundamental explorar alternativas más asequibles y sostenibles (Lerma-Lasso et al., 2023). Una opción viable es promover el cultivo de especies forrajeras y arbóreas nativas de la región, las cuales pueden proporcionar alimento de calidad para el ganado a un costo económico más bajo (Nieto et al., 2021).

Estas alternativas locales no solo ayudan a reducir los gastos de los productores, también contribuyen a la preservación de la biodiversidad; al utilizar recursos vegetales adaptados a las condiciones climáticas y edáficas de Nariño, se puede lograr una producción más eficiente, lo que a su vez mejora la sostenibilidad a largo plazo del sector lechero (Nieto et al., 2021). Además, el fomento de cultivos forrajeros y arbóreos nativos, los cuales contribuyan a mejorar la oferta de alimento a un menor valor económico, permitiendo así diversificar la alimentación bovina en sistemas de producción (Cárdenas et al., 2007).

GENERALIDADES DE (*SMALLANTHUS PYRAMIDALIS* (TRIANA) H. ROB.)

Smallanthus pyramidalis es un arbusto nativo de Suramérica, especialmente en Colombia, Ecuador y Venezuela (Guzmán y Barrera, 2011). En Colombia,

se conoce como arboloco, camargo o colla negra, y se encuentra de manera natural en la zona altoandina, entre las cordilleras Central y Oriental, en potreros y cerca de cuerpos de agua (Cardona et al., 2022a); además, presenta condiciones óptimas para diferentes especies de flora y fauna local.

Originaria de los Andes colombianos, esta especie ha captado la atención de la investigación científica por su valor forrajero y su potencial para mejorar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos, el cultivo de colla negra representa una estrategia viable y sostenible para mejorar la eficiencia de los sistemas de producción animal en zonas altoandinas (Agronet, 2020).

Esta especie arbustiva es altamente resistente a las condiciones climáticas que caracterizan a estas regiones. Convierte a la Colla Negra en una opción para diversificar la producción forrajera y asegurar la alimentación de sus animales durante todo el año. Presenta un ciclo de vida perenne; además, se caracteriza por su notable capacidad de rebrote, lo que posibilita realizar múltiples cosechas anuales sin necesidad de realizar resiembra, aumentando así la eficiencia y sostenibilidad del cultivo lo que le permite ofrecer forraje de manera continua y así disminuir la dependencia de pastos tradicionales, que suelen ser estacionales o tener menor valor nutricional en ciertas épocas del año. (Patiño y Burgos, 2010).

El cultivo de la colla negra (*Smallanthus pyramidalis*) ha sido tradicionalmente utilizado en algunas regiones de América Latina, especialmente en zonas montañosas, donde crece de manera silvestre. Este arbusto ha sido valorado por sus propiedades medicinales y, en menor medida, como forraje para animales. Sin embargo, su potencial como alimento para ganado ha sido subestimado y poco investigado, lo que presenta una oportunidad para explorar su cultivo sistemático como una alternativa sostenible en la alimentación bovina.

Tabla 1

Clasificación taxonómica de *Smallanthus pyramidalis*

Reino:	Plantae
Phylum:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Género:	Smallanthus
Epíteto específico:	pyramidalis

Nota. Instituto de Ciencias Naturales (ICN, 2007)

MORFOLOGÍA DE *SMALLANTHUS PYRAMIDALIS*

Smallanthus pyramidalis es una planta herbácea perenne de porte medio que se distingue por su rápido crecimiento y su notable forma piramidal. Alcanzando alturas que varían entre los 2 y 3 metros, este arbusto presenta una estructura ramificada que se expande en una disposición amplia y simétrica, otorgándole una silueta triangular característica (Belalcázar y Narváez, 2008).

TALLO

Posee un tallo recto, largo, delgado y cilíndrico, con nudos y entrenudos; sus ramas se insertan desde la parte media a superior del tallo, formando una copa piramidal (Guzmán y Barrera, 2011). La forma piramidal es una de sus características más notables; esta forma se define por una base más ancha que se va estrechando hacia la parte superior, lo que genera una estructura estable y resistente, la disposición de sus ramas juega un papel fundamental en esta configuración, ya que crecen en ángulos que favorecen una distribución uniforme del follaje; esto no solo maximiza la exposición al sol, sino que también optimiza el proceso de fotosíntesis, permitiendo que la planta aproveche al máximo la luz disponible para su crecimiento y desarrollo (Patiño y Burgos, 2010).

HOJAS

Son simples, opuestas y de gran tamaño, con una longitud que varía entre 20 a 30 cm de largo, lo que contribuye a su capacidad de producción de biomasa. Son hojas simples, opuestas, pecioladas, ovadas, acuminadas en el ápice y redondeadas en la base, con los márgenes aserrados. Las hojas son de color verde oscuro en el haz y verde claro en el envés; además, presentan tricomas (Vitali, 2017).

INFLORESCENCIA

Produce inflorescencias en forma de capítulos, que son pequeños racimos de flores. Estos capítulos se agrupan en racimos terminales; alcanzan un diámetro de 2 cm, presentando un color amarillo. Cada capítulo está compuesto por numerosas flores distribuidas sobre un disco. Pueden tener forma parecida a la de un tubo (tubulares) y/o la forma de una lengüeta (liguladas), que les dan un aspecto característico (Cardona et al., 2022a).

FRUTOS

El fruto se caracteriza morfológicamente por su tamaño; alcanza un diámetro aproximado de 2,5 mm; se clasifica como un aquenio, ya que contiene una sola semilla en su interior. Su forma es redondeada y presenta una coloración de café claro (Arbóreo, s.f.).

SEMILLA

La semilla presenta una longitud aproximada de 2 mm. Su forma es piramidal y posee una consistencia dura (Cardona et al., 2022a). Lo que les proporciona resistencia frente a condiciones ambientales desfavorables; su color marrón negruzco le permite camuflarse en el suelo, lo que dificulta su detección por parte de depredadores o factores externos que puedan dañarla (Arbóreo, s.f.).

REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

Para Cardona et al. (2022a), esta especie nativa crece entre los 2.000 y 3.000 m s. n. m. Para un crecimiento óptimo, *Smallanthus pyramidalis* requiere suelos bien

drenados y húmedos; la calidad del suelo es crucial, ya que su capacidad para absorber y retener agua influye en el desarrollo de la planta. Además, necesita abundante luz solar. Esta exposición solar es fundamental para maximizar la fotosíntesis y, por ende, la producción de biomasa.

A pesar de su adaptabilidad, es susceptible a varias condiciones adversas. Las heladas pueden afectar su crecimiento, especialmente en los primeros meses de establecimiento. Asimismo, los insectos chupadores representan una amenaza, ya que se alimentan de la savia de la planta, debilitándola y afectando su rendimiento. Los encharcamientos también son un problema, ya que el exceso de agua puede provocar pudrición de las raíces y dañar la planta (Guzmán y Barrera, 2011).

IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y AMBIENTAL

Smallanthus pyramidalis es utilizada en la restauración ecológica por su rápido crecimiento y los diversos servicios ecosistémicos que provee, como alimento para mamíferos, ser una especie melífera y contribuir a la regulación de la erosión, la retención de humedad del suelo y protección de zonas productoras de agua, regulando los márgenes hídricos, entre otros (Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2020). Como planta perenne, ayuda a prevenir la erosión del suelo, mejora la retención de agua y contribuye al mantenimiento de la biodiversidad en las áreas donde se cultiva. Su capacidad para crecer en suelos marginales también la convierte en una opción para la rehabilitación de suelos degradados (Guzmán y Barrera, 2011).

Además, desempeña un papel crucial en la biodiversidad de los ecosistemas altoandinos; su presencia es fundamental para la formación de hábitats que benefician a una variedad de especies de fauna, incluyendo polinizadores como abejas, gracias a sus llamativas flores amarillas que fomentan la interacción ecológica y contribuyen al equilibrio del ecosistema.

Es importante destacar que *S. pyramidalis* contiene cantidades moderadas de metabolitos secundarios como taninos y saponinas, los cuales han demostrado tener efectos beneficiosos cuando se incluyen en la alimentación de rumiantes, estos compuestos actúan como moduladores de la función ruminal, reduciendo específicamente la producción de metano, uno de los principales gases de efecto

invernadero emitidos por la ganadería (Cardona et al., 2022a).

Al disminuir las emisiones de metano a nivel ruminal, la incorporación de la colla negra en la dieta animal mejora la eficiencia productiva y la salud de los animales, también contribuye a mitigar el impacto ambiental de la ganadería, un sector que se considera uno de los mayores emisores de gases de efecto invernadero (GEI). Estudios han encontrado que especies forrajeras como *Smallanthus pyramidalis*, que contienen entre 0.5 a 6% de metabolitos secundarios en su materia seca, tienen el potencial de reducir significativamente la producción de metano cuando se utilizan en sistemas de alimentación bovina en las zonas altoandinas (Quiñones et al., 2020). Esto resalta el valor agregado que aporta esta especie nativa al ser una alternativa forrajera sostenible.

USOS

El arbusto Colla negra desempeña un papel multifacético en el ámbito ambiental, extendiendo sus beneficios más allá de su valor ecológico y cultural. Una de sus aplicaciones prácticas es en diseños silvopastoriles, donde se utiliza como componente para la creación de sistemas agroforestales sostenibles. Además, se emplea como cercas vivas, lo que no solo delimita espacios, sino que también ofrece una barrera natural, ayudando a proveer protección contra el viento y prevenir la erosión eólica (Guzmán y Barrera, 2011).

APLICACIONES EN SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN ANIMAL

En términos de ganadería, *Smallanthus pyramidalis* es ampliamente utilizada por su potencial como recurso forrajero en sistemas de producción bovina. Utilizada en sistemas silvopastoriles o corte y acarreo, también se utiliza en bancos forrajeros mixtos y cercas vivas. La colla negra ha sido evaluada en diferentes sistemas de alimentación animal, mostrando resultados prometedores en la mejora del rendimiento; se ha reportado que, a los 70 días de crecimiento, los arbustos pueden producir un promedio de 8 kg de forraje verde, lo que indica su capacidad para incrementar la oferta forrajera en las regiones altoandinas (Cardona et al., 2022b).

Su alto contenido proteico y energético contribuye a la sostenibilidad de la producción animal y la posiciona como una excelente fuente de forraje; lo que permite reducir la presión sobre los pastos naturales. Esto es especialmente importante en épocas de escasez de forraje, donde *S. pyramidalis* puede proporcionar una alternativa nutritiva y accesible.

OTROS USOS

Tiene usos medicinales, ya que sus hojas actúan como analgésico para dolores reumáticos. Se siembra en jardines y parques, además de servir como reciclador de material vegetal (Guzmán y Barrera, 2011).

ESTUDIO COMPARATIVO CON OTRAS ESPECIES FORRAJERAS

El estudio comparativo de diferentes especies se centra en diversos aspectos de su morfología, requerimientos ambientales, propagación y aplicaciones, con énfasis en su valor nutricional y aplicaciones en sistemas de producción animal. Para ello, se realizó un análisis comparativo de cuatro principales especies forrajeras presentes en el Trópico alto de Nariño, esto incluyen Botón de Oro (*Tithonia diversifolia*), Sauco (*Sambucus Nigra*), Tilo (*Sambucus Nigra subsp. Peruviana*) y Colla Negra (*Smallanthus Pyramidalis*), con base en la composición bromatológica de las especies de forrajera, utilizando el método de espectroscopía de refracción infrarroja proximal (NIRS) descrito por Cardona et al., (2022a), en el manual especies arbustivas con potencial forrajero en el trópico altoandino.

BOTÓN DE ORO (*TITHONIA DIVERSIFOLIA*)

Es una planta herbácea que alcanza hasta 5 metros. Crece entre 0 y 2,500 msnm en suelos poco fértiles, tolera la acidez y sombra parcial. Se propaga por estacas o semillas (estas últimas con baja viabilidad). Se usa como forraje, abono verde, tiene funciones ornamentales y ecológicas como proteger fuentes de agua y atraer fauna benéfica, nutricionalmente cuenta con 23 % MS de proteína cruda a los 75 días, siendo rico en fibra y energía, además de una producción de biomasa de 3,7 kg por arbusto (Cardona et al., 2022a).

SAUCO (*SAMBUCUS NIGRA*)

El Sauco es un arbusto que alcanza entre 5 y 20 metros, crece entre 1,400 y 3,000 msnm en suelos húmedos y moderadamente ácidos; se propaga por semillas o estacas. Se usa como forraje, sombra para animales, cortinas rompevientos, y para la producción de frutos. También tiene propiedades medicinales. Es rico en proteína (25,17 % MS a los 75 días) y fibra, aunque su lignina aumenta con la edad, con una producción de biomasa de 1,9 kg por arbusto (Cardona et al., 2022a).

TILO (*SAMBUCUS NIGRA SUBSP. PERUVIANA*)

El Tilo es un arbusto de 4 a 6 metros (hasta 12 metros). Crece entre 2,800 y 3,900 msnm en suelos ácidos y pedregosos, y tolera bajas temperaturas. Se propaga por estacas semileñosas. Se usa como forraje, barrera contra el viento, y por sus propiedades medicinales y para hacer insecticidas caseros. Tiene un alto contenido de proteína cruda (20,60 %MS a los 75 días) y buenos niveles de energía y lignina, producción de biomasa por arbusto de 1,4 kg (Cardona et al., 2022a).

COLLA NEGRA (*SMALLANTHUS PYRAMIDALIS*)

Nutricionalmente, ofrece 18,42 %MS de proteína cruda a los 75 días, con buenos niveles de fibra y energía, ideal para la producción de leche; con una producción de biomasa por arbusto de 6,9 kg (Cardona et al., 2022a). Además, de ser forraje, su cultivo favorece la sostenibilidad agrícola en las regiones altoandinas.

Cada especie presenta ventajas específicas en sistemas agropecuarios. En relación con su valor nutricional, *S. pyramidalis* se destaca por su alta producción de biomasa, lo que lo hace ideal para gran volumen de forraje. Por su parte, *T. diversifolia* posee un buen equilibrio entre biomasa y proteína, siendo quizás la opción más versátil. Si bien *S. nigra* contiene el mayor contenido de proteína cruda, produce menos biomasa; es excelente para mejorar la calidad proteica de la dieta. Finalmente, *S. nigra subsp. peruviana* es la especie menos eficiente, con los valores más bajos en biomasa como en proteína cruda.

ENFOQUE AGROECOLÓGICO

Para aumentar la sostenibilidad y productividad de la ganadería, es crucial reducir la presión que este sector ejerce sobre los recursos naturales y mitigar su contribución al cambio climático, los modelos convencionales de producción de forraje, basados en monocultivos de gramíneas y un uso excesivo de fertilizantes sintéticos, no son sostenibles a largo plazo. Es necesario generar alternativas que permitan una producción ganadera más eficiente y amigable con el ambiente.

La transición hacia una ganadería más sostenible en el trópico alto colombiano es posible y necesaria; los sistemas silvopastoriles ofrecen una alternativa viable para reducir la presión sobre los recursos naturales, mitigar el cambio climático y mejorar la productividad y rentabilidad del sector. Sin embargo, este cambio requiere un esfuerzo conjunto de todos los actores involucrados, desde los productores hasta las instituciones públicas y privadas, para generar las condiciones necesarias para su adopción y éxito a largo plazo.

FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

La agricultura orgánica visualiza el suelo como un organismo vivo, rico en vida microbiana y meso fauna. El manejo de los cultivos se hace imitando los ciclos naturales que se dan en los bosques. Uno de estos, es el que se produce entre el suelo y las plantas. La fertilización orgánica es una práctica agrícola que utiliza materiales de origen biológico para enriquecer el suelo y mejorar la productividad de los cultivos a su vez que mejora la estructura del suelo; esto genera las condiciones biológicas, físicas y de aireación adecuadas, para el desarrollo radical y la nutrición de las plantas. A diferencia de los fertilizantes de síntesis química, que pueden tener efectos adversos en el medio ambiente y la salud del suelo, la fertilización orgánica promueve un enfoque más sostenible y respetuoso con los ecosistemas (Garro, 2016).

Los productos orgánicos utilizados en la agricultura moderna han ganado popularidad como alternativas sostenibles a los fertilizantes tradicionales. Estos productos, provenientes de fuentes biológicas, no solo aportan nutrientes esenciales al suelo, sino que también mejoran la productividad de las plantas. Los biofertilizantes, que incluyen microorganismos beneficiosos como bacterias y

hongos, ayudan a aumentar la disponibilidad de nutrientes y a promover la actividad biológica del suelo (Garro, 2016).

Por otro lado, los bioestimulantes, que pueden estar compuestos por extractos de plantas, aminoácidos o compuestos naturales, estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas, mejorando su resistencia a estrés ambiental y optimizando su rendimiento. La combinación de ambos en un sistema de manejo agronómico resulta en cultivos más saludables y productivos, contribuyendo al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (Peralta et al., 2016).

Los biofertilizantes y bioestimulante utilizados en el estudio se describen a continuación.

HUMATOS

Los humatos son considerados como un bioestimulador vegetal y portador de nutrientes (Ca, Mg, Na, P₂O₅, K, N), aminoácidos libres, polisacáridos, carbohidratos, elementos inorgánicos, sustancias humificadas, microorganismos benéficos, hormonas vegetales y humus solubles (Reyes et al., 2016).

Ampliamente utilizados debido a sus múltiples beneficios tanto para el suelo como para las plantas, mejoran la estructura del suelo, aumentando su porosidad y capacidad de retención de agua, lo que resulta en una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas (Rodríguez, 2016).

Su uso contribuye a incrementar la actividad microbiana beneficiosa, lo que a su vez potencia la fertilidad del suelo; además, de optimizar el rendimiento de los cultivos. Los humatos también tienen un efecto positivo en el crecimiento de las raíces, mejorando la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés, como la salinidad o la sequía (Reyes et al., 2016).

SULFOPOTASICO

Es un insumo orgánico, elaborado a base de azufre y cal, enriquecido con potasio, producto utilizado en la prevención y control de enfermedades causadas por

hongos y bacterias, además de tener efectos acaricidas. Además, aporta potasio y azufre, nutrientes esenciales para la nutrición y desarrollo de las plantas. Su bajo costo y fácil elaboración lo convierten en una alternativa viable y sostenible para los productores.

MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)

Los microorganismos eficientes (EM, por sus siglas en inglés) son una mezcla de microorganismos beneficiosos, como bacterias, levaduras y hongos, que se utilizan en la agricultura y la gestión de residuos para mejorar la salud del suelo y promover el crecimiento de las plantas. Estos microorganismos trabajan en simbiosis, descomponiendo materia orgánica y liberando nutrientes esenciales, lo que aumenta la fertilidad del suelo. Además, los EM ayudan a suprimir patógenos, mejorar la retención de agua y potenciar la actividad biológica del suelo (Moya, 2012).

BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS (BAL)

Las bacterias ácido-lácticas son esenciales en la agricultura orgánica debido a sus múltiples beneficios para el suelo. Estas bacterias, al fermentar azúcares, producen ácido láctico, lo que ayuda a acidificar el suelo y a inhibir el crecimiento de patógenos. En la agricultura orgánica, se utilizan como biofertilizantes, mejorando la disponibilidad de nutrientes y promoviendo la salud del suelo. Además, su capacidad para descomponer materia orgánica favorece la formación de humus, lo que aumenta la fertilidad del suelo (Oindi et al., 2019).

RESPONSABILIDAD ÉTICA

Es esencial gestionar los recursos naturales de manera responsable para garantizar que las generaciones futuras puedan seguir beneficiándose de los servicios ecosistémicos que proporciona la agricultura, es esencial que los agricultores adopten un enfoque ético en el uso del suelo, respetando los límites de la naturaleza y fomentando la coexistencia armoniosa entre la producción agrícola y los ecosistemas naturales, en este contexto, la aplicación de sistemas de producción diversificados, la disminución de agroquímicos y el uso de fertilización orgánica son esenciales para disminuir el impacto en el medio ambiente (Lecaros, 2013).

El manejo orgánico del cultivo de *Smallanthus Pyramidalis* tiene un papel importante en la preservación de la biodiversidad, la mejora de la calidad del suelo y la mitigación del impacto ambiental de la producción agrícola. Además de ser compatible con la producción eficiente de biomasa.

HIPÓTESIS GENERAL

H₀: El uso de diferentes métodos de propagación combinados con fertilización orgánica no aumenta significativamente la producción de biomasa de colla negra (*Smallanthus Pyramidalis*).

H₆: El uso de diferentes métodos de propagación combinados con fertilización orgánica aumenta significativamente la producción de biomasa de colla negra (*Smallanthus Pyramidalis*).

METODOLOGÍA

En lo que se ha mencionado con anterioridad a lo largo de este capítulo, se evidencia que este estudio reúne los aspectos claves del enfoque de la investigación cuantitativa. En este sentido, el propósito del presente estudio radica en la evaluación del rendimiento del cultivo de *S. pyramidalis* y se acoge en un análisis cuantitativo que se preste a la determinación de los beneficios de la producción de biomasa. Es decir, el enfoque cuantitativo permitirá proporcionar información sobre el rendimiento del cultivo a lo largo de los distintos estadios de crecimiento, como la tasa de crecimiento, la cantidad de biomasa producida, entre otros. Así podrá añadir el nuevo conocimiento a los agricultores y ganaderos interesados en aumentar sus opciones de forraje y disminuir la dependencia de los insumos externos.

Para el desarrollo del presente estudio se planteó el siguiente el plan de trabajo a realizar. Ver Tabla 2.

Tabla 2

Cronograma

Actividad	Mes										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Propagación material vegetal	x										

Cultivo de Colla Negra (*Smallanthus Pyramidalis* (Triana) H. Rob.), como Alternativa de Alimentación Bovina, en el Centro Internacional de Producción Limpia Lope Sena Regional Nariño

Actividad	Mes										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Aclimatación de material vegetal		x									
Preparación del área de estudio		x									
Siembra de material vegetal		x									
Fertilización orgánica			x	x	x	x	x	x	x	x	
Control de arvenses					x			x			
Riego			x	x	x	x	x	x	x	x	
Poda de formación									x		
Evaluación de especies presentes			x			x			x		
Evaluación de biomasa									x	x	x

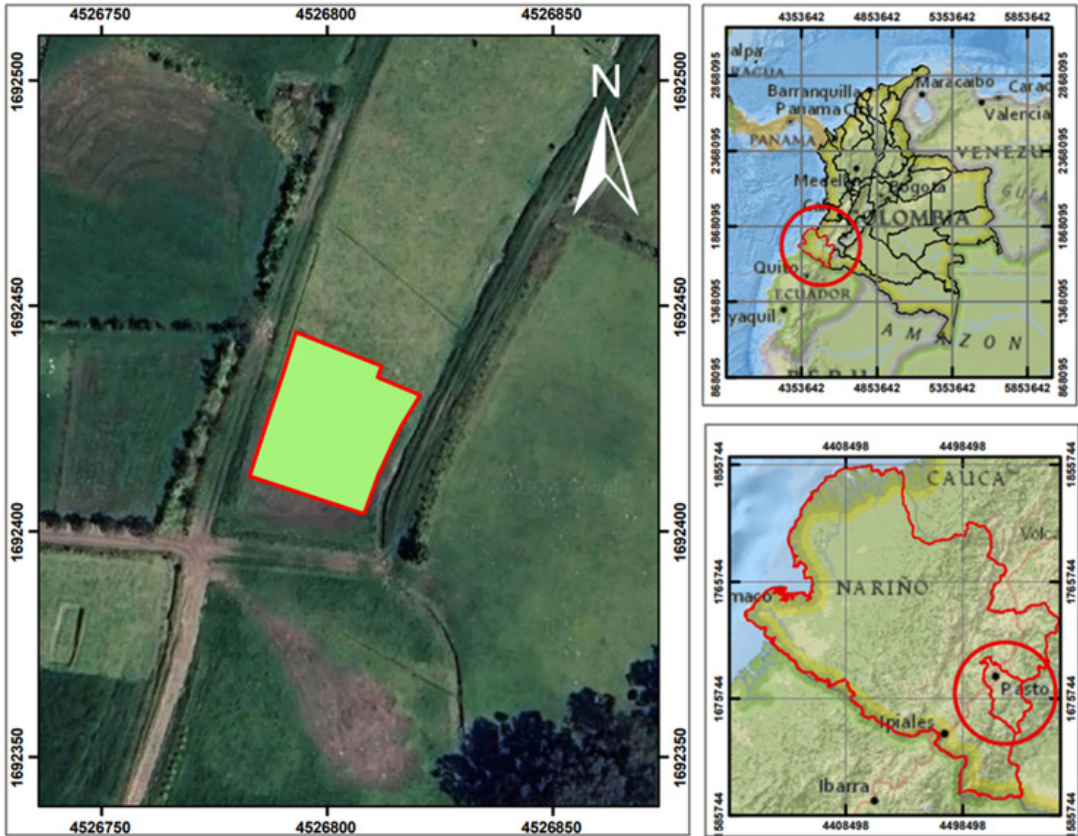
Nota. Elaboración propia

ÁREA DE ESTUDIO

Este trabajo se desarrolló en la Finca Lope del Centro Internacional de Producción Limpia Lope-Sena Regional Nariño (Figura 1), ubicado en el municipio de Pasto, departamento de Nariño, Colombia, a una latitud de 1°12'45"N, longitud: 77°15'03" O y a una altitud de 2680 m.s.n.m., con una temperatura media de 13° C y precipitación media anual de 700 mm (Chaves y Yela, 2021).

Figura 1

Zona de estudio – Sena Regional Nariño



Nota. Ubicación geográfica del Centro Internacional de Producción Limpia Lope – SENA Regional Nariño (Rosero, 2024)

PROPAGACIÓN SEXUAL

Este método de propagación es particularmente importante porque con frecuencia permite el acceso al material genético de las especies nativas de manera más natural, lo que finalmente ayuda a preservar la diversidad genética. Este enfoque nos permite realizar el potencial genético de las especies de germoplasmas, lo que además ayuda a las plantas nativas a enfrentar los desafíos planteados en sus nichos y, por lo tanto, continuar su desarrollo evolutivo de manera más natural.

COLECTA, SECADO Y LIMPIEZA DEL GERMOPLASMA

COLECTA DE INFLORESCENCIAS

Primeramente, se seleccionaron “plantas madre” de *Smallanthus pyramidalis*. Como criterio de la elección se tuvo en cuenta que fueran plantas sanas y vigorosas, teniendo en cuenta el tamaño de sus semillas (2 mm). Para facilitar su recolección, se seleccionaron inflorescencias maduras, esto con el fin de evitar la recolección de semillas en las etapas embrionarias inmaduras, las cuales afectan la germinación. La madurez de las inflorescencias en madurez fisiológica se reconoce por su coloración de café claro y la facilidad de desprendimiento de sus semillas.

Figura 2

Inflorescencia madura de *Smallanthus pyramidalis*



Nota. Fotografía de la inflorescencia de *Smallanthus pyramidalis*. Crédito: Rosero (2024).

EXTRACCIÓN DE SEMILLAS

Una vez realizada la recolección de las inflorescencias, teniendo en cuenta que presenta las semillas visibles, hay que separar las semillas de los restos de tallos y flores de las inflorescencias; esto mediante extracción manual, la cual consistió en frotar las inflorescencias entre las manos de forma vigorosa. Debajo se colocó un recipiente adecuado para la recolección, donde se depositaron las semillas y demás restos vegetales que caían durante la extracción.

LIMPIEZA DE SEMILLAS

El proceso de limpieza de la semilla de los demás restos vegetales se realizó mediante limpieza por flotación, teniendo en cuenta la metodología propuesta por Arriaga et al. (1994), método en el cual se emplean líquidos con una densidad o peso específico que está situada entre la de la semilla llena y la de la semilla vacía, de manera que se hundan las semillas llenas y floten en la superficie las semillas vacías y los residuos vegetales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se colocaron las semillas en recipientes con agua durante 24 horas. Trascurrido el tiempo, se retiraron los restos vegetales de la superficie del agua; de esta manera, solo se sometieron a plantulación aquellas semillas que se hundieron, ya que corresponden a las semillas potencialmente viables para su germinación.

ALMACENAMIENTO

Para su correcto almacenamiento, a las semillas seleccionadas se les realizaron procesos de secado, esto con el fin de evitar contenidos altos de humedad, lo cual puede proliferar el crecimiento de organismos patógenos; posterior al secado, se dispusieron las semillas en un ambiente seco y con condiciones de asepsia, para así proporcionar las mejores condiciones de almacenamiento.

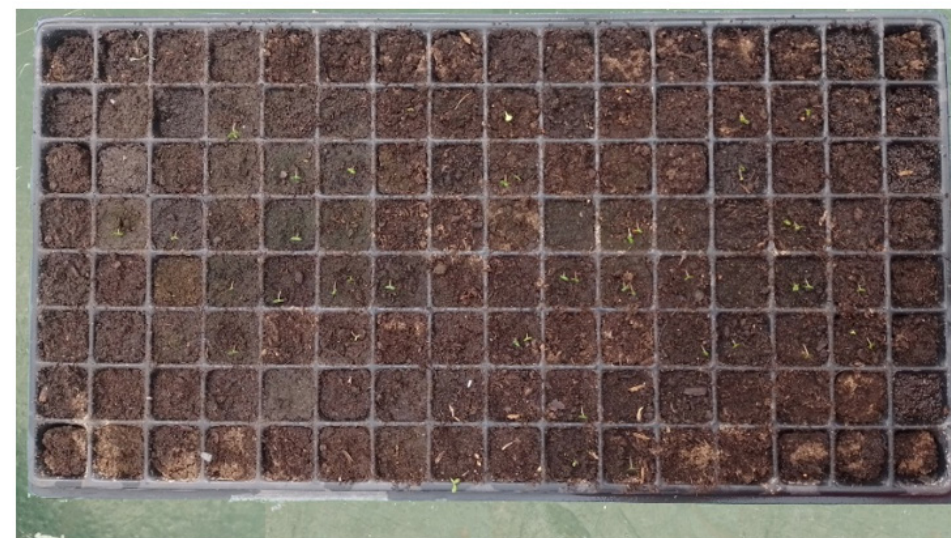
GERMINACIÓN DEL GERMOPLASMA

Preparación de almácigos

Teniendo en cuenta el tamaño de la semilla, se utilizaron bandejas de germinación de polietileno de alta densidad de 128 alveolos, previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio. La forma cónica de los alveolos es ideal para prevenir daños físicos a la raíz de las plántulas. Además, el tamaño de las bandejas de germinación permite un manejo eficiente del espacio y facilita el cuidado de cada plántula, ya que en un espacio reducido se puede obtener una gran cantidad de plántulas.

Figura 3

Almacigo de Smallanthus pyramidalis



Nota. Bandeja de germinación de 128 alveolos. Crédito: Rosero (2024).

Sustrato

El sustrato utilizado para la germinación de plántulas de *Smallanthus pyramidalis* Fue turba, uno de los sustratos de germinación y crecimiento más adecuados, ya que ofrece excelentes propiedades de retención de humedad y aireación; pero muy variable en cuanto a su composición, ya que depende de su origen (Chi, 2021). La turba favorece un crecimiento saludable de las plántulas, lo que es esencial para el establecimiento exitoso de *S. pyramidalis*. Cabe resaltar que antes de la siembra,

se humedece adecuadamente el sustrato, asegurando que esté en condiciones óptimas para la germinación.

Germinación y cuidados

Las semillas de colla negra se siembran en los alveolos, cubriéndolas ligeramente con sustrato. Es fundamental mantener una humedad constante en el sustrato durante el proceso de germinación, lo que se logra mediante riegos regulares. Las bandejas deben colocarse en un lugar con luz indirecta, evitando la exposición directa al sol que podría deshidratar el sustrato y afectar su capacidad de germinación.

El tiempo de germinación de las semillas de colla negra puede variar, pero generalmente se observa que las plántulas comienzan a emerger entre 10 y 15 días después de la siembra. Durante esta etapa, es crucial monitorear el desarrollo de las plántulas, asegurando que no haya presencia de plagas o enfermedades que puedan comprometer su crecimiento. En caso de detectar problemas, se deben aplicar medidas de control adecuadas, preferiblemente utilizando métodos biológicos o ecológicos.

Trasplante

Una vez que las plántulas alcanzan una altura adecuada, generalmente entre 5 a 8 cm, y presenten de 2 a 4 hojas, se procede al trasplante a bolsas de polietileno, previamente llenas de suelo; este paso se realiza con cuidado para no generar daños mecánicos a las raíces, lo que podría afectar el crecimiento óptimo de las plantas. Después del trasplante, es importante realizar un manejo adecuado de las plantas, que incluya riegos regulares. Esta actividad se llevará a cabo por aspersión manual, procurando mantener la humedad del suelo sin que tenga un exceso de agua, lo que podría perjudicar a las raíces de las plantas y favorecer el crecimiento de organismos patógenos.

Figura 4

Plántula de *Smallanthus pyramidalis*



Nota. Plántula en óptimas condiciones para trasplante a bolsa de polietileno. Crédito: Rosero (2024).

PROPAGACIÓN ASEXUAL

En especies que se pueden propagar con facilidad por estacas, este método tiene numerosas ventajas. De una planta madre es posible iniciar muchas nuevas plantas en un espacio limitado. Es económico, rápido y simple; se obtiene mayor uniformidad, ya que tiene como característica la reproducción de individuos iguales genotípicamente al progenitor, lo que resulta en una mayor uniformidad en comparación con la reproducción sexual.

Esta uniformidad es especialmente beneficiosa, donde se busca mantener características específicas de las plantas madre. Al eliminar la variabilidad

genética, los productores pueden garantizar que todas las plantas cultivadas tengan características deseadas, lo que facilita la gestión y el manejo del cultivo *S. pyramidalis*. Además, esta uniformidad permite una cosecha más predecible y eficiente, optimizando así los recursos y maximizando la producción.

PROPAGACIÓN POR ESTACAS

La propagación por estacas es una técnica de reproducción vegetativa ampliamente utilizada. Este método consiste en cortar un segmento de una planta madre que, cuando se coloca en un ambiente propicio y en un sustrato adecuado, tiene la capacidad de desarrollar raíces y brotes, dando lugar a una nueva planta.

RECOLECCIÓN DE ESTACAS

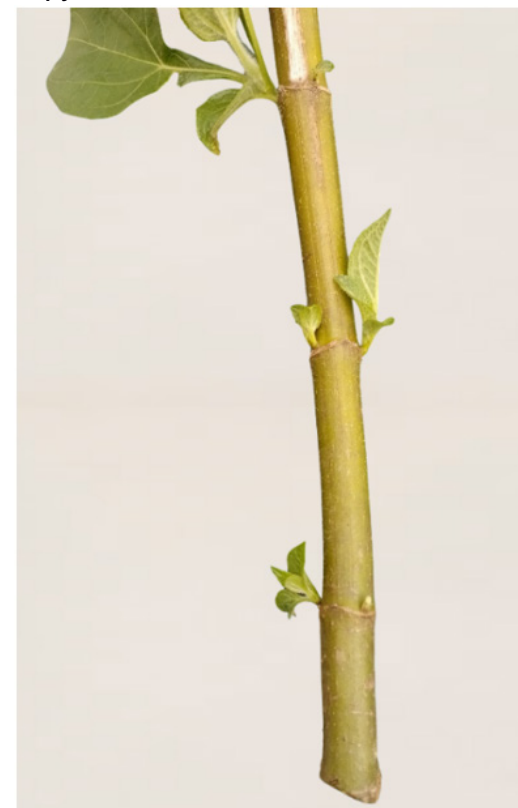
Los resultados señalan que el éxito de la propagación asexual de *S. pyramidalis* está determinado por la selección de material vegetativo y el estado de desarrollo de la planta madre (Cardona et al., 2022a). Para llevar a cabo la propagación por estacas, es fundamental seleccionar el material vegetativo adecuado.

Se recolectaron partes vegetativas de plantas con características fenotípicas sobresalientes, como plantas con excelente vigor, buena producción de forraje y sanas; se recomienda que cada estaca tenga al menos 4 a 5 yemas o entrenudos, lo que aumentará las posibilidades de brotación en la parte aérea; además, es aconsejable eliminar las hojas para reducir la pérdida de agua y concentrar la energía de la planta en el desarrollo de raíces. La recolección debe realizarse preferiblemente durante las primeras horas de la mañana, cuando la planta está más hidratada y los tejidos son más turgentes. Esto ayuda a minimizar la deshidratación y el estrés en las estacas antes de su siembra.

Las estacas se obtuvieron, empleando tijeras de poda previamente desinfectadas. Se realizó un corte bisel, del tercio medio y tercio inferior de la planta; los cortes deben realizarse en los nudos. Las estacas tenían una longitud entre 15 y 20 cm y un diámetro de 2 a 3 cm.

Figura 5

Estaca de *Smallanthus pyramidalis*



Nota. Corte de estacas de *Smallanthus pyramidalis*. Crédito: Rosero (2024).

PREPARACIÓN DE ALMÁCIGO

Llenado de bolsas

El llenado de bolsas de polietileno es un proceso fundamental en la producción de plantas, ya que asegura un adecuado desarrollo del sistema radicular y la salud general de las plantas. Para el llenado de bolsas de polietileno, se utilizó suelo propio de la Finca Lope del Centro Internacional de Producción Limpia Lope. Se tuvo en cuenta que el suelo empleado permita un buen drenaje y aireación. Previamente, al llenado de las bolsas de polietileno, se tamizó y humedeció el suelo para el llenado de bolsas; es fundamental asegurarse de que el sustrato esté ligeramente compactado para eliminar bolsas de aire, lo que garantiza un desarrollo radicular óptimo y una mejor adaptación de las plantas en su proceso de crecimiento.

Establecimiento de estacas

Al momento de la siembra, es importante que las estacas seleccionadas tengan humedad, por lo cual es recomendable mantenerlas en un recipiente con agua. Se siembran verticalmente en el suelo considerando su polaridad, enterrándolas a una profundidad aproximada de 3 cm, asegurándose de que 2 a 3 entrenudos estuvieran enterrados en el suelo de las cuales se formarán las raíces, y de 3 a 4 entrenudos queden por encima del sustrato, las cuales darán origen a nuevas hojas.

Condiciones ambientales

Una vez plantadas, las estacas deben ser colocadas en un ambiente controlado que favorezca su enraizamiento. La luz también juega un papel importante en el proceso de enraizamiento. Aunque las estacas necesitan luz para la fotosíntesis, la exposición directa a la luz puede ser perjudicial. Por ello, se colocaron las estacas en áreas con luz indirecta.

Monitoreo y mantenimiento

Durante el proceso de enraizamiento, es fundamental monitorear las estacas regularmente. Se debe verificar la humedad del suelo, asegurándose de que no se seque ni se encharque. Si el suelo comienza a secarse, se puede aplicar riego de manera manual con regadera, para mantener un nivel adecuado de humedad.

El tiempo que tarda en enraizar una estaca puede variar según la especie y las condiciones ambientales, pero generalmente oscila entre 2 a 8 semanas. Durante este período, se pueden observar signos de brotación en la parte aérea, lo que indica que las estacas están desarrollándose adecuadamente.

ZONA DE ENDURECIMIENTO

El endurecimiento de las plantas es un proceso que ocurre de manera espontánea en la naturaleza. Gracias a él, las plantas se aclimatan para sobrevivir o crecer bajo situaciones de estrés; ejemplos de endurecimiento pueden ser la resistencia a las heladas que desarrollan muchas leñosas de zonas templadas al acercarse la estación fría o el aumento de la tolerancia al estrés hídrico durante los periodos secos (Vilagrosa et al., 2006).

La zona de endurecimiento en un vivero es un espacio crucial para la adaptación de las plántulas antes de ser trasplantadas al exterior. Esta área se caracteriza por condiciones controladas que simulan el ambiente natural, permitiendo que las plantas se acostumbren a factores como la luz solar directa, la variabilidad de temperatura y la humedad del aire. Durante esta fase, las plántulas experimentan un proceso de aclimatación que fortalece su estructura celular y mejora su resistencia al estrés ambiental, especialmente los relacionados con el estrés hídrico, térmico y mecánico. La correcta implementación de esta zona no solo aumenta las tasas de supervivencia de las plantas, sino que también promueve un crecimiento más robusto y saludable, asegurando así un trasplante exitoso y un desarrollo óptimo en su nuevo hábitat.

Figura 6

Zona de endurecimiento



Nota. Zona de endurecimiento de *Smallanthus pyramidalis*. Crédito: Rosero (2024).

PREPARACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de establecimiento utilizada fue de 840 m², que anteriormente estaba destinada para el pastoreo de ganado. Este espacio fue seleccionado con la finalidad de aprovechar los beneficios de *S. pyramidalis* como restaurador de suelos; el área de estudio se manejó bajo labranza cero.

Esto teniendo en cuenta lo descrito por (Riquelme et al., 2021). Se denomina labranza cero al establecimiento de un cultivo sin la preparación de suelo, preservando las propiedades físicas del suelo, con el fin de mejorar y hacer sostenible la producción agrícola. Es ampliamente utilizada en la agricultura de conservación; consiste en mantener una cubierta orgánica permanente o semipermanente del suelo, para proteger el suelo del sol, la lluvia y el viento, y permitir que los microorganismos y la fauna del suelo mantengan el equilibrio.

ESTABLECIMIENTO EN CAMPO

Figura 7

Trazado de área de estudio



Nota. Trazado de para el establecimiento de plantas de *S. pyramidalis*. Crédito: Rosero (2024).

Para el establecimiento de las plantas de *S. pyramidalis*, primeramente, se inició con el trazado y ahoyado; se manejaron distancias de siembra de 2 m entre surco por 2 m entre planta, dando un total de 210 plantas.

Teniendo en cuenta el uso anterior de suelo destinado a ganadería, uso el cual repercute en la compactación de los suelos y, por lo tanto, en la magnitud y severidad de la erosión; por ello se realizó un ahoyado de 40 cm de ancho por 40 cm de largo con una profundidad de 40 cm. Además, al momento de la siembra de manera localizada se adicionó 1 kg de compost vegetal con la finalidad de brindar un mayor contenido de materia orgánica, esto con la finalidad de optimizar su desarrollo radicular y les permita un crecimiento adecuado a las plantas.

Una vez establecidas las plantas en campo, el personal encargado del correcto desarrollo incluyó personal capacitado en realizar las labores de campo como la fertilización, riego, control de arvenses, y podas de formación, además de supervisar el crecimiento de las plantas, además de la participación de los aprendices de las áreas pecuarias.

Figura 8

Ahoyado y siembra de plantas de *S. pyramidalis*



Nota. A; siembra de plantas *S. pyramidalis*, B; plantas establecidas bajo labranza cero. Crédito: Rosero (2024).

Con la finalidad de evaluar diferentes dosis de fertilización orgánica, el área de estudio se dividió en tres módulos, cada uno de los cuales recibirá una dosis diferente de fertilización orgánica; lo cual permite un análisis comparativo y controlado de los efectos de las distintas dosis de biofertilizante sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes. Teniendo en cuenta el tipo de propagación, en la parcela número uno se establecieron 77 plantas cuya propagación fue de forma asexual, en la parcela número dos se establecieron 65 plantas procedentes de propagación sexual y finalmente en la parcela tres se establecieron 68 plantas, distribuidas entre propagación sexual y asexual.

Figura 9

Delimitación de parcelas de estudio



Nota. Delimitación de parcelas evaluadas; color azul parcela numero 3; color verde parcela número 1 y color naranja parcela número 2.

VARIABLES EVALUADAS

En este estudio, la principal variable evaluada fue la producción de masa forrajera, un indicador crucial del rendimiento, ya que es la variable de respuesta ante la

fertilización orgánica. Una mayor producción de biomasa se traduce en un mejor rendimiento agrícola. Además de realizar un análisis cualitativo de la pedrera antes y después del establecimiento de las plantas de *Smallanthus pyramidalis*.

MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE *MALLANTHUS PYRAMIDALIS*

El manejo agronómico del cultivo de *Smallanthus pyramidalis* se centra en prácticas que optimizan su crecimiento. Esto teniendo en cuenta que los sistemas agroforestales tienen como característica el manejo y uso sustentable de los recursos, respetando los ecosistemas existentes y promoviendo sistemas productivos que permiten mantener un equilibrio entre la agricultura y el medio ambiente (Cardona et al., 2022a).

LABORES CULTURALES

Fertilización

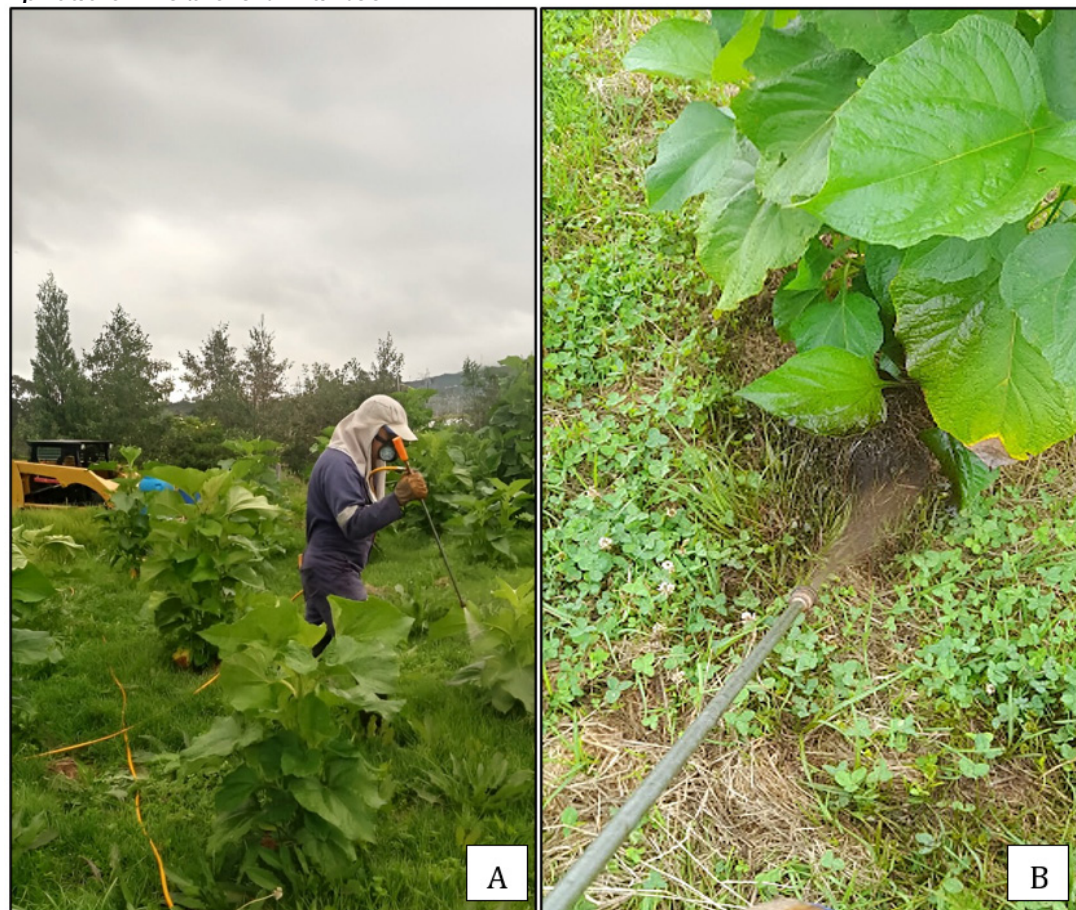
Se utilizó una fertilización orgánica compuesta por una mezcla que incluye humatos al 5 %, sulfopotasico al 0,5 %, EM (Microorganismos Eficientes) al 30 % y BAL (Bacterias Ácido-Lácticas) al 30 %. La aplicación se realizó en las parcelas 1 y 2, y la parcela número 3 cumplió la función de testigo, es decir, no recibió ninguna fertilización adicional, lo que permitirá establecer un contraste entre los efectos de la fertilización orgánica y el crecimiento natural sin intervención.

Aplicación de biofertilizantes

Se realizaron aplicaciones con una frecuencia de 15 días para garantizar un suministro constante de nutrientes a las plantas. Las aplicaciones de Humatos y Sulfopotasico se llevaron a cabo de forma foliar. Por otro lado, las aplicaciones de Microorganismos Eficientes (EM) y Bacterias Ácido Lácticas (BAL) se realizaron en forma de drench, es decir, aplicando la solución directamente al suelo alrededor de las plantas. Estos insumos son claves para mejorar la productividad del cultivo y mantener el enfoque agroecológico del proyecto; insumos, los que fueron suministrados por el área de bioindustrialización presente en la finca Lope.

Figura 10

Aplicación de biofertilizantes



Nota. A: Aplicación foliar de biofertilizantes. B: Aplicación en drench de microorganismos eficientes. Crédito: Rosero (2024).

Control de arvenses

Las malezas compiten por espacio, luz, agua y nutrientes, ocasionando retardo en el crecimiento y desarrollo del cultivo; por esta razón, su control debe ser oportuno. El control de arvenses. Se llevó a cabo un control mecánico de arvenses con desbrozadora; los residuos generados se incorporaron al lote para usarlos como cobertura vegetal.

Figura 11

Control de arvenses



Nota. Residuos vegetales de control de arvenses incorporados como abono verde. Crédito: Rosero (2024).

Riego

El riego es una de las labores culturales más importantes, ya que de ello depende el crecimiento y el desarrollo de las plantas; es importante mencionarles que existen distintas formas de riego. El riego empleado para el cultivo de colla en las primeras semanas de establecimiento, se realizó riego por aspersión, el cual consiste mediante un aspersor aplicar agua al cultivo en forma de llovizna. Esta labor se realizó en horas de la mañana y en horas de la tarde, esto con la finalidad de evitar la evaporación del agua. La cantidad de agua utilizada dependió de la humedad del suelo y de los factores climáticos.

Poda de formación

Se realizó corte al tallo y las ramas primarias a una altura de 1,50 metros, esto con el objetivo de romper la dominancia apical y favorecer la ramificación lateral del arbusto y darle una forma adecuada. Los cortes se realizaron en los nudos con el objetivo de evitar el ingreso de altos contenidos de humedad a los entrenudos, y así disminuir la proliferación de patógenos. Teniendo en cuenta que algunos individuos de la parcela número tres no contaron con la altura necesaria establecida para realizar el corte, su corte se prolongó en otra fecha.

Debido a factores ambientales, el primer corte de formación y crecimiento se lo realizó a los 240 días desde la siembra y se manejaron los cortes con una frecuencia de 30 días.

Figura 12

Poda de formación de Smallanthus pyramidalis



Nota. Crédito: Rosero (2024).

EVALUACIÓN DE LA MASA FORRAJERA

La evaluación se realizó a los 30,45 y 60 días posteriores a la poda de formación. Con la finalidad de evitar el error experimental, se optó por eliminar el efecto borde, ya que lo descrito por (Arguelles, 2011). El efecto de borde es un hecho reconocido en experimentación agrícola y se hace evidente mediante un cambio en el patrón de crecimiento de las plantas localizadas en los contornos de las unidades experimentales.

Para eliminar el efecto borde, se decidió no considerar las plantas situadas en los bordes de cada parcela en el análisis. Una vez realizado este paso, se seleccionó las plantas a evaluar, para ello se seleccionó de forma aleatoria el 30% de las plantas de cada parcela, dándonos como resultado para la parcela número uno 23 plantas evaluadas, para la parcela dos 20 plantas evaluadas y finalmente para la parcela 3 20 plantas evaluadas.

Para evitar el error en la toma de los datos de las diferentes evaluaciones, se procedió a la identificación de los individuos mediante una cinta plástica, la cual contenía la información de la planta en cuanto a la fecha de siembra, número de lote y número de planta.

Figura 13

Identificación de plantas a evaluar

Una vez identificadas las plantas, se procedió a la defoliación de las plantas y se pesó individualmente la producción de biomasa.

Nota.

Identificador (241-23): 24 indica el año de siembra, 1 corresponde a la parcela y 23 al número de planta. Crédito: Rosero (2024).



Figura 14

Poda de formación de Smallanthus pyramidalis



Nota. Recolección manual de biomasa de individuos seleccionados para evaluación. Crédito: Rosero (2024).

Con la finalidad de evaluar la palatabilidad de *S. pyramidalis*, el material previamente recolectado se dispuso en el área de ganadería de la finca Lope; se suministraron 77 kg de forraje, el cual fue suministrado en fresco.

ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA PRADERA

Se realizó una observación sobre los recursos forrajeros y pastura predominante en el área de estudio, con la finalidad de observar su comportamiento a medida que se establecen las plantas de *Smallanthus pyramidalis*.

Figura 15

Forraje fresco de S. pyramidalis para alimentación bovina.



Nota. Preparación de forraje fresco de *S. pyramidalis*. Crédito: Rosero (2024).

Figura 16

Evaluación visual de parcela de estudio



Nota. Condición inicial de la pradera en el área de estudio. Crédito: Rosero (2024).

RESULTADOS

Después de implementar cuidadosamente la metodología previamente establecida, los registros de los promedios de cada planta, obtenidos tras cada corte, se presentan en la Tabla 3. Estos datos permitieron observar las variaciones en diferentes parámetros, como la altura de la planta y la producción de biomasa con respecto a la interacción de la fertilización orgánica.

Tabla 3

Cantidad forrajera promedio por parcela

Numero de corte	Cantidad $\bar{x}$ de forraje por planta (kg)		
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
1	1,83	1,75	1,65
2	3,35	3,55	3,65
3	2,22	2,45	2,65

Nota. Tabla construida a partir de información primaria sobre la cantidad de forraje por parcela.

Teniendo en cuenta el peso promedio por planta, se realizó la estimación de la masa forrajera de *S. pyramidalis* para cada corte, mediante la siguiente ecuación:

Masa forrajera = $\bar{x}$ planta * n plantas de la parcela (Agrosavia TV, 2020)

Tabla 4

Estimación forrajera de parcelas evaluadas

Numero de corte	Estimación de masa forrajera (Kg)		
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
1	141	114	112
2	258	231	248
3	171	159	180
Total	570	504	541

Nota. Elaboración propia a partir de la cantidad forrajera promedio por parcela.

Esta estimación nos proporciona una idea aproximada de la producción esperada por parcela; conocer la producción anticipada permite ajustar sus estrategias de manejo y optimizar el uso de recursos.

Con respecto al análisis comparativo de la especie forrajera presente al momento de la siembra, la especie identificada fue kikyo (*Cenchrus clandestinus*).

La segunda evaluación realizada a los 3 meses después de la implementación de las plantas de colla, en las parcelas en las cuales se realizó la fertilización orgánica, se observó la presencia de trébol blanco (*Trifolium repens L.*), el cual es ampliamente utilizado en la producción de forrajes para la alimentación bovina (Romero, 2005).

Figura 17

Segunda evaluación visual de especies presentes en la parcela de estudio



Nota. Evaluación de la pradera a los 3 meses después de la siembra de *S. pyramidalis*. Crédito: Rosero (2024).

Finalmente, la última evaluación cualitativa se realizó a los 6 meses posteriores a la implementación. Se logra observar que predomina el asocio entre trébol blanco y kikuyo, y en menor medida la presencia de falsa poa (*Holcus lanatus L.*), la cual es utilizada en pastoreo rotacional del ganado bovino (López y Maigual, 2009).

Figura 18

Tercera evaluación visual de especies presentes en la parcela de estudio

Se ha observado que el ganado consume en gran medida el forraje que se les proporciona, lo que indica una alta palatabilidad del recurso forrajero proporcionado para su alimentación.

Nota.

Evaluación de la pradera a los 6 meses después de la siembra de *S. pyramidalis*.

Crédito: Rosero (2024).



Figura 19

*Prueba de palatabilidad de *S. pyramidalis* en bovinos*

Nota.

A: Consumo en fresco de *S. pyramidalis*. B: Porcentaje alto de consumo por parte de los bovinos.

Crédito: Rosero (2024).



DISCUSIONES

En el primer corte, se observan diferencias significativas en la cantidad promedio de forraje producido por planta de cada parcela; con un rendimiento promedio de 1.83 kg por planta, la parcela 1 se destaca como la más productiva en el primer corte, seguida de la parcela dos con un promedio de 1,75 kg que muestra un rendimiento intermedio. Su producción sigue siendo competitiva con respecto a la parcela número uno, finalmente el control, con un promedio de 1,65 kg. Estos resultados se pueden relacionar directamente al tipo de propagación. Esto teniendo en cuenta lo mencionado por (Rojas et al., 2004). La propagación asexual permite el desarrollo de más tallos, mientras que la propagación sexual solo presenta un tallo. Lo cual explica los valores obtenidos para una mayor producción de forraje para la parcela establecida con plantas de propagación asexual.

En el segundo corte se observan diferencias significativas. El rendimiento de todas las parcelas aumenta notablemente en el segundo corte; la parcela 3 mostrando el mayor incremento, invirtiendo la tendencia del primer corte. Esto está relacionado directamente con la poda de formación, ya que no se presentó homogeneidad en la altura deseada para hacer la poda de formación; por ende, plantas que no se realizó poda de formación presentaron un incremento en su altura, aumentando así la cantidad de forraje al momento de la evaluación.

Por otro lado, el aumento significativo de la producción de forraje en las parcelas uno y dos está relacionado con lo descrito por Torres-Moya et al. (2016). Los cuales nos mencionan que los abonos orgánicos liberan algunos nutrientes de una manera más lenta, ya que este proceso depende directamente de la actividad microbiana en el suelo y de algunos factores abióticos. Por ende, teniendo en cuenta la liberación lenta de nutrientes asimilables por la planta, los efectos de la fertilización orgánica realizada con Humatos al 5%, Sulfopotasico al 0,5 %, EM (Microorganismos Eficientes) al 30% y BAL (Bacterias Ácido-Lácticas) al 30%, se ven reflejados en el segundo corte.

Finalmente, en el tercer corte se evidencia una disminución de la cantidad promedio de forraje por planta, teniendo en cuenta que el tercer corte coincidió con la época de verano. Según Delisles (2016), la sequía induce una disminución de la actividad fotosintética y la transpiración se acelera, provocando deshidratación y una disminución en la capacidad de las plantas para realizar la fotosíntesis de manera eficiente.

Esto se traduce en un menor crecimiento y producción de biomasa. Además, el estrés por calor puede afectar la absorción de nutrientes y la actividad metabólica de las plantas, resultando en un rendimiento inferior al esperado.

Con respecto a la estimación de masa forrajera por parcela, la cual nos permite estimar cantidad de forraje por unidad de área en un momento específico. Los valores obtenidos al realizar esta estimación Tabla 3. Se puede observar la disponibilidad estimada total de las tres parcelas, las cuales con una superficie total de 840 m². La estimación total de producción de forraje de las tres parcelas y los tres cortes fue de 1,614 kg de forraje de *Smallanthus pyramidalis*. Teniendo en cuenta lo descrito por (Gobernación de Nariño, 2024). Estadísticamente, la ganadería en Nariño se encuentra que el 96% de ella se concentra en minifundio, lo cual *Smallanthus pyramidalis* se puede evidenciar como una especie óptima para la producción de forraje en unidades de área reducida, lo cual beneficia a los pequeños productores ganaderos, ya que no se ocupa gran extensión de área para la producción de forraje, por otro lado, aunque *S. pyramidalis* se ve afectada por la época de verano, aun así, en comparación con pastos nativos, presenta un mayor rendimiento de forraje.

En las evaluaciones realizadas se observaron variaciones en la producción promedio de forraje por planta, con incrementos considerables; lo que sugiere una respuesta positiva a las prácticas agronómicas implementadas, estos datos sugieren que las dosis de fertilizantes orgánicos mejoraron el crecimiento y desarrollo de las plantas, además, la estimación parcela por parcela de la biomasa forrajera mostró resultados prometedores en las parcelas las cuales se realizó la aplicación de fertilización orgánica, lo que resultó en una utilización eficiente de los recursos y una mayor generación de biomasa. Por lo tanto, la hipótesis general se cumple, ya que los datos muestran que la combinación de fertilización orgánica y métodos de propagación mejoraron significativamente la producción de biomasa de *S. Pyramidalis*.

El análisis cualitativo de la pradera encontró una diferencia significativa al momento del establecimiento con respecto a la última evaluación. Estos resultados obtenidos coinciden con los informados por (Guzmán y Barrera, 2011). Los cuales mencionan que *S. pyramidalis*, como planta perenne, ayuda a prevenir la erosión del suelo y contribuye al mantenimiento de la biodiversidad en las áreas donde se cultiva. Se convierte en una opción para la rehabilitación de suelos degradados, en conjunto con la fertilización orgánica, la cual genera las condiciones biológicas, físicas y de

aireación adecuadas (Garro, 2016). Lo cual favorece el crecimiento de especies como el trébol blanco, especie de la cual los suelos compactos no son favorables para su desarrollo; por otro lado, su óptimo de crecimiento lo obtiene en suelos con un buen drenaje y es sensible a las sequías (InfoAgro, 2022).

Lo descrito anteriormente enmarca el comportamiento presentado por el trébol blanco, ya que al inicio de la observación no se evidenció su presencia. En la segunda evaluación, la presencia de trébol blanco funciona como indicador de la mejoría de las propiedades físicas del suelo y la influencia de *S. pyramidalis* en la conservación de suelos, además de generar el microclima óptimo para el desarrollo tanto de la pastura como el de trébol blanco.

Con respecto a la palatabilidad del forraje disponible para el ganado, es un indicador positivo que sugiere que los animales están consumiendo los recursos alimenticios que se les ofrecen. Por lo tanto, es esencial que presten atención a la calidad y características del forraje para optimizar la alimentación bovina (Cardona et al., 2022b).

CONCLUSIONES

En conclusión, el cultivo de *Smallanthus pyramidalis* con un enfoque agroecológico promueve la sostenibilidad tanto ambiental como agrícola. También se establece como un modelo de producción de forraje que protege los ecosistemas locales, con el fin de optimizar los recursos naturales y a su vez mejorar la calidad del suelo, lo cual genera una producción más limpia y sostenible.

En síntesis, el cultivo de *Smallanthus pyramidalis* se perfila como una opción prometedora para la agricultura sostenible, ya que no solo proporciona una fuente valiosa de alimento y forraje, sino que también contribuye a la salud del ecosistema agrícola. Este cultivo, adaptado a diversas condiciones climáticas y de suelo, ayuda a prevenir la erosión del suelo y a mantener la biodiversidad, lo que es esencial para la resiliencia de los sistemas agrícolas ante el cambio climático. En conjunto, estos beneficios agronómicos y ambientales la convierten en una alternativa viable y sostenible que puede contribuir significativamente a la seguridad alimentaria y al desarrollo rural.

Estimación de Masa Forrajera: La estimación total de producción de forraje de las tres parcelas fue de 1,614 kg de *Smallanthus pyramidalis* en 840 m², lo que indica que esta especie es adecuada para la producción de forraje en áreas reducidas. Esto es especialmente beneficioso para los pequeños productores ganaderos en Nariño, donde el 96% de la ganadería se concentra en minifundios.

La especie *S. pyramidalis* no solo es productiva, sino que también contribuye a la prevención de la erosión del suelo y al mantenimiento de la biodiversidad. Su capacidad para rehabilitar suelos degradados, en combinación con la fertilización orgánica, genera condiciones favorables para el crecimiento de otras especies, como el kikuyo, el trébol blanco, falsa poa entre otros.

REFERENCIAS

- AgroNet. (14 de septiembre de 2020). *La Colla negra: una especie con potencial para ser incorporada en sistemas de alimentación animal*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/La-Colla-negra-una-especie-con-potencial-para-ser-incorporada-en-sistemas-de-alimentaci%C3%B3n-animal.aspx>
- Agrosavia TV. (16 de junio de 2020). *Cómo calcular la masa forrajera de árboles y arbustos forrajeros* [Archivo de Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=lyu6XtFv4IA>
- Arboreo. (s.f.). *Arboloco*. Colegio San Patricio. <https://arboreo.colegiodesanpatricio.edu.co/arboloco/#:~:text=El%20fruto%20de%20este%20%C3%A1rbol%20se%20conoce%20como%20%E2%80%9CAquenio%E2%80%9D>
- Arguelles Cárdenas, J. H. (2011). *Efecto de bordes en ensayos de rendimiento en sorgo* (Informe técnico). AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/35361>
- Arriaga, V., Cervantes, V., y Vargas-Mena, A. (1994). *Manual de reforestación con especies nativas*. Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://rngr.net/publications/manual-de-reforestacion-con-especies-nativas/manual-de-reforestacion-con-especies-nativas-completo>
- Delisles Batista, D. R. P. (2016). Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélite en su evaluación. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 22–41. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.4591.3843>
- Belalcázar López, L. A. y Narváez Arteaga, O. A. (2008). *Valoración nutritiva del forraje colla negra (Smallanthus pyramidalis) en mezcla con pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum) en la alimentación de cuyes (Cavia porcellus), fases de levante y engorde* [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. Repositorio Institucional Universidad de Nariño. <https://sired.udenar.edu.co/5549/1/74451.pdf>

Botia-Carreño, W. H. (2019). Unidad Agrícola Familiar (UAF): instrumento de política pública agropecuaria en Colombia. *Pensamiento y Acción*, 27, 1–20. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento_accion/article/view/10178

Cárdenas Villarraga, P. A., Durán Castro, C. V., y Roa Velasco, J. I. (2007). Análisis de los sistemas de producción ganaderos y selección de especies forrajeras por métodos participativos en zona de ladera del norte del Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(4), 647–658.

Cardona Iglesias, J. L., Rincón, E. C., y Suárez Paternina, E. A. (21 de noviembre de 2022b). *Los grados Brix como herramienta para determinar el potencial nutricional en forrajes*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cardona Iglesias, J. L., Rincón, E. C., Guatusmal, C., Valenzuela, M., y Ríos Peña, L. M. (21 de noviembre de 2022a). *Especies arbustivas con potencial forrajero en el trópico altoandino: Manual para actores del sector agropecuario*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405774>

Chaves Narváez, M. A. y Yela Gómez, L. D. (25 de octubre de 2021). *Catálogo de especies de flora apícola del Centro Internacional de Producción Limpia Lope* [Diapositivas]. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/catalogo-de-especies-de-flora-apicola-del-centro-internacional-de-produccion-limpia-lope/250522652>

Chi May, F. (2021). *Manual de propagación de plantas para viveros*. Proyecto: Establecimiento del Circuito Etnobiológico del Jardín Botánico Regional "Roger Orellana". Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/sitios/CircuitoEtnobiologico/Repositorio/Documentos/2021_07%20Manual%20de%20propagaci%C3%B3n%20Plantas%20Vivero.PDF

Garro Alfaro, J. E. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>

Gobernación de Nariño. (2024). *Plan departamental de extensión agropecuaria (PDEA) Nariño 2024-2027*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2024/08/01_PDEANARINO_2024.pdf

Guzmán Avendaño, A. J. y Barrera Adame, D. A. (2011). Estudio fitoquímico de hojas y flores de *Smallanthus pyramidalis* (Triana) H. Rob. (Arboloco) y su uso en la recuperación de los humedales de Bogotá. *Colombia Forestal*, 14(1), 41–50. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392011000100005&lng=en&tlng=es

InfoAgro. (2022). *El cultivo del trébol (Trifolium spp.)*. InfoAgro. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_trebol__em_trifolium__em__spp__.asp

Lerma-Lasso, J. L., Bacca-Acosta, P. P., Obando-Enriquez, B. G., Castro-Rincón, E., y Cardona-Iglesias, J. L. (2023). Sistemas silvopastoriles: una opción para la sostenibilidad de los sistemas ganaderos de alta montaña. *Pastos y Forrajes*, 46, e0015. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942023000100015&script=sci_arttext

López Miño, D. A. y Maigual Muñoz, P. A. (2009). *Determinación de factores edafoclimáticos que intervienen en la producción y calidad del pasto saboya (Holcus lanatus) en condiciones de no intervención en la zona andina del departamento de Nariño a una altura comprendida entre 2800-3049 msnm* [Tesis de grado, Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/5387/1/77637.pdf>

Moya, J. (2012). *¿Cómo hacer microorganismos eficientes?* Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/drocc-hoja-04-2012.pdf>

Nieto-Sierra, D. F., Timarán-Rivera, E. A., Montes-Vergara, J. C., Castro-Rincón, E., y Mogollón-García, H. D. (2021). Crecimiento de terneras F1 y F2 Kiwi Cross x Holstein. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 224–235. <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.41399>

Patiño Benavides, J. M. y Burgos Sierra, D. L. (2010). *Evaluación de diferentes niveles de proteína con la inclusión de harina de colla negra (Smallanthus pyramidalis) en el levante y engorde de cuyes (Cavia porcellus)* [Tesis de grado, Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/11203/>

Peralta-Veran, L., Juscamaita-Morales, J., y Meza-Contreras, V. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 18(2), 135–142. <https://www.redalyc.org/journal/341/34146613001/html/>

Quiñones Chillambo, J. D., Cardona Iglesias, J. L., y Castro Rincón, E. (2020). Ensilaje de arbustivas forrajeras para sistemas de alimentación ganadera del trópico altoandino. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 285–301. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.662>

Reyes-Pérez, J. J., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Rueda-Puente, E. O., Hernández-Montiel, L. G., Preciado Rangel, P., Beltrán Morales, A., Rodríguez Félix, F., y López Bustamante, R. J. (2016). Uso de humatos de vermicompost para disminuir el efecto de la salinidad en el crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(6), 1375–1387. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000601375&lng=es&tln=es

Riquelme, J., Yoshikawa, S., & Aliaga, C. (2021). *Cero labranza: Principios y equipamientos*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/1c958892-c9f5-4c78-9383-b86e8f3ec199/content>

Rodríguez Neave, F. (2016). *Sustancias húmicas: Origen, caracterización y uso en la agricultura*. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/acidos-humicos-fulvicos-nutricion-vegetal>

Rojas González, S., García Lozano, J., Alarcón Rojas, M., Escobar, C. J., Cipagauta, M., Solarte, H., ... y Cadena, F. (2004). *Propagación asexual de plantas: Conceptos básicos y experiencias con especies amazónicas [Informe técnico]*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/17056>

Romero, O. (2005). Pradera permanente en la zona sur: Trébol blanco, clave en los sistemas pastoriles. *Especial Praderas*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/6b2bba9e-dfea-4805-add3-1f3a931571e2/content>

Rosero, R. D. (2024). *Fotografías producto de investigación*. [Archivo fotográfico no publicado].

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (14 de septiembre de 2020). *Arboloco: especie que ayuda a rehabilitar los ecosistemas de la ciudad*. Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. https://www.ambientebogota.gov.co/search?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=1324842&_101_type=content&_101_urlTitle=arboloco-especie-que-ayuda-a-rehabilitar-los-ecosistemas-de-la-ciudad

Oindi, F. M., Sequeira, E., Sequeira, H. R. & Mutiso, S. K. (2019). Takotsubo cardiomyopathy in pregnancy: A case report and literature review. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 19(1), Article 2233. <https://doi.org/10.1186/s12884-019-2233-7>

Torres-Moya, E., Ariza-Suárez, D., Baena-Aristizabal, C. D., Cortés-Gómez, S., Becerra-Mutis, L., & Riaño-Hernández, C. A. (2016). Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). *Pastos y Forrajes*, 39(2), 102–110. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942016000200004&lng=es&tln=es

Lecaros Urzúa, J. A. L. (2013). La ética medioambiental: Principios y valores para una ciudadanía responsable en la sociedad global. *Acta Bioethica*, 19(2), 177–188. <https://doi.org/10.4067/s1726-569x2013000200002>

Vilagrosa Carmona, A., Villar Salvador, P., y Puértolas, J. (2006). El endurecimiento en vivero de especies forestales mediterráneas en Ministerio de Medio Ambiente (Ed.), *Bases ecológicas para la restauración de áreas degradadas en regiones mediterráneas* (pp. 119–140). Ministerio de Medio Ambiente. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6642108>

Vitali, M. S. (2017). Anatomía foliar del género *Smallanthus* (Asteraceae, Millerieae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 52(3), 463–472. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722017000300006&lng=es&tlng=es

Evaluación Ambiental del Teleférico al Sitio Arqueológico de Huchuy-Qosqo

Raymundo Máximo del Carmen Carranza Noriega

Doctor en ciencias en Ingeniería Química

Mail: rmdccarranzan@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6231-3104>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Albertina Díaz Gutiérrez

Magister en Ingeniería Química

Mail: adiazg1@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6700-6998>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Maria Teresa Valderrama

Magister en Ciencias en Ingeniería

Mail: mtvalderramar@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1654-4083>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Roger Hernando Peña Huaman

Doctor en Economía

Mail: rhpenah@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1379-364X>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Juan Manuel Lara Márquez

Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Mail: jmlaram@unac.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3494-0730>

Filiación Institucional: Universidad Nacional del Callao

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Carranza Noriega, R. M. del C., Díaz Gutiérrez, A., Valderrama, M. T., Peña Huaman, R. H., y Lara Márquez, J. M. (2024). Evaluación ambiental del teleférico al sitio arqueológico de Huchuy-Qosqo en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 545-566). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

El sitio arqueológico de Huchuy-Qosqo, construido durante el gobierno de Pachacútec, se encuentra en una ubicación de difícil acceso, lo que ha limitado el flujo turístico. Para mejorar el ingreso sin afectar negativamente el entorno socioambiental, se propone la construcción de un teleférico, evaluado bajo la metodología de Conesa para identificar y mitigar impactos ambientales. El proyecto también emplea el cálculo de la capacidad de carga, garantizando que no se supere el número de visitantes que el sitio puede soportar. Este estudio concluye que el teleférico es viable desde el punto de vista turístico y sostenible, aprobado para un límite máximo de 1,485 visitas diarias. El proyecto mejorará la accesibilidad y permitirá diversificar el turismo en la región, generando beneficios económicos para las comunidades locales y reduciendo la presión turística sobre Machu Picchu.

Palabras Clave: Evaluación Ambiental, Sitio Arqueológico, Teleférico, Capacidad de carga.

ENVIRONMENTAL EVALUATION OF THE CABLE CAR TO THE HUCHUY-QOSQO ARCHAEOLOGICAL SITE

ABSTRACT

The Huchuy-Qosqo archaeological site, built during the government of Pachacútec, is located in a difficult-to-access location, which has limited the flow of tourists. To improve admission without negatively affecting the socio-environmental setting, the construction of a cable car is proposed, evaluated under the Conesa methodology to identify and mitigate environmental impacts. The project also employs the calculation of load capacity, ensuring that the number of visitors that the site can support is not exceeded. This study concludes that the cable car is viable from a tourist point of view and sustainable, approved for a maximum limit of 1,485 daily visits. The project will improve accessibility and allow diversifying tourism in the region, generating economic benefits for local communities and reducing tourist pressure on Machu Picchu.

Keywords: Environmental Assessment, Archaeological Site, Cable Car, Load Capacity.

INTRODUCCIÓN

El teleférico es uno de los medios de transporte más sostenibles, para acceder a sitios de difícil acceso, permitiendo un transporte eficiente sin la necesidad de construir infraestructura vial de gran magnitud. Según Sacristán (2016), el primer teleférico del mundo fue construido en 1906 en San Sebastián, España, para facilitar el acceso al monte Ulia, desde entonces los teleféricos han demostrado ser una opción viable en diversas zonas geográficas como el teleférico localizado en Cochabamba Bolivia, que permite visitar el Cristo de la Concordia y la laguna de Alalay del municipio de Sacaba mostrando un paisaje espectacular (Copa y Quispe, 2020). En Perú, el teleférico de Kuelap (sitio arqueológico pre-inca), ha sido un éxito en términos de incremento del turismo y beneficios económicos para la región nororiental del Perú (Araujo y Leo, 2019).

Perú Rail y el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (MINCETUR) (1998) intentaron concesionar un teleférico para la ciudadela de Machu Picchu. En este contexto, el teleférico propuesto para el sitio arqueológico de Huchuy Qosqo ofrece una solución sostenible que mejora el acceso y fomenta el desarrollo turístico en la región, reduciendo la presión sobre Machu Picchu.

Huchuy Qosqo es una alternativa turística similar a la ciudadela de Machu Picchu debido, a sus estructuras de piedras como: "la Kallanka," gran salón rectangular que se utilizaba para reuniones públicas y ceremonias; "el Usnu", plataforma elevada para rituales y sacrificios y los templos dedicados a diferentes deidades; además de "las Colcas", almacenes donde se guardaban alimentos y otros productos, así como las terrazas agrícolas, donde se cultivaban diversos productos como quinua, maíz y papas.

El "Teleférico de Huchuy Qosqo" se construirá en los terrenos denominados Huachiccasa y Nihuachayoc Puente María, que pertenecen a la Comunidad Campesina de Saclo. Este lugar se ubica aproximadamente a dos kilómetros al sur de la ciudad de Calca, dentro de la provincia y distrito del mismo nombre, en el departamento del Cusco. El proyecto requerirá una inversión aproximada de treinta millones de dólares estadounidenses y tendrá una vida útil proyectada de 50 años, con posibilidad de ampliación.

El objetivo principal de la construcción del teleférico es incrementar el turístico cultural del Sitio arqueológico Huchuy Qosqo de manera sostenible; siendo los específicos no sobrecargar de turistas el sitio arqueológico, fomentar la participación de la comunidad y mitigar los impactos ambientales que puedan ocasionar.

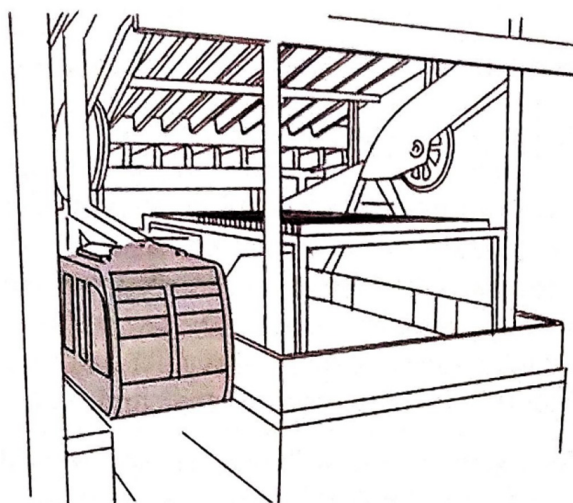
El proyecto propone la instalación de un sistema de transporte por cable que opera en un plano aéreo, evitando interferencias con la red vial existente. Este sistema incluye tres componentes principales:

1. Estación Inferior o de Salida: Se proyecta la construcción de muros laterales compuestos por paneles de piedra integrados en estructuras metálicas y mallas tipo gaviones.
2. Módulos feriales: Estos estarán fabricados en madera, con techos de teja artesanal, diseñados para integrarse armónicamente con la arquitectura local.

La propuesta busca preservar la estética del entorno y garantizar una estructura funcional. Consulte la figura 1 para una representación gráfica del diseño y su integración con el paisaje.

Figura 1

Estación de salida

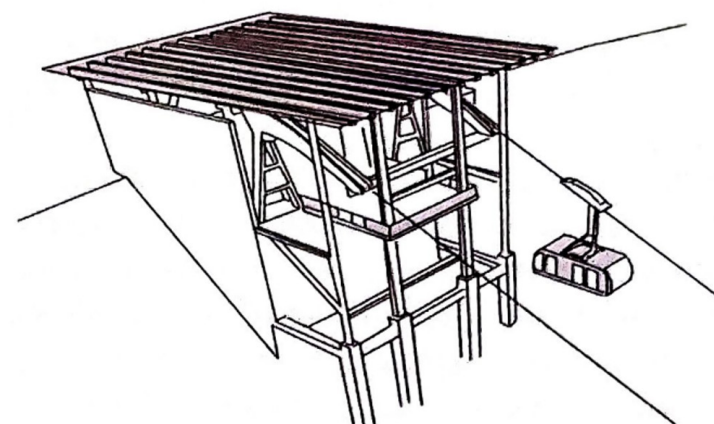


Nota. Adaptado de información proporcionada por Doppelmayr (s.f.)

La Estación Superior de Llegada estará compuesta por un edificio abierto, orientado hacia el norte y parcialmente integrado en la roca, con dos muros laterales formados por paneles de piedra sostenidos por estructuras metálicas y mallas tipo gaviones, con el objetivo de integrarse de manera armoniosa con el entorno natural. Este edificio complementará a la estación inferior, que albergará el contrapeso del cable tractor, y dispondrá de instalaciones propias de la estación, además de servicios adicionales como una cafetería, un mirador y baños. Consulte la figura 2.

Figura 2

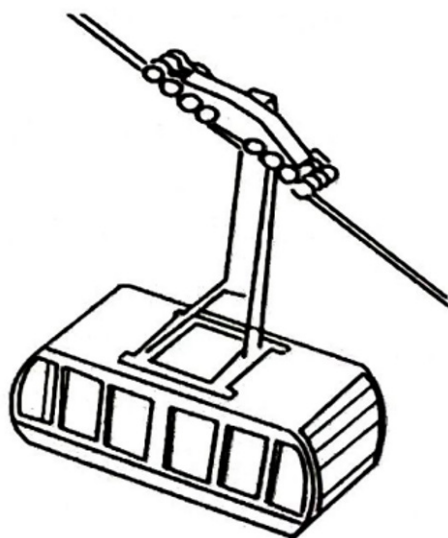
Estación de entrada



Nota. Adaptado de información proporcionada por Doppelmayr (s.f.)

El Sistema de Transporte por Cable (Telecabinas) abarca el derecho de paso del sistema, que consiste en una instalación de doble vía de ida y vuelta, donde operarán dos vehículos con capacidad para 50 pasajeros cada uno y una velocidad máxima de 10 m/s. Los vehículos se desplazarán sobre dos cables portantes de tracción, que estarán anclados de manera fija en ambas estaciones. Las telecabinas tendrán un color verde para integrarse con el paisaje y minimizar el impacto visual en las aves locales, reduciendo así posibles accidentes. El servicio operará de 6:00 a 18:00 horas.

Las telecabinas están equipadas con una gran puerta corrediza de doble hoja con apertura automática y ventanas que pueden abrirse parcialmente para asegurar una ventilación adecuada. Además, cuentan con diversos accesorios, como micrófono, altavoces, entradas de aire, iluminación y barandas de sujeción, entre otros. Consulte la figura 3.

Figura 3*Telecabina*

Nota. Adaptado de información proporcionada por Doppelmayr (s.f.)

La descripción y evaluación de los componentes sociales y ambientales de la línea base, que forman parte del área de influencia del proyecto, abarca diversas zonas geográficas. El área de influencia ambiental directa se extiende por 0,5 km, mientras que la influencia indirecta alcanza hasta 1 km alrededor del proyecto. En cuanto al aspecto social, la comunidad de Saclo y el sitio arqueológico se consideran dentro del área de influencia directa, mientras que la ciudad de Calca se encuentra en la zona de influencia indirecta.

La diversidad vegetal de la región incluye varios tipos de cobertura, tales como zonas agrícolas, matorrales arbustivos y bosques relictos. La zona altoandina presenta un clima semiárido con temperaturas moderadas, mientras que en la parte baja, el pajonal andino, también conocido como césped de puna, tiene un clima completamente seco.

En la zona andina, la fauna ornitológica es notable por su vínculo con la cultura ancestral de los pueblos autóctonos. Se destacan especies como los patos Jergon, Barcino colorado y la Gaviota andina. En cuanto a la mastofauna, predominan la Vizcacha, el Gato silvestre, el Zorro y el Pericote andino. La herpetofauna, aunque no es tan diversa, incluye especies como la Rana acuática jaspeada, la Rana marsupial andina, la Lagartija andina y la Culebra peruana colicorta.

A nivel social, el proyecto contribuirá al aumento de la inversión turística en el país, lo que mejorará los ingresos económicos de la población local. Además, promoverá la difusión de la cultura e historia del Perú, al incluir este importante sitio arqueológico en el circuito turístico tanto nacional como internacional, ayudando también a reducir la afluencia de turistas a la ciudadela de Machu Picchu (Castro et al., 2014).

Las principales actividades económicas en el distrito de Calca, según el trabajo de campo, incluyen el comercio, restaurantes, hospedajes, venta de artesanías y recursos turísticos. En la comunidad campesina de Saclo, las actividades económicas predominantes son la agricultura, con cultivos como la papa, fresas, cebada y rábanos, además de la crianza de cuyes y ganado bovino.

METODOLOGÍA

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

La evaluación ambiental se llevó a cabo utilizando la metodología de Conesa (2011), la cual identifica y cuantifica los impactos ambientales, considerando los siguientes parámetros: Signo, Intensidad, Extensión, Momento, Persistencia, Reversibilidad, Recuperabilidad, Sinergia, Acumulación, Efecto y Periodicidad.

Además, se contó con la participación de la comunidad local mediante talleres participativos y entrevistas, lo que permitió incorporar sus sugerencias y asegurar una mayor aceptación del proyecto. La contratación de mano de obra local también fue priorizada, generando beneficios económicos directos para la comunidad.

LÍNEA BASE AMBIENTAL

La descripción y evaluación de la línea base ambiental se llevó a cabo considerando diversas disciplinas, tales como meteorología, zonas de vida, geología, geomorfología, geodinámica interna, sismicidad, suelos, hidrografía, biología y calidad ambiental.

La recopilación de información se realizó principalmente a través de fuentes primarias, mediante trabajo de campo, realizado por brigadas de profesionales que

incluyeron ingenieros ambientales, geólogos, químicos, biólogos y arqueólogos.

Asimismo, se emplearon fuentes secundarias para completar la información, obtenida, de instituciones gubernamentales, universidades, y gobiernos regionales y locales.

LÍNEA BASE SOCIAL

La recolección de datos sociales primarios se realizó mediante encuestas, observación participante y entrevistas. Las encuestas fueron aplicadas a los habitantes del área de influencia social directa (espacio rural) e indirecta (espacio urbano). Las entrevistas se realizaron a informantes clave, como representantes de la municipalidad, la comunidad de Saclo, la Policía Nacional del Perú, entre otros, quienes poseen conocimiento y opiniones sobre los temas relevantes de la comunidad. Las encuestas y entrevistas fueron realizadas por un sociólogo. Además, se organizaron dos talleres participativos para informar sobre los impactos positivos y negativos del proyecto, y para escuchar las opiniones y sugerencias de los participantes. Antes de la fase de construcción, se implementó un buzón de sugerencias para recibir preguntas y comentarios de la población.

La línea base social busca caracterizar el contexto en el que se desarrollará el proyecto con el objetivo de identificar los niveles socioeconómicos y oportunidades de desarrollo social derivados del mismo, además de los riesgos que afecten a la población involucrada; contribuyendo a entender las necesidades y las prioridades a nivel local (López, 2014).

Para ello, la metodología prioriza la participación de las partes interesadas como forma esencial del estudio, ya que, al captar los puntos de vista, las percepciones y opiniones de las personas que pueden verse afectadas por el proyecto, se obtiene un insumo necesario para mejorar el diseño y la ejecución de este (Sara-Lafosse, 2011). De esta forma se evitan y reducen los aspectos adversos y se mejoran los beneficios, analizando categorías relevantes como género, edad, situación laboral, religión y niveles de pobreza, categorías requeridas para la consulta significativa con las partes interesadas de los estándares exigidos por el Banco Interamericano de Desarrollo (Kvam, 2018).

La comunidad no solo debe participar en la fase de construcción, sino también en el monitoreo a largo plazo de los impactos ambientales y socioeconómicos. El establecimiento de alianzas entre la comunidad, las autoridades locales y otras instituciones académicas será crucial para realizar estudios de monitoreo a largo plazo que midan el impacto del teleférico.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La metodología utilizada para evaluar los impactos ambientales se basa en el uso de dos matrices: la matriz de evaluación de impactos y la matriz de importancia. La valoración semicuantitativa de los impactos ambientales se determina a través del análisis de diez parámetros cualitativos, a los cuales se les asignan valores específicos, los cuales se detallan en la tabla 1.

Tabla 1

Metodología de evaluación ambiental de Conesa

Descripción		Descripción	
Signo		Reversibilidad	
Carácter Beneficioso	+	Corlo plazo	1
Carácter perjudicial	-	Mediano plazo	2
Intensidad		Irreversible	4
Minima	1	Recuperabilidad	
Media	2	Recuperabilidad	1 o 2
Alta	4	Parcialmente recuperable	4
Muy alta	8	Irrecuperable	8
Destrucción total	12	Si se puede introducir medidas compensatorias	4
Extensión		Sinergia	
Efecto localizado – Carácter puntual	1	No existe sinergia	1
Influencia generalizada Carácter total	8	Sinergia de forma moderada	2
Impacto parcial	2	Sinergia alta	4
Impacto extenso	4	Acumulación	
Momento		Efecto acumulativo	4
Efecto nulo o inferior a 1 año	4	Efecto no acumulativo moderada	1
Efecto 1 – 5 años	2	Efecto	
Efecto tarda en manifestarse más de 5 años	1	Indirecto o secundario	1

Descripción		Descripción		
Signo		Reversibilidad		
Efecto				
Persistencia		Directo o primario	4	
Menos de un año – (Fugaz)	1	Periodicidad		
– 10 años (Temporal)	2	Efecto continuo	4	
Superior a 10 años (Permanente)	4	Periódicos	2	
Parámetros de Medición Evaluativa				
Intensidad (I)	Extensión (EX)	Momento (MO)	Persistencia (PE)	Reversibilidad (RV)
Recuperabilidad (MC)	Sinergia (SI)	Acumulación	Efecto (EF)	Periodicidad (PR)
Grados de importancia de impacto (Valor absoluto)				
Importancia baja o inferior			< 25	
Importancia moderada			25 a 49	
Importancia severos			50 a 75	
Importancia critica			75 - +	
Importancia Positiva			1 a 100	

Nota. Adaptado de Conesa (2011)

CAPACIDAD DE CARGA

La capacidad de carga de un centro histórico es crucial en el desarrollo de un proyecto de teleférico, ya que establece el límite sostenible de visitantes que el área puede recibir sin causar deterioro físico, social o cultural. Al respetar estos límites, el proyecto se alinea con los principios de turismo sostenible, buscando minimizar el impacto ambiental, preservar el patrimonio cultural y mantener la calidad de vida de la comunidad local. Un teleférico bien planificado podría distribuir el flujo de turistas, reducir la congestión vehicular y facilitar el acceso sin afectar negativamente el entorno histórico, contribuyendo así a la sostenibilidad y a la conservación del sitio.

El cálculo de capacidad de carga se realizó con base en la metodología de Cifuentes (1992), la cual busca establecer el número máximo de visitas que puede recibir un área protegida con base en las condiciones físicas, biológicas y de manejo que se presentan en el área, en el momento del estudio.

El cálculo de capacidad de carga sigue la metodología de Cifuentes, ajustada por factores de corrección como accesibilidad, precipitación y capacidad de manejo.

Estos factores aseguran un máximo de visitas diarias sin afectar el entorno del sitio arqueológico.

El proceso tiene tres niveles: cálculo de capacidad de Carga Física (CCF), cálculo de Capacidad de Carga Real (CCR), cálculo de Capacidad de Carga Efectiva (CCE). Cuya relación se representa como sigue: $CCF \geq CCR \geq CCE$. El cálculo de la Carga Física, Real y Efectiva se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Cálculo de las Capacidades de Carga

CALCULO	DONDE
Capacidad de Carga Física (CCF)	Hv =Horario de visita
$CCF = \frac{S}{sp} * NV$	Tv = Tiempo de visita
$NV = Hv / Tv$	S = Superficie disponible
	SP =Superficie por visitante
	NV = Número de veces visitado por una persona
Capacidad de Carga Real (CCR)	Fcsoc = Factor de carga social
$CCR = CCF (Fcsoc * Fcacc * Fcpre * Fcsol * FCtem * FCane)$	Fcacc = Factor de accesibilidad
$Fcsoc = ml/mt; (ml=mt -p), (P = NG \times N_{mpg})$	Fcpre = Factor de precipitación
$Fcacc = (1 - (ma *1,5) + (mm * 1)) / mt$	Fcsol = Factor de brillo solar
$Fcpre = 1 - hl/ht$	FCtem = Factor de cierres temporales
$Fcsol = 1 - (hsl/ht) * (ms/mt)$	Fcane = Factor de anegamiento
$FCtem = 1 - hc/ht$	ml =magnitud limitada
$FCane = 1 - man/mt$	mt = Distancia mínima entre grupos
	P= Personas simultaneas en el sitio arqueológico
	NG = Numero de grupos
	N _{mpg} = Personas por grupo
	mm = Dificultad medio (10 a 20%)
	ma = Dificultad Alto (>20\$)
	hl = horas de lluvia limitantes
	ht = horas abiertas del sitio
	hsl = horas de sol limitante
	ms = sol sin cobertura
	hc = horas sitio cerrado
	man = metros de anegamiento
Capacidad de Carga Efectiva (CCE)	CM = capacidad de manejo
$CCE = CCR*CM$	i = infraestructura
$CM = ((i+e+dp)/3)* 100$	e= equipamientos
Escala de satisfacción (i, e, dp): ninguno (≤35%) =0; poco (36-50%) =1; medio (51-75%) =2; alto (76-89%) =3; excelente (>90) =4	dp= dotación de personal

Nota. Adaptado de Cifuentes (1992)

RESULTADOS

Los principales impactos ambientales identificados incluyen la alteración del paisaje y el cambio en el uso del suelo. Sin embargo, estos pueden ser mitigados mediante la revegetación y la implementación de medidas paisajísticas. Se establecieron

programas de monitoreo continuo para evaluar los impactos en la flora y fauna locales, con especial atención a las especies endémicas. Además, se realizarán controles sobre la calidad del aire y el ruido durante las fases de construcción y operación para minimizar los efectos adversos en el entorno.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Utilizando la información del proyecto y la línea base de la zona de estudio, los especialistas llevaron a cabo la evaluación de los impactos ambientales, determinando la matriz de importancia reflejada en las tablas 3 y 4.

Tabla 3

Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales

MEDIO	COMPONENTE	ACTIVIDAD	ETAPA DE PLANIFICACIÓN				ETAPA DE CONSTRUCCIÓN				ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO				ETAPA DE ABANDONO O CIERRE			
			Preparación del terreno y traslado	Montaje de la estructura	Fundamentación del Acueducto	Muro Acueducto	Cimentación	Edificación	Instalaciones sanitarias y eléctricas	Acabados en General	Embarque	Mantenimiento	Servicios higiénicos	Desmantelamiento	Desdiseño, desmontaje y eliminación	Reconstrucción y Rehabilitación	Revegetación	Revegetación
FÍSICO	Aire	Alteración a la Calidad del Aire	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Incremento del Nivel Sonoro	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración a la Calidad del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Geomorfología del Terreno	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
BIOLÓGICO	Suelo	Alteración de la Composición y Estructura del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Fertilidad del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Pérdida de la Capacidad de Absorción de Agua del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Estructura del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SOCIOECONÓMICO	Paisaje	Alteración del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Vista	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Estructura del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Estructura del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MEDIO CULTURAL	Aspecto Económico	Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MEDIO CULTURAL	Aspecto Social	Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MEDIO CULTURAL	Aspecto Cultural	Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Nota. Elaboración propia

Tabla 4

Matriz de Importancia

MEDIO	COMPONENTE	ACTIVIDAD	ETAPA DE PLANIFICACIÓN				ETAPA DE CONSTRUCCIÓN				ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO				ETAPA DE ABANDONO O CIERRE			
			Preparación del terreno y traslado	Montaje de la estructura	Fundamentación del Acueducto	Muro Acueducto	Cimentación	Edificación	Instalaciones sanitarias y eléctricas	Acabados en General	Embarque	Mantenimiento	Servicios higiénicos	Desmantelamiento	Desdiseño, desmontaje y eliminación	Reconstrucción y Rehabilitación	Revegetación	Revegetación
FÍSICO	Aire	Alteración a la Calidad del Aire	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Incremento del Nivel Sonoro	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración a la Calidad del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Geomorfología del Terreno	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
BIOLÓGICO	Suelo	Alteración de la Composición y Estructura del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Fertilidad del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Pérdida de la Capacidad de Absorción de Agua del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Estructura del Suelo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SOCIOECONÓMICO	Paisaje	Alteración del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Vista	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Estructura del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Estructura del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MEDIO CULTURAL	Aspecto Económico	Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MEDIO CULTURAL	Aspecto Social	Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
MEDIO CULTURAL	Aspecto Cultural	Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Alteración de la Salud del Paisaje	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Nota. Elaboración propia

INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Tras evaluar los impactos ambientales en cada componente del proyecto, se

elaboró una síntesis de los impactos que afectarán al proyecto en su totalidad, presentando a continuación un resumen general. Consulte la tabla 5.

Tabla 5

Resumen General de Impactos del proyecto

COMPONENTE	IMPACTO				
	INFERIOR	SUPERIOR	TELECABINA	AUXILIARES	PROYECTO
MODERADOS	38	42	25	17	122
LEVES	39	29	21	15	104
POSITIVOS	17	17	14	8	56
TOTAL	94	88	60	40	282

Nota. Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 5, se muestra el resumen de los impactos negativos moderados y leves, así como de los positivos de cada uno de los componentes; donde se puede observar que existen 122 impactos negativos moderados, lo que representa un 43,26 % de un total de 282 impactos identificados y evaluados en todos los componentes del proyecto.

INTERPRETACIÓN CUALITATIVA DE IMPACTOS AMBIENTALES

El impacto en la calidad del aire durante las fases de construcción y operación fue moderado, debido a la liberación de material particulado y gases de combustión. De manera similar, se concluyó que en la fase de cierre el impacto será bajo, ya que la intensidad de las emisiones disminuirá debido a las actividades propias del cierre, las cuales no provocarán una dispersión significativa de estos contaminantes.

La degradación del suelo por el cambio de uso en las etapas de construcción, operación y cierre tuvo un impacto moderado. Esto se debe a que el proyecto ocupará un terreno agrícola en el desarrollo de la zona baja, lo que implica una pérdida irreversible. No obstante, en la planificación general presentada al municipio provincial de Calca, esta zona se definió como área de otros usos especiales, lo cual fue aprobado por el gobierno local, disminuyendo así el impacto.

El impacto sobre la flora y fauna silvestre fue de baja relevancia durante las fases de

construcción y operación, ya que el análisis de abundancia y diversidad indica que la mayor riqueza biológica se encuentra a aproximadamente un kilómetro del área del proyecto. Se llevarán a cabo monitoreos biológicos periódicos, con especial atención a las especies endémicas.

Los efectos en el nivel freático en relación con la hidrología fueron de baja relevancia en las etapas de construcción, operación y cierre. Esto se debe a que, durante la construcción, el agua provendrá de la empresa de servicios de Calca, mientras que en las etapas de operación y cierre se utilizará agua de un pozo subterráneo que contará con los permisos correspondientes y la aprobación de la autoridad nacional del agua. El impacto en los canales de riego también fue considerado de baja importancia, y el proyecto tomará precauciones durante las actividades de construcción y cierre para proteger estas infraestructuras.

El impacto socioeconómico para la población fue positivo en todas las etapas del proyecto, ya que las diversas actividades requerirán mano de obra local calificada, generando empleo en la zona de influencia. Además, el recurso turístico fue evaluado como positivo, ya que se espera un incremento en las visitas y la creación de nuevas oportunidades derivadas de las actividades turísticas que puedan realizarse. Es importante destacar que la gestión adecuada de estos recursos estará a cargo de los propios habitantes, con el apoyo técnico del municipio provincial de Calca y del promotor del proyecto.

En cuanto al ruido, se determinó un impacto moderado en las fases de construcción, operación y cierre, debido al tránsito de vehículos y a las actividades propias del proyecto. El plan de gestión ambiental contempla medidas de control, como señalización para prohibir el uso de bocinas y reducción de velocidad, además de un monitoreo periódico del ruido ambiental para mantenerlo bajo control.

La evaluación sobre la alteración del paisaje natural indicó un impacto de importancia moderada en todas las etapas del proyecto, debido a los cambios que se producirán en las condiciones actuales del área de influencia. Por ello, se propuso implementar medidas de integración visual, como el uso de materiales de construcción locales y la creación de una infraestructura que armonice con el estilo de las casas típicas de la región.

RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA

La capacidad de carga fue de 1485 visitas/día, lo que garantizan la sostenibilidad del sitio arqueológico. Este resultado se determinó reemplazando los datos que se presentan en la tabla 6.

Tabla 6

Capacidad de Carga Turística Sitio Arqueológico Huchuy Qosqo

Capacidad de Carga	Cantidad
Física (CCF)	20000 visitas/día
Factor de corrección	
FCsoc	0,2858
FCacc	0,8
FCpre	0,7466
FCsol	0,6723
FCtem	0,8575
FCane	0,98
Real (CCR)	1 929 visitas/ día
Capacidad de Manejo (CM)	77 %
Efectiva (CCE)	1485 visitas/día

Nota. Elaboración propia

DISCUSIONES

El turismo sostenible es fundamental para asegurar que los destinos turísticos no se degraden con el tiempo. En el caso de Huchuy-Qosqo, se deben considerar principios como los planteados por Butler (1980) sobre la capacidad de carga y el ciclo de vida del destino, con el fin de evitar la sobreexplotación turística. La capacidad de manejo y la infraestructura adecuada son factores esenciales para asegurar la longevidad del destino como atractivo turístico. Para prevenir los impactos ambientales, se proponen varias medidas de mitigación y control del proyecto.

Afectación a la capa freática: Se implementará un programa de Manejo de Recursos Hídricos, asegurando un buen manejo de los insumos líquidos y los residuos sólidos. Las obras serán delimitadas para no afectar los canales de riego.

Degradación del suelo: El cambio de uso actual del suelo no se verá afectado. La alteración de su calidad se gestionará mediante la segregación de residuos peligrosos y no peligrosos, a cargo de una empresa operadora, y los residuos domésticos serán gestionados por el Municipio de la Provincia de Calca. Se implementarán baños portátiles para la disposición de efluentes domésticos, gestionados por una empresa prestadora de servicios. No se permitirá el desbroce en áreas no establecidas en el proyecto. Se realizará un monitoreo semestral de la calidad del suelo según el Plan de Vigilancia, Control y Seguimiento Ambiental. Los combustibles se almacenarán en tanques conforme a la normativa vigente, y el suelo de la zona de almacenamiento será impermeabilizado.

Alteración del paisaje natural: Se adoptará una arquitectura contemporánea que reinterprete elementos ancestrales como la piedra, proponiendo la construcción de muros con este material en los componentes, minimizando la intervención del terreno y la alteración del paisaje natural. El área de trabajo será delimitada para evitar el desbroce de especies arbustivas.

Alteración de la calidad del aire y ruido: Se implementará un programa de riego diario en el área del proyecto durante la época seca (mayo a octubre), ya que las condiciones climáticas de la época húmeda (noviembre a abril) ayudarán a evitar la dispersión del material particulado. Se realizará mantenimiento preventivo de las unidades móviles y maquinarias para reducir la emisión de gases de combustión. Las unidades móviles y maquinarias tendrán las revisiones técnicas correspondientes. La velocidad de tránsito vehicular será controlada a un máximo de 30 km/h. Las unidades que transporten arena contarán con cubierta protectora para evitar la dispersión de polvo. Se realizará un monitoreo semestral de la calidad del aire según el Plan de Vigilancia, Control y Seguimiento Ambiental. Se establecerá un horario para el ingreso y salida de vehículos pesados, de 6 a 10 a. m. y de 3 a 6 p. m.

Alteración de la fauna y flora silvestre: Se ejecutará el Programa de Manejo de Fauna y Flora, respetando los horarios antes mencionados.

Incremento del nivel socioeconómico: Se priorizará la contratación de pobladores del área de influencia y zonas aledañas (distrito de Calca) durante la etapa de construcción, según los términos del convenio. Se ejecutará el Plan de Relaciones Comunitarias y se implementará un código de conducta.

Mejora de los recursos turísticos: Se capacitará a los pobladores del área de influencia para desarrollar nuevos productos turísticos, en coordinación con la Municipalidad de Calca. Se establecerán coordinaciones con el Ministerio de Cultura para gestionar la posible sobrecarga del Sitio Arqueológico de Huchuy Qosqo. Se sensibilizará a los trabajadores y visitantes del Teleférico sobre la importancia de cuidar y proteger el Sitio Arqueológico de Huchuy Qosqo. Se implementarán paneles informativos y señaléticas que evidencien la presencia de Monumentos Arqueológicos Prehispánicos en el área del proyecto, y se delimitarán estos monumentos para evitar su intervención directa y salvaguardar su medio y contexto natural.

CONCLUSIONES

El teleférico propuesto para Huchuy-Qosqo es un proyecto viable y sostenible que mejorará la accesibilidad al sitio arqueológico sin comprometer su valor patrimonial. Para garantizar la sostenibilidad a largo plazo, es fundamental implementar un sistema de monitoreo constante que controle el número de visitantes y los impactos en el ambiente. Se recomienda que la comunidad local continúe desempeñando un rol activo en la gestión y el monitoreo del proyecto, asegurando que los beneficios económicos y sociales se mantengan. Asimismo, la coordinación con las autoridades locales será clave para el éxito continuado del teleférico como alternativa turística.

La evaluación del impacto ambiental del teleférico muestra una predominancia de impactos moderados, afectando principalmente la calidad del aire, el suelo, el paisaje y el ruido. Para mitigar estos efectos, se aplicarán medidas como programas de riego diario en el área del proyecto para reducir la dispersión de partículas, regulación de la velocidad de tránsito, horarios de circulación específicos, señalización para evitar el uso de claxon, prohibición de desbroces en áreas naturales y monitoreos constantes. En cuanto al paisaje, los componentes se integrarán utilizando una arquitectura contemporánea que armonice con el entorno.

El teleférico es un proyecto sostenible de importancia nacional, ya que mejorará la calidad de vida de la población y potenciará el turismo cultural en el sitio arqueológico de Huchuy-Qosqo, respetando su capacidad de carga máxima. Este proyecto, además, ofrecerá impresionantes vistas del Valle Sagrado, considerado patrimonio nacional.

En conclusión, el teleférico de Huchuy-Qosqo promoverá la difusión de la cultura peruana a través de este sitio arqueológico y ayudará a distribuir la afluencia de visitantes, aliviando la presión turística sobre Machu Picchu.

RECOMENDACIONES

Una vez implementado el teleférico en la zona arqueológica de Huchuy Qosqo, es fundamental establecer un plan de monitoreo continuo para asegurar la preservación del sitio y el adecuado funcionamiento de la infraestructura. Se recomienda realizar monitoreos ambientales, como la calidad del suelo, biológicos, ruido y vibraciones; es propicio también realizar el control del tráfico turístico, además del mantenimiento preventivo del teleférico.

Las limitaciones del proyecto a largo plazo en la comunidad local pueden incrementar el costo de vida, así como la congestión debido al alto flujo turístico, ejerciendo una presión en la infraestructura local, dificultando el acceso y la tranquilidad de los residentes. Por lo que se recomienda una planificación rigurosa y participativa, para mantener una sostenibilidad a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS

- Araujo Aguirre, W. E. y Leo Rossi, E. A. (2019). *Análisis del impacto económico del sistema de telecabinas Kuélap en el turismo de la región de Amazonas, periodo 2017-2018* [Tesis de maestría, Neumann Business School]. Repositorio Institucional Neumann Business School. <https://repositorio.epnewman.edu.pe/handle/20.500.12892/120>
- Butler, R. W. (1980). The concept of a tourist area cycle of evolution: Implications for management of resources. *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, 24(1), 5–12. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1980.tb00970.x>
- Castro, A., Arrunátegui, J. C., Castro, S., Harman, Ú., y Zevallos, R. (2014). *Pobreza y desafíos tecnológicos en comunidades del Cusco*. Fondo Editorial Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/1f5e75ac-b9fd-4406-b19d-cf140e0811ca>
- Cifuentes, M. (1992). *Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1139>
- Conesa, V. (2011). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (2ª ed.). Editorial Mundi-Prensa. <https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/1613/Asignaturas/1818/Archivo1.5036.pdf>
- Copa Bartolomé, C. N. y Quispe Condori, C. C. (2020). *Estudio de mercado turístico para la empresa estatal de transporte por cable "Mi Teleférico" en las líneas roja, amarilla y verde* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional de la Universidad Mayor de San Andrés. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/24651>
- Doppelmayr. (n.d.). *Information and solutions*. Recuperado de <https://www.doppelmayr.com/en/>

Kvam, R. (2018). *Evaluación del impacto social: Integrando los aspectos sociales en los proyectos de desarrollo*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://publications.iadb.org/es/evaluacion-del-impacto-social-integrando-los-aspectos-sociales-en-los-proyectos-de-desarrollo>

López Salcedo, M. (2014). *Manual de intervención social para proyectos de saneamiento*. Editatú Editores.

Perú Rail y Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (MINCETUR). (1998). *Contrato para el diseño, suministro de bienes y servicios, construcción y explotación del teleférico Aguas Calientes - Machu Picchu*. Lima, Perú. <https://www.investinperu.pe/RepositorioAPS/0/0/JER/PATELEFERICOMACHUPICCHU/Contrato.pdf>

Sacristán, E. (6 de agosto de 2016). *Cien años cruzando el Niágara con el teleférico de un genio español*. Agencia SINC. <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/Cien-anos-cruzando-el-Niagara-con-el-teleferico-de-un-genio-espanol>

Sara-Lafosse, C. G. (2011). *Guía metodológica para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública del sector turismo*. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR).

Inteligencia Artificial
¿Un Aliado para la Sostenibilidad?

Guillermo Edmundo Obando Navarro

Doctorando en Ciencias de la Educación, Magister en Educación Virtual,

Docente Investigador Grupo e-TIC

Mail: guillermo.obandon@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9465-8350>

Filiación Institucional: Universidad de Nariño, Colombia

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Obando Navarro, G. E. (2024). Inteligencia artificial: ¿un aliado para la sostenibilidad? en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 567-606). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

Este capítulo hace un amplio recorrido por la ciencia, la tecnología, el orden social actual, la inteligencia artificial y los múltiples intentos que ha hecho la humanidad por producir una máquina inteligente, pero aclarando al mismo tiempo los límites que han tenido estos intentos y la diferencia con lo que sucede actualmente, donde ya existen máquinas con un gran poder computacional e igualmente una enorme acumulación de datos, que son el insumo de estas plataformas tecnológicas. La inteligencia artificial (IA) es una herramienta y, como cualquier otra herramienta construida por humanos, beneficia a la sociedad, pero también genera desafíos como los ambientales, por lo que su desarrollo debe hacerse garantizando prácticas sustentables. Finalmente, se muestra cómo la IA puede contribuir, no solo al cumplimiento de la agenda 2030, sino a todos los objetivos de desarrollo sostenible a largo plazo.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, aprendizaje automático, chatGPT, desarrollo sostenible, ODS, prueba de Turing.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE. AN ALLY FOR SUSTAINABILITY?

ABSTRACT

This chapter takes a broad tour of science, technology, the current social order, artificial intelligence and the multiple attempts that humanity has made to produce an intelligent machine, but at the same time clarifying the limits that these attempts have had and the difference with what is currently happening, where there are already machines with great computational power and equally an enormous accumulation of data, which are the input of these technological platforms. Artificial intelligence (AI) is a tool and like any other tool built by humans it benefits society, but it also generates challenges such as environmental ones, so its development must be done guaranteeing sustainable practices.

Keywords: Artificial Intelligence, Machine Learning, ChatGPT, Sustainable Development, SDG, Turing test.

INTRODUCCIÓN

Este es un trabajo de divulgación que ofrece al lector una nueva visión del impacto que ha generado la inteligencia artificial (IA) en la vida cotidiana y, en general, de los acelerados cambios que las tecnologías de la información y la comunicación producen en la sociedad actual. Al mismo tiempo, es una aproximación a una comprensión sencilla del funcionamiento de estas tecnologías, para lo cual se hace un recorrido por cada uno de sus elementos o componentes, que permiten una definición más precisa de estos conceptos.

Se revisa el impacto exponencial que tuvo el recibimiento de ChatGPT: "programa de inteligencia artificial", capaz de generar textos como respuestas a preguntas de todo tipo, aplicación de acceso público, que fue liberada en noviembre de 2022. En esta sección, el capítulo muestra, de forma muy sencilla y comprensible y con el menor número posible de términos técnicos, en que consiste la prueba de Turing.

Con esta aclaración se pasará a mostrar que, al evidenciar esta prueba, que se había intentado desde hacía muchos años, se produjo un altísimo impacto al recibir respuestas de un entorno de IA, que tienen coherencia o a las que se les puede atribuir consistencia lógica, similar a la que podríamos atribuirle a la respuesta de un ser humano. Se aclarará, adicionalmente, que hoy se tienen IA Generativas que no son otra cosa que redes neuronales artificiales mejor entrenadas, con resultados de gran precisión.

Con ese preámbulo, se pasa a hacer una reflexión crítica de la IA donde se muestra la gran brecha tecnológica que ya se produjo, con los países que no tienen las condiciones para su explotación y en general con el sur global, pero al mismo tiempo se muestra un camino para su adopción y el aporte que la IA puede hacer, para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Finalmente, se abordan los problemas éticos que deben plantearse tanto para la adopción de la IA como para el desarrollo de la misma, para lo cual se sugieren unos compromisos a adoptar con urgencia para mitigar los riesgos asociados a los sesgos de la IA: privacidad, desplazamiento laboral, discriminación, manipulación y mal uso, dependencia tecnológica y la huella ambiental que esta produce.

MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

La inteligencia artificial (IA), esa avanzada tecnología constituida por distintos elementos como datos, algoritmos, conectividad, hardware, dispositivos de almacenamiento, y demás componentes que han crecido exponencialmente en la última década, ha contribuido especialmente a aumentar el poder de las TIC. El uso adecuado de esta, puede convertirse en una gran oportunidad para el desarrollo sostenible, sin desconocer los riesgos simultáneos que también se deben enfrentar.

Por lo tanto, hay que ubicar a la IA en el entorno de las TIC para abordarla como problema general de la Teoría Sociológica. Un resultado muy importante se logra al abordar el impacto de la IA como otra forma de comunicación.

Esta investigación que pretende validar y verificar la emergencia de esta nueva forma de comunicación, empieza por resaltar las funciones comunicativas de las TIC, para rescatar su estatuto sociológico que ha sido desconocido permanentemente, dejando como consecuencia, que estas sean tratadas asimétricamente, o sea como un simple factor tecnológico (Forte et al., 2012).

Marcareño, en su análisis del fenómeno de las TIC, retoma el concepto de obstáculos epistemológicos y, según Forte et al. (2012), distingue tres obstáculos básicos:

1. **Tecnologicismo:** las TIC son explicadas mediante una reducción a sus características tecnológicas, sin consideración sociológica sobre su dinámica comunicativa.
2. **Sociologicismo:** las TIC son tratadas asimétricamente como factores dependientes de estructuras sociales mayores, sin consideración analítica por sus especificidades tecnológicas, comunicativas y sociales.
3. **Sobrecarga diacrónica:** las TIC son imputadas con pretensiones diacrónicas y se espera que devuelvan criterios inequívocos para distinguir "etapas" dentro de la evolución societal reciente, sin ponderarlas adecuadamente dentro del marco de una teoría de la sociedad.

Se cae en tecnologicismo cuando en las investigaciones sociales se describen las TIC a partir de sus propiedades técnicas, reduciéndolas a esas funcionalidades técnicas. Ahora, si estas descripciones se usan para delimitar las funciones que

las TIC prestan a la estructura social, al reducir las TIC a esas funcionalidades se incurre en sociologismo. Cuando se busca establecer la evolución de esas funcionalidades como saltos diacrónicos que expliquen los distintos periodos de la sociedad, se presenta una sobrecarga diacrónica.

Al tratar de enmarcar teóricamente el objeto de investigación se encuentran estos dos extremos explicativos, que dificultan una observación neutral de las TIC en general y de la inteligencia artificial en particular, razón por la que se ha tenido el cuidado de no caer en ninguno de esos dos extremos para este acercamiento, y se han ampliado las perspectivas teóricas disponibles para la elaboración de este estudio.

Se hará un recorrido desde mediados del siglo XX con los primeros intentos de definición de una máquina inteligente y la propuesta de una forma de evaluación de las inteligencias artificiales, destinada a comprobar qué tanto pueden imitar en su manera de comunicarse a un ser humano, pasando por todos los conceptos y elementos que hoy son necesarios para entender la IA, como una tecnología que aspira a aprender y a imitar al pensamiento humano, que muchas veces se torna imprecisa, pero que debe observarse, como cualquier otra herramienta tecnológica, como un beneficio para la sociedad, aunque genere igualmente nuevos retos, por lo cual su desarrollo debe hacerse con prácticas sostenibles.

METODOLOGÍA

Esta investigación indaga por el impacto social que se produjo a partir de la aparición del programa de inteligencia artificial ChatGPT, programa capaz de generar textos como respuestas a preguntas de todo tipo. Para tratar de superar estos obstáculos epistemológicos ya mencionados, se utilizará la observación de segundo orden como metodología, para percibir lo que otros dicen de la IA, sin caer en ninguno de los dos extremos.

La observación de sistemas sociales es una observación de segundo orden, es decir, una observación de una observación. Según Hellmann (2011), este concepto marca el tránsito del paradigma ontológico al constructivismo radical, donde la observación de primer orden percibe el mundo directamente, mientras que la de segundo orden lo conoce a través de la observación de otros.

RESULTADOS

¿QUÉ SUCEDIÓ EN NOVIEMBRE DE 2022, CUANDO SE LIBERÓ CHATGPT GENERANDO UN IMPACTO GLOBAL INMEDIATO?

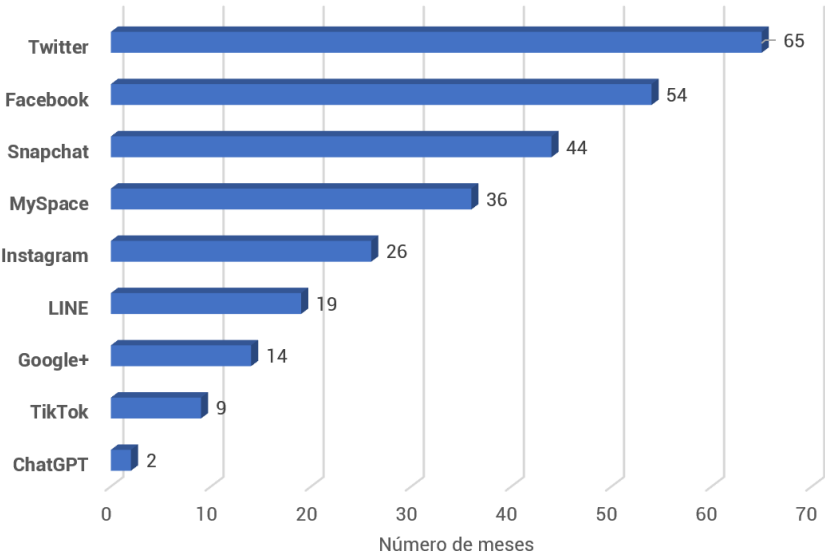
La empresa californiana OpenAI puso a disposición del público ChatGPT: “primera herramienta de inteligencia artificial generativa (IAGen)”, capaz de generar textos como respuestas a preguntas de todo tipo, de uso sencillo y amplia disponibilidad para el público.

¿CÓMO SE PUEDE MEDIR ESTE IMPACTO EXPERIMENTADO A PARTIR DEL 30 DE NOVIEMBRE DE 2022?

Una alternativa de medición es la comparación entre la rápida adopción que tuvo ChatGPT en los dos primeros meses de su lanzamiento, con lo sucedido con las redes sociales, para lo cual se toma como parámetro el tope de 100 millones de usuarios. La siguiente gráfica muestra este comparativo:

Figura 1

Récord de ChatGPT para alcanzar 100 millones de usuarios comparado con las Redes Sociales



Nota. Elaboración propia a partir de datos de Fernández (2024)

¿DE QUÉ FORMA ESTÁN CONECTADOS LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y EL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO?

El aprendizaje automático es una rama de la inteligencia artificial que le permite a una máquina o un sistema, aprender y mejorar de forma automática a partir de la experiencia, para realizar tareas por sí mismo.

Cabe señalar que hay diferentes componentes de la IA: aprendizaje automático, aprendizaje profundo, redes neuronales, análisis predictivo, procesamiento de lenguaje natural, sistemas expertos, generación de lenguaje natural, etc. Esta última, la generación de lenguaje natural es el tipo de sistema de inteligencia artificial que aplica ChatGPT, aplicación que, apenas hizo su aparición el pasado 30 de noviembre de 2022, en solo dos meses logró 100 millones de usuarios activos que demuestran, no solo la gran velocidad de adopción que tienen actualmente estas tecnologías, sino que también la convirtió en la fuente de las mayores preocupaciones, en especial para el sector educativo, entre otras áreas.

Entonces, para entender la IA, hay que empezar por comprender que es el aprendizaje automático. Este consiste en entrenar a una aplicación computarizada para el reconocimiento de patrones, para hacer predicciones y para que aprenda de su propia experiencia, sin necesidad de que esto se haya programado previamente.

Para entender lo que es la inteligencia artificial sin recurrir a conceptos técnicos, se puede partir de los ejemplos propuestos por el profesor Robert Sokolowski en el ya clásico libro *El nuevo debate sobre la inteligencia artificial*, donde analiza la relación entre la inteligencia natural y la inteligencia artificial (Graubard, 1999).

Es importante aclarar la ambigüedad que rodea a la palabra artificial. Este adjetivo se utiliza de dos maneras diferentes, por lo que resulta fundamental determinar cuál de ellas aplica en el término inteligencia artificial:

La palabra artificial se puede aplicar en uno de sus sentidos cuando se aplica, por ejemplo, a flores, y en el otro sentido cuando se aplica, por ejemplo, a la luz. En los dos casos, el término artificial hace referencia a algo que es fabricado.

En el primer caso, el término artificial se aplica a algo que parece ser, pero no es lo que parece. Aquí lo artificial es lo meramente aparente. Las flores artificiales son hechas de papel, y no son flores en absoluto. Cualquiera que las tome por flores está equivocado. Pero la luz artificial es luz e ilumina. Es fabricada como un sustituto de la luz natural, pero una vez fabricada, es lo que parece ser. En este caso, lo artificial no es lo meramente aparente; la apariencia revela lo que es.

¿EN QUÉ SENTIDO SE USA LA PALABRA ARTIFICIAL CUANDO SE HABLA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL?

Si el término se usa en el primero de los sentidos, la IA sería meramente aparente y lo que esta muestra, es una ilusión de cierta clase de inteligencia, pero si, por el contrario, se usa en el segundo de los sentidos, la IA sería algo genuino.

Alan Turing había establecido como principio que, si una máquina se comporta inteligentemente, se le debe acreditar inteligencia.

Así que la conducta es la clave, pero aquí conviene detenerse un momento a fin de verificar si la prueba de Turing puede seguir siendo, por sí sola, el criterio para dirimir la inteligencia de las máquinas.

LA PRUEBA DE TURING

Alan Turing fue un matemático, lógico, informático teórico, criptógrafo, filósofo y biólogo teórico británico.

Es considerado como uno de los padres de la ciencia de la computación y precursor de la informática moderna. Proporcionó una formalización influyente de los conceptos de algoritmo y computación: la máquina de Turing.

Figura 2

Escultura de pizarra de Alan Turing que se alza en el antiguo cuartel general de descifrado de códigos, Bletchley Park



Nota. Fotografía de Matthew Oldfield, Editorial Photography. Fuente: Alamy Stock Photo.

Alan Turing desempeñó un papel crucial como colaborador del gobierno británico durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), liderando un proyecto destinado a descifrar los códigos de comunicación alemanes generados por la máquina Enigma.

También es conocido por la prueba o test de Turing, que se basa originalmente en el “juego de la imitación” descrito por Turing en *Computing Machinery and Intelligence*, publicado en la revista *Mind* (Turing, 1950).

El juego de la imitación se juega con tres personas, un hombre (A), una mujer (B) y un interrogador (C), que puede ser de cualquier género. El interrogador permanece en una habitación separada de los otros dos. El objetivo del juego para el interrogador es determinar cuál de los dos es el hombre y cuál es la mujer a través de preguntas y respuestas escritas, mientras que el hombre tenía que fingir ser mujer para llevar al interrogador a una equivocación.

Turing partió de este juego, cambio las reglas y remplazó los participantes por un humano y una máquina. La tarea del interrogador era distinguir al humano de la máquina (Turing, 1950).

Ahora bien, en esta nueva versión del juego, la prueba para la máquina era mostrar comportamiento humano. Para Turing, una máquina solamente podía considerarse inteligente si podía imitar respuestas humanas. La máquina pasa la prueba si el interrogador no puede diferenciar las respuestas del humano de las de la máquina.

Y este es el origen del “Test o Prueba de Turing” que hoy conocemos, y que Turing estableció antes de la existencia del término “Inteligencia Artificial”, sentando las bases para medir la “inteligencia” de una máquina.

En las circunstancias actuales, los requisitos para que una máquina pueda pasar la prueba de Turing son (Padamkar, 2023):

1. Procesamiento de lenguaje natural: Para comprender el lenguaje natural en el que se comunica el interrogador y para elaborar respuestas coherentes.
2. Representación del conocimiento: Debe poder almacenar y recuperar información en tiempo real para comunicarse eficazmente con el interrogador.
3. Razonamiento automatizado: la máquina debe poder hacer inferencias lógicas y razonables basadas en información previamente almacenada. Esta inferencia lógica puede engañar al interrogador haciéndole creer que está conversando con un humano.
4. Aprendizaje automático: la máquina debe aprender de sus errores pasados y debe tener la capacidad de reconocer patrones en la conversación, para responder de manera humana.

Estos requisitos varían dependiendo de la versión de la prueba de Turing, como las capacidades motoras para realizar acciones, la visión por computadora para detectar objetos, etc.

Hoy en día la prueba de Turing sigue siendo una medida para la inteligencia artificial, aunque también se puede criticar ya sea por su simplicidad o por no incluir todas las facetas de la inteligencia humana como la empatía, la conciencia, las emociones y las demás habilidades importantes de nuestra inteligencia que, por ahora, para bien o para mal, no logra replicar una máquina.

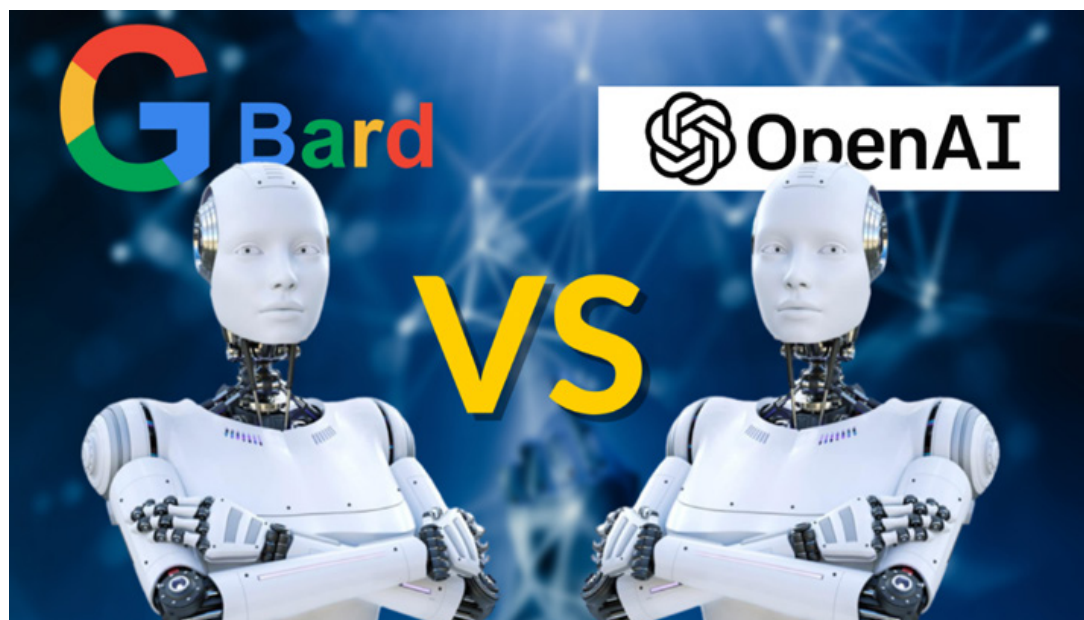
Sin embargo, en la investigación en inteligencia artificial, la prueba de Turing sigue siendo de gran importancia en las tecnologías de procesamiento de lenguaje natural y en los chatbots actuales.

¿POR QUÉ SE HABLA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA?

La inteligencia artificial generativa (en adelante IAGen), es una tecnología de inteligencia artificial que genera contenido nuevo, a partir de un entrenamiento con grandes volúmenes de datos. En especial, en ChatGPT se generan contenidos como respuesta a preguntas en lenguaje natural introducidas en interfaces conversacionales, conocidos como Prompts.

Figura 3

ChatGPT vs Google BARD: Herramientas destacadas en el ámbito de la generación de texto



Nota. Imagen tomada de Jonathan Lluch: <https://jonathanlluch.com/blog/chatgpt-vs-google-bard-comparativa-cual-es-mejor/>

Los datos son como el combustible que alimenta un motor de operaciones que utiliza la IA y para desatar el poder de la IA se requiere de una infraestructura adecuada en la fase de entrenamiento, con gran poder de almacenamiento, redes y

capacidad de procesamiento para manejar grandes volúmenes de datos en tiempo real.

Cada vez que se navega en la Internet, se deja un rastro en las páginas visitadas, en las redes sociales donde hay interacción y se producen conversaciones, en las diferentes operaciones que se realizan en los teléfonos móviles. ¿Pero para dónde va esa información que se deja diariamente? Uno de los principales usos que se les ha dado a estos datos, es el de servir para entrenamiento de las aplicaciones de IAGen.

Detrás de cada consulta que se hace a ChatGPT, está el entrenamiento previo de las bases de datos GPT de OpenAI, seguido del procesamiento continuo de las consultas y la información que se le proporciona para elaborar las respuestas.

CUESTIONES ÉTICAS DE LA IA

Es necesario iniciar la discusión o análisis de la IA desde los distintos enfoques que posibilitan esta actividad, con la publicación de artículos, la realización de congresos y conferencias, que aborden las consecuencias éticas y políticas de la adopción y uso de la IA, en las diferentes dimensiones de nuestra sociedad. La academia debe iniciar el debate de la IA, a fin de aclarar estos términos y transformar algunos mitos que se han creado, sobre todo, por el uso del término de Inteligencia.

Parafraseando a Esposito (2022), hace más de 2000 años nuestra civilización atravesó una revolución similar. En el Fedro, diálogo platónico posterior a La República, Platón manifiesta una preocupación similar y decía que era posible la pérdida de la memoria al empezar a usar un apoyo externo (la escritura) y que, al consignar los conocimientos en la escritura, esta capacidad fundamental de la memoria se perdería para siempre. Platón advirtió que la escritura llevaría a la humanidad a perder el contenido fundamental de la civilización y que si se cuestionaba esa tecnología (la escritura), se podría verificar que no creaba una novedad verdadera, sino que decía lo que ya se sabía. Solo repetía algo que ya se conocía. Agregó también Platón, que la memoria es la facultad fundamental de la mente humana al no requerir un apoyo externo.

Esto es exactamente lo mismo que se dice hoy cuando se opina sobre ChatGPT y sobre la IA generativa: Son inteligentes, pero no entienden el contenido.

Platón también se preocupaba porque con la escritura, los textos podrían estar en todas partes y llegar a manos no solamente de quienes la entienden, sino de quienes no sabrían qué hacer con esa información. Lo mismo sucede hoy en día con la información y con ChatGPT.

Figura 4

Imagen de Fedro basada en la descripción clásica



Nota. Imagen generada en ChatGPT 4

Ahora bien, Platón tenía razón porque la memoria después de la escritura efectivamente se pierde, pero lo que sucedió fue que nuestra civilización avanzó. La escritura inició la historia y permitió que la sociedad pudiera recordar mucho más, pero de forma distinta. Lo que cambió fue la forma de comunicarse. El error de Platón fue no comprender que lo que cambió fue la comunicación. Lo que pasó con la memoria fue que simplemente cambió de soporte y se virtualizó. La IA generativa es una nueva herramienta y entonces debe quedar claro que hay que enfocarse en la forma en que cambia la comunicación, más que en la misma IA. Los algoritmos recientes no intentan copiar la inteligencia, así no funcionan. Lo que hacen es buscar patrones en la Big Data, pero los algoritmos no necesitan entender lo que encuentran.

En este sentido, se puede pasar de hablar de la IA para centrarse en los algoritmos. Las máquinas no funcionan como los seres humanos, solo son distintas, y lo que se debe hacer, entonces, es pasar a entender cómo funcionan los algoritmos. Ahora bien, las máquinas no quieren ser inteligentes, no han aprendido a ser inteligentes, sino que han aprendido a participar en la comunicación. Los algoritmos no piensan, pero tienen la capacidad de generar un aporte al contenido de la comunicación. Por esto hay tanto miedo al creer que ChatGPT pueda llegar a ser autónomo y superpoderoso, pero se comprenderá que estos ni siquiera lo necesitan, cuando se entienda el funcionamiento de los algoritmos.

Tampoco se puede decir que no hay nada que temer. Si la IA generativa afecta las formas de comunicación, y si los programadores no entienden cómo funciona, entonces ¿cómo controlar a esta máquina sesgada? ChatGPT comete errores, pero por problemas de comunicación y de datos, no de inteligencia. La inteligencia humana utiliza información que puede convertir en conocimiento, pero los algoritmos funcionan con datos, no con información. En los algoritmos hay sesgos comunicativos, que son sesgos en la forma como se construyen estos algoritmos.

Figura 5

Representación futurista de Fedro, donde lo clásico se fusiona con elementos de tecnología avanzada y una estética futurista



Nota. Imagen generada en ChatGPT 4

Se puede ilustrar este aspecto con un ejemplo: se pudo verificar que el aprendizaje automático en los años sesenta y setenta se limitaba casi exclusivamente al uso de redes neuronales artificiales para aprender a clasificar datos y no era un tema central en investigaciones de IA. A partir de la década del ochenta, se empezó el desarrollo de nuevos métodos de aprendizaje, convirtiéndose en una de las áreas más estudiadas de la IA. De esta época, el método de aprendizaje más conocido, es el aprendizaje inductivo a través del uso de árboles de decisión. Casi todos los métodos de aprendizaje automático hacen inferencia de hipótesis a partir de datos. Estas inferencias son inductivas, al contrario de las inferencias deductivas de la lógica matemática. La diferencia es que, en las inferencias deductivas, que son consecuencia lógica de un conjunto de premisas, sus conclusiones son no falsables, mientras que, en las inferencias inductivas, se obtienen solamente hipótesis, susceptibles de ser falseadas con datos adicionales. Como ejemplo, se puede tomar un conjunto amplio de datos sobre pájaros que solo contiene información sobre pájaros blancos, caso en el cual un algoritmo de aprendizaje inductivo llegaría a la hipótesis de que todos los pájaros son blancos. Si en un tiempo posterior se le proporcionan nuevos datos con información sobre pájaros negros, la hipótesis anterior quedaría falseada.

¿Y EL BIG DATA?

Son datos a gran escala (del inglés big data), también llamados datos masivos, término utilizado para referirse a conjuntos de datos tan grandes y complejos, que requieren de aplicaciones no tradicionales de procesamiento de datos para tratarlos adecuadamente (inteligencia de datos). Los datos son la reproducción simbólica de un atributo o variable cuantitativa o cualitativa; según la RAE *«Información sobre algo concreto que permite su conocimiento exacto o sirve para deducir las consecuencias derivadas de un hecho»*.

En la sociedad actual, asistimos a una hiperconexión con el entorno (la tecnología fusiona los mundos físico, biológico y digital) y esto nos permite tener acceso permanente al Big Data.

¿QUÉ TIENE QUE VER EL BIG DATA CON LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?

Ambas tecnologías son dos caras de una misma moneda, que trabajan juntas para gestionar grandes cantidades de datos de forma eficiente.

Aunque todavía carente de regulaciones, esta nueva tecnología debería dejar más beneficios que desventajas: Por ejemplo, puede funcionar de forma absolutamente confiable. Más confiable que la tecnología de base donde se pierde el control. El input de los datos es sesgado.

En este nuevo escenario, surgen múltiples interrogantes, por lo que es de gran importancia, para el inicio de la discusión en torno a la IA, revisar las tres alternativas que se tienen para su adopción:

1. Investigación teórica en IA
2. Desarrollo de aplicaciones que usan IA
3. Uso de aplicaciones de IA

INVESTIGACIÓN TEÓRICA EN IA

La investigación teórica en IA no está al alcance del sur global, como se verá a continuación:

En su libro *Atlas de Inteligencia Artificial*, Kate Crawford argumenta que la IA no es artificial ni es inteligencia y nos muestra a una IA que "... Existe de forma corpórea, como algo material, hecho de recursos naturales, combustible, mano de obra, infraestructuras, logística, historias y clasificaciones" (Crawford, 2021, p. 29).

Entonces resulta que los sistemas de IA no son autónomos, racionales ni capaces de discernir algo sin un entrenamiento previo extensivo y computacionalmente intensivo, con enormes conjuntos de datos, reglas y recompensas predefinidas. Para construir IA a gran escala se requieren grandes inversiones de capital, con lo que estos sistemas de IA están diseñados para servir a intereses dominantes.

Por lo tanto, en un sentido más amplio, la IA depende de fuerzas económicas, políticas, culturales e históricas y una vez se hace esta conexión con estas

estructuras y sistemas sociales, se supera la noción de que la IA es un dominio puramente técnico.

Curiosamente, señala también esta autora que el término "inteligencia artificial" se usa más en el marketing que en la investigación. Y efectivamente, en la bibliografía técnica se utiliza más el término "aprendizaje automático".

Ahora, para entender que la IA es fundamentalmente política habría que sobrepasar el límite tecnológico de las redes neuronales artificiales y el reconocimiento de patrones y preguntarse entonces qué se está optimizando, para quién y quién toma las decisiones y así poder rastrear sus implicaciones. Más allá de los últimos modelos de aprendizaje automático, se hace necesaria una teoría de la IA que tenga en cuenta las corporaciones y estados que la manejan, la minería de extracción que deja una huella en el planeta, las prácticas laborales profundamente desiguales y la captura masiva de datos que la sustentan.

La inteligencia artificial (IA) busca capturar el planeta de forma que sea legible en la computadora. Según Crawford (2022), "esta es la ambición de la industria al crear y normalizar sus propios mapas para llevar al mundo a un panóptico digital: de la comunicación, del movimiento y de la mano de obra, con la pretensión final de sustituir otras formas de conocimiento" (p. 30).

La IA, más que una idea, una infraestructura o una tecnología, es una manera de ejercer poder y se puede convertir en otra manera de ver. Igualmente, es la muestra de un capital muy bien organizado que tiene el respaldo de grandes sistemas de extracción y logística. Son infraestructuras físicas que están generando impacto medioambiental y que van a alterar la forma en que se ve y se entiende el mundo.

DESARROLLO DE APLICACIONES QUE USAN IA

La segunda forma de adopción de esta tecnología se puede dar con desarrollos propios, domésticos, de aplicaciones que aprovechen los resultados ya obtenidos con redes neuronales generativas que están disponibles y que pueden ser de gran ayuda para el cumplimiento, no solo de la agenda 2030, sino de todos los objetivos de desarrollo sostenible a largo plazo.

Ver ejemplos detallados de aplicaciones a partir de la IA en el ítem "*La IA y el seguimiento de los ODS en el Sur Global*".

USO DE APLICACIONES DE IA

La tercera forma de adopción de la IA que tiene que ver con la intervención como usuarios de aplicaciones de IA, es la más común y se ha adoptado desprevénidamente, por ejemplo, cada vez que se hace una búsqueda en Google y otras plataformas o cuando se escoge una película sugerida por Netflix, y con mucha más precaución, por ejemplo, cuando se utiliza ChatGPT, Bard o cualquier chatbot en las redes sociales, pero en general estos algoritmos se han convertido en acompañantes y asistentes permanentes, cada vez que se hace uso de los distintos resultados provistos por las tecnologías de la información y la comunicación actuales.

¿Y CÓMO FUNCIONA ChatGPT?

ChatGPT es una IA Generativa (IAGen), la cual es una tecnología de inteligencia artificial (IA) basada en aprendizaje automático, que genera contenidos coherentes y creativos en respuesta a instrucciones escritas en interfaces conversacionales de lenguaje natural (prompts).

Esta IA generativa de textos utiliza un tipo de red neuronal llamada transformador de propósito general, que se conoce como modelo de lenguaje de gran tamaño (LLM). El tipo de LLM utilizado por ChatGPT se conoce como transformador generativo pre-entrenado o GPT, por sus siglas en inglés (de ahí el "GPT" en "ChatGPT").

Como se ve en la tabla 1, la cantidad de parámetros utilizados por cada modelo de GPT crece exponencialmente. Estos parámetros son algo así como perillas que se ajustan para mejorar el rendimiento del GPT, y esto determina la forma en que el modelo procesa sus entradas y genera sus resultados. Esta gran cantidad de parámetros requiere volúmenes de datos, cada vez mayores, para su entrenamiento.

Es necesario recalcar que también se requiere una gran capacidad computacional para estos procesos de entrenamiento, capacidad que a partir del año 2012 se ha duplicado cada 3-4 meses (OpenAI, 2018).

Tabla 1

GPTs de OpenAI

Modelo	Lanzamiento	Cantidad de datos para entrenamiento	Cantidad de parámetros	Características
GPT-1	2018	40 GB	117 millones	Capaz de realizar tareas de procesamiento del lenguaje natural, como completar textos y responder preguntas.
GPT-2	2019	40 GB	1,500 millones	Capaz de realizar tareas más complejas de procesamiento del lenguaje natural, como traducción automática y elaboración de resúmenes.
GPT-3	2020	17,000 GB	175,000 millones	Capaz de realizar tareas avanzadas de procesamiento del lenguaje natural, como escribir párrafos coherentes y generar artículos completos. También es capaz de adaptarse a nuevas tareas a partir de unos pocos ejemplos.
GPT-4 ⁶	2023	1,000,000 GB (Informado, sin confirmación)	170,000,000 millones (Informado, sin confirmación)	Confiabilidad aumentada, capacidad para procesar instrucciones más complejas.

Nota. ChatGPT está basado en GPT-3, desarrollado por OpenAI. Esta fue la tercera evolución de su GPT; la primera fue lanzada en 2018 y la más reciente, la GPT-4, en marzo de 2023. Cada GPT de OpenAI mejoró iterativamente la versión anterior a través de avances en arquitecturas de IA, métodos de entrenamiento y técnicas de optimización. Imagen tomada de la Guía para el uso de IA generativa en educación e investigación. Unesco (2024).

Desde 2023 se tiene el GPT más reciente de OpenAI, GPT-4, que acepta imágenes además de texto en sus prompts, lo cual es una transición hacia la IAGen de imágenes. En principio se puede creer que la IAGen es fácil de usar; sin embargo, para obtener resultados satisfactorios, se necesita la intervención de personas con capacidades apropiadas para validar y evaluar críticamente los resultados antes de ser utilizados.

Ahora sí, conviene hacer un recorrido por los diferentes conceptos y componentes relacionados con lo que se entiende por inteligencia artificial, para ver de qué manera se pueden aplicar y cómo aportan al desarrollo sostenible. En los siguientes ejemplos se puede ver la aplicación de cada componente de la IA para el cumplimiento de los ODS, en las dos formas de adopción que están al alcance de América Latina y el Caribe: El uso y el desarrollo de aplicaciones de IA.

LA IA Y EL SEGUIMIENTO DE LOS ODS EN EL SUR GLOBAL

Con el propósito de ampliar la segunda forma de adopción de la IA, “El desarrollo de aplicaciones que usan IA”, se revisan a continuación, posibles aplicaciones con ampliación de algunos casos, resultado del seguimiento que hace el CEPEI, que es un centro de pensamiento independiente, asentado en Latinoamérica y comprometido con posicionar al Sur Global, como líder en la producción y uso de datos para el desarrollo sostenible.

ALFABETIZACIÓN ESTADÍSTICA

También llamada “alfabetización en datos”, es la capacidad para leer, escribir, comprender, crear, razonar y comunicar con datos, para que a través de la comprensión de su significado estadístico se conviertan en información para hacer correcto uso de ellos. La comprensión de los datos y su manejo es algo así como un “lenguaje técnico” que debería ser del conocimiento de quienes quieran beneficiarse plenamente de las ventajas de las nuevas tecnologías.

Contribución al desarrollo sostenible

La alfabetización en el manejo de datos habilita a las sociedades para hacer las preguntas correctas a los datos y las máquinas, generar conocimiento, tomar decisiones y comunicar significados a los demás. Entre más alto es el nivel de alfabetización estadística de las personas y sociedades, es mayor la posibilidad de ejercer control sobre la Inteligencia Artificial y mayor la comprensión sobre los riesgos asociados, la privacidad de datos o la transparencia de su gestión y uso. Una sociedad alfabetizada en datos puede contribuir al diseño y seguimiento de políticas públicas para el desarrollo sostenible.

ALGORITMO

Conjunto de reglas que, incluidas en la programación de una máquina, le permiten aprender por sí misma a realizar una tarea. Los sistemas de IA utilizan algoritmos de aprendizaje automático, para descubrir nuevos conocimientos y patrones en los datos, o para predecir valores de salida a partir de un conjunto determinado de variables de entrada.

Si los algoritmos tienen deficiencias o sesgos, la máquina los replicará en la tarea asignada. El algoritmo más conocido, y seguramente más utilizado, es *Pagerank*, que es el utilizado por Google para encontrar resultados a partir de la información de una consulta realizada, las búsquedas anteriores, el perfil, la ubicación geográfica, la confiabilidad de las páginas con posibles resultados, etc.

Contribución al desarrollo sostenible

Si los algoritmos pueden encontrar relaciones en los datos y detectar patrones, tendencias y proyecciones, pueden contribuir significativamente a analizar la información necesaria para el seguimiento de los ODS.

"Por ejemplo, la plataforma **Global Fishing Watch**, establecida como resultado de un esfuerzo colaborativo entre Google, SkyTruth y Oceana, muestra el movimiento de los buques en el océano casi en tiempo real. **Un algoritmo** identifica actividades sospechosas de pesca ilegal, señala las áreas en que tienen lugar e identifica puntos críticos de posibles actividades de pesca prohibida, contribuyendo al cuidado de la vida submarina (ODS 14)" Surasky (2024).

ALGORITMO DE BÚSQUEDA

Es un conjunto de instrucciones diseñadas para localizar un elemento con ciertas propiedades dentro de una estructura de datos. Utiliza una cola de prioridad y una búsqueda heurística. Es la forma como las computadoras encuentran el camino apropiado y más corto a través de un laberinto de posibilidades.

Contribución al desarrollo sostenible

"**Winnow Vision** es una tecnología que permite a las cocinas de producción masiva (restaurantes, hoteles, etc.) realizar un seguimiento automático del desperdicio de alimentos que provocan. Utiliza visión por computadora (un campo de la IA), para que los chefs identifiquen los desperdicios que generan y ajusten su producción para reducir costos y optimizar tiempos. Se estima que su aplicación evita que más de 36 millones de comidas terminen en la basura cada año" Surasky (2024).

ALGORITMOS DE ORDENAMIENTO

Son los algoritmos más antiguos que se utilizan para organizar un conjunto de elementos preexistentes, siguiendo un criterio determinado. Actualmente, se tienen algoritmos de ordenamiento muy sofisticados y sus resultados se experimentan continuamente, por ejemplo, cuando se reciben sugerencias de qué películas de Netflix son las más adecuadas tomando como base las preferencias personales, de género cinematográfico, actores, directores de cine, duración, idioma, entre otros.

¿Cómo pueden estos algoritmos aportar al desarrollo sostenible?

"El Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos junto con el Instituto Danés de Derechos Humanos desarrollaron un **Índice Universal de Derechos Humanos**, basado en un algoritmo que relaciona las recomendaciones que hace la ONU a cada país y el impulso del avance de metas de desarrollo sostenible. El avance obtenido es información organizada de estos resultados por país, tema, o grupo de personas afectadas. Así se fortalece la eficiencia de los esfuerzos de implementación de la Agenda 2030 y al mismo tiempo se hace visibles sus vínculos con el progreso de los derechos humanos", Surasky (2024).

BIG DATA

Se refiere al manejo de la gran cantidad de datos existente y que pueden procesarse y utilizarse en aplicaciones tradicionales o de IA, con el fin de realizar análisis predictivos, descriptivos y prescriptivos. Big Data e inteligencia artificial son interdependientes. Aunque ambas tecnologías son distintas, cada una necesita a la otra para funcionar a su más alta capacidad.

Aportes al desarrollo sostenible

"La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA) recopila datos tomados de sensores en tierra, mar y aire cada minuto de cada día. El resultado es una cantidad tan grande de datos que, para analizarlos y crear un pronóstico meteorológico, se deben utilizar máquinas y procesos no tradicionales. La NOAA utiliza múltiples herramientas de IA para poder dar sentido a todos los datos que recibe, y se ha dotado de un Plan Estratégico de IA 2021-2025", Surasky (2024).

CIENCIA DE DATOS

La Ciencia de Datos es la revolución científica más grande de los últimos 200 años, la cual aporta una nueva manera de asumir el análisis de datos, de explorar el Big Data y de utilizar las diferentes ramas de la IA. Es, ciertamente, un campo interdisciplinario que incluye áreas como la estadística, la informática, la lingüística, la ética y la ciencia de la información, para resolver problemas que involucran datos con la aplicación de métodos científicos.

Aportes al desarrollo sostenible

La ciencia de datos puede hacer grandes aportes al desarrollo sostenible. Provee a la Inteligencia Artificial de más y mejores datos de entrenamiento y a su vez utiliza los resultados que la IA produce autónomamente (ver “aprendizaje automático”).

No obstante, este encuentro entre la ciencia de datos y la IA genera también amenazas en áreas como la democracia de acceso a datos y la privacidad, y puede aumentar la brecha de datos existente entre aquellos con acceso y sin acceso a la IA y a la Internet. Por esta razón, se requiere trabajar en una ciencia de datos basada en valores y capacitar al público en general, para que pueda beneficiarse de sus resultados, impulsando la alfabetización estadística.

CHATBOT

Un chatbot, chat robot o bot es una herramienta de software que permite mantener una conversación con personas en tiempo real, mediante mensajes de texto o por voz. Ya se pueden encontrar chatbots en servicios de atención al cliente en todos los sectores.

Aportes al desarrollo sostenible

“El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo ha escogido al chatbot ‘Sara’ para dar información básica y apoyo sobre violencia de género a las mujeres en varios países de América Latina y el Caribe. ‘Sara’ es capaz de atender múltiples consultas a la vez durante las 24 horas, los 365 días del año” (Surasky, 2024). Ver figura 6.

Figura 6

Chatbot “SARA”, para atender a necesidades de mujeres víctimas de violencia



Nota. Captura de pantalla de chatbotsara.org

ANÁLISIS DE SENTIMIENTOS

Es el proceso de análisis de grandes volúmenes de texto para determinar si expresan un sentimiento o actitud positiva, negativa o neutra hacia objetos, personas o grupos de personas.

Aportes al desarrollo sostenible

“... en su informe Sentiment Analysis to Inform about the SDGs, CEPEI ha aplicado IA al seguimiento y clasificación de publicaciones que realizaban en Twitter (hoy X), usuarios de Colombia y Costa Rica, para conocer sus percepciones sobre las personas migrantes, lo que permite un mejor diseño de políticas públicas orientadas a proteger e integrar a estos grupos y detectar riesgos sociales latentes” Surasky (2024).

APRENDIZAJE AUTOMÁTICO (MACHINE LEARNING)

Es el desarrollo y creación de algoritmos y aplicación de modelos estadísticos, que ayudan a las máquinas a aprender con el fin de realizar tareas sin instrucciones explícitas ni inferencias. También les permite cambiar sus respuestas de acuerdo a la nueva información que el propio programa va generando, sin necesidad de intervención humana. Es así como lo hace Spotify, que utiliza aprendizaje automático para decidir qué canciones o artistas recomendar, al asociar las preferencias de varios usuarios: cuanta más música escucha un usuario, más conoce la máquina sobre sus gustos y podrá hacerle recomendaciones más acertadas.

Aportes al desarrollo sostenible

Surasky (2024) explica que "ProMED (Programa de Monitoreo de Enfermedades Emergentes) es un sistema de informes en línea, en tiempo real, que muestra los brotes de enfermedades infecciosas en todo el mundo. Analiza millones de datos provenientes de fuentes como reportes oficiales, notas de prensa, datos satelitales y reportes de observadores locales para monitorear posibles brotes de enfermedades infecciosas. A través de esta tecnología, 'aprende' de sus experiencias anteriores para aumentar la precisión de sus informes" (ver <https://promedmail.org/>).

APRENDIZAJE PROFUNDO (DEEP LEARNING)

Es un tipo de aprendizaje automático que entrena a una máquina para que realice tareas como el reconocimiento del habla, la identificación de imágenes o las predicciones que puede hacer una persona. Se basa en el uso de algoritmos en cascada, es decir, cada uno aprende de lo hecho por el anterior para finalmente construir un único resultado final. Esto es lo que hacen los asistentes virtuales de los teléfonos celulares o PC como Alexa y Siri.

Aportes al desarrollo sostenible

"En los documentos producidos por la ONU (propuestas de proyectos, informes, etc.) frecuentemente es necesario mapear las relaciones entre los temas que tratan y los ODS. El Programa de la ONU para el Medio Ambiente identificó que al hacer ese trabajo estaba perdiendo la oportunidad de incluir en sus documentos referencias

a ODS que quedaban fuera de su área de experiencia, pero que igualmente debían ser considerados. Para enfrentar ese problema creó el SDG-Meter, una plataforma web basada en un algoritmo de procesamiento de lenguaje natural, basado en aprendizaje profundo, que le permite analizar documentos de texto y calificar la relación con cada uno de los 17 ODS", Surasky (2024).

LA IA Y EL SEGUIMIENTO DE LOS ODS EN EL NORTE GLOBAL

Los bancos públicos de desarrollo están adoptando herramientas de inteligencia artificial para optimizar el impacto de sus financiamientos. Por ejemplo, la Agence Française de Développement (AFD), en junio de 2023, presentó su herramienta Prospector ODS (AFD, 2023).

Para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (ver cómo la AFD ha focalizado sus acciones en: <https://www.afd.fr/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible>), muchas instituciones y actores del desarrollo se han interesado en aplicar la inteligencia artificial. El más reciente ejemplo es la mesa redonda de la cumbre Finanzas en Común, celebrada del 4 al 6 de septiembre de 2023 en Cartagena (Colombia), sobre el tema del análisis de datos y la IA al servicio del impacto de los proyectos de desarrollo.

A la fecha, con los nuevos modelos de IAGen, se pueden analizar grandes cantidades de datos sobre los financiamientos del desarrollo sostenible, de manera instantánea, segura, fiable y verificable.

Según Régis Marodon, economista y consejero en financiamiento sostenible de la AFD, "originalmente, estos sistemas fueron creados por Facebook e Instagram para contextualizar textos, entender lo que gusta o no a los usuarios, y generar publicidades específicas. ¿Por qué no utilizarlas para trabajar en cuestiones complejas de desarrollo sostenible?" (AFD, 2023).

EL PROSPECTOR ODS

En muchos países el seguimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible se realiza de forma manual basándose en datos declarativos, por lo que en la AFD se creó esta nueva herramienta para medir la referencia a los ODS en cualquier tipo de documento:

El Prospector ODS, presentado en junio de 2023 y que se basa en un modelo de lenguaje creado por Facebook que, además de identificar palabras clave, puede contextualizar frases para analizar documentos de manera más precisa AFD (2023).

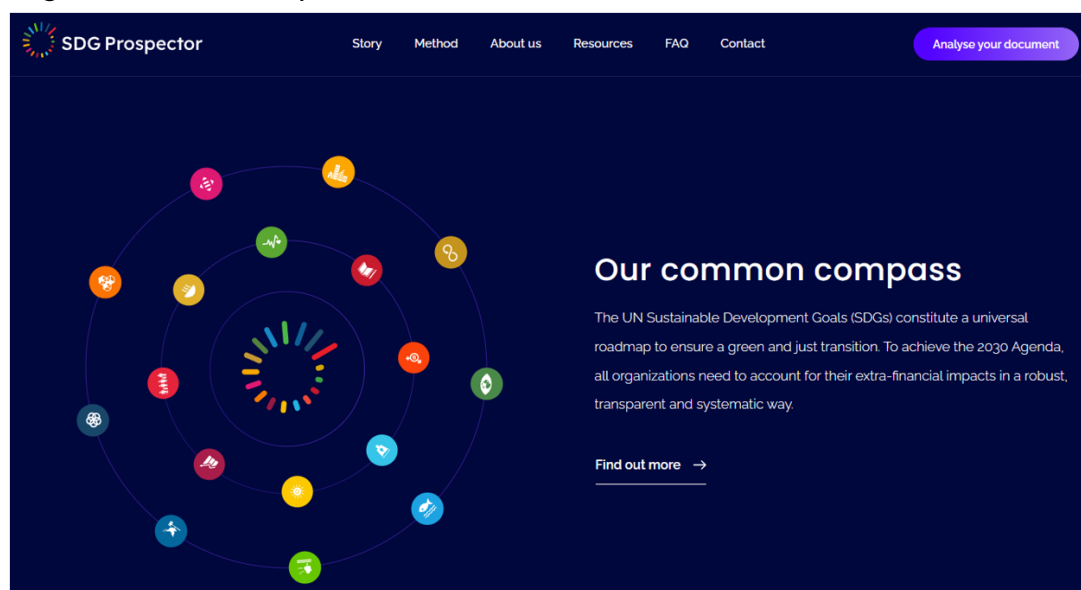
El Prospector ODS fue alimentado con cerca de 9.000 textos de las Naciones Unidas, gobiernos, ONG, documentos de proyectos, que resumen el universo de los ODS. AFD (2023).

Como ejemplo, el Prospector ODS puede cartografiar carteras de financiamiento y dar cuenta de la actividad de un actor en función de distintos criterios. ¿El apoyo de la AFD para luchar contra la pobreza depende más de las subvenciones o de los préstamos? ¿En qué país contribuye más al ODS n.º 6 sobre agua y saneamiento? Las respuestas se obtienen en cuestión de segundos. AFD (2023).

ODS CON MENOR ATENCIÓN

Figura 7

Página inicial del Prospector ODS



Nota. Consultar en: <https://sdgprospector.org/>

Un primer hallazgo de estos análisis ya generó una primera enseñanza: los ODS transversales como la igualdad de género, la reducción de la desigualdad y la

erradicación de la pobreza constituyen una parte mínima del discurso de los bancos públicos de desarrollo, contrariamente a lo que se esperaría.

Según Régis Marodon, economista de la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), "su tarea es buscar una aguja en un pajar. Nuestra ambición es proponer una herramienta de ayuda al análisis que resulte tan indispensable como lo es, por ejemplo, el software Excel en la computadora" (AFD, 2023).

El Prospector ODS ya es un valioso asistente para estos análisis, está disponible en el sitio web específico y todos pueden probarlo. El objetivo es seguir con esta investigación y enseñar al algoritmo a identificar los 169 objetivos de los 17 ODS. Según AFD (2023), "de esa manera, podrá trabajar sobre las interacciones entre objetivos. Por ejemplo, un proyecto de saneamiento tiene un impacto sobre la descontaminación de los ríos, pero también sobre la descontaminación de los océanos e indirectamente sobre la pesca artesanal. Podremos rastrear las cadenas de causalidad, con una real perspectiva de desarrollo sostenible".

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN INTERNACIONAL

Varias instituciones como la Our World in Data (2023), la United Nations (ONU, n.d.) o la Unión Europea (SDG Mapper) han creado sus propios algoritmos para mapear los ODS. (Ver <https://knowsdgs.jrc.ec.europa.eu/sdgmapper>)

Igualmente, para favorecer los intercambios en materia de IA y desarrollo sostenible, se creó un grupo de investigación internacional. Reúne alrededor de treinta especialistas de las Naciones Unidas, el sector privado y bancos públicos de desarrollo. Su funcionamiento está basado en la colaboración: compartir lo mejor de cada participante.

Lo que sigue es enriquecer esos programas con enormes volúmenes de datos para que identifiquen relaciones de causalidad que antes eran invisibles.

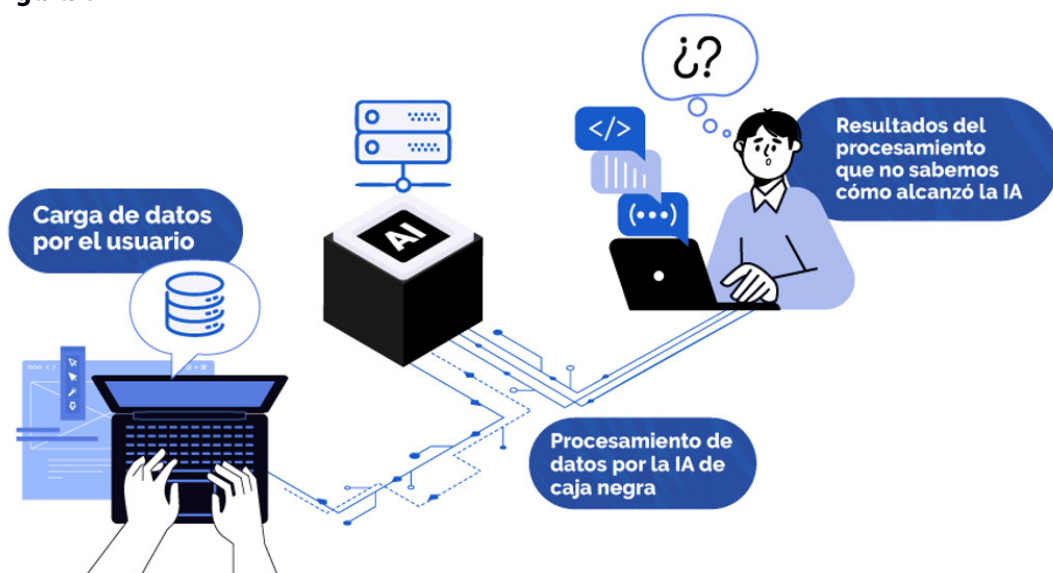
EL PROBLEMA DE LA CAJA NEGRA COMO UN DESAFÍO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Se conocen como modelos de Caja Negra (Black Box), los sistemas desarrollados

con base en redes neuronales artificiales (RNA), que realizan el proceso de decisión mediante la combinación de decenas de miles de neuronas, proceso que no está abierto a revisión e inspección y permanece desconocido para los programadores, y más aún para los usuarios. Esto dio origen a los sistemas de IAGen que llegan a conclusiones o decisiones sin que se pueda explicar cómo lo hacen, no son “transparentes” ni “explicables”, y esto impide establecer cómo obtienen sus resultados.

Como ejemplo está el caso de un programa de IA de Google que estaba en entrenamiento para hacer traducciones del bengalí al inglés, y adquirió la capacidad de entender todo el bengalí a partir de indicaciones mínimas. Esto, en principio, se vuelve inexplicable.

Figura 8



Nota. Imagen extraída del sitio web: <https://cepei.org/documents/abc-inteligencia-artificial-desarrollo-sostenible/>

Es importante aclarar que, mientras que el diseño general, incluidos los algoritmos, es explicable, los modelos específicos y sus parámetros, no son inspeccionables. Por esta razón, no se puede explicar un resultado específico. En el GPT-4 hay miles de millones de parámetros que almacenan los patrones aprendidos por el modelo para generar sus resultados.

Esta es la explicación de los resultados inesperados o no deseados. Además, los modelos de IAGen heredan los sesgos existentes en sus datos de entrenamiento y como no hay transparencia en sus modelos, no se pueden detectar.

IMPACTO DEL PROBLEMA DE LA CAJA NEGRA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Como se puede ver, la “caja negra” en la IA y en la IAGen se ha convertido en un desafío para el desarrollo sostenible. Es necesario ampliar la transparencia de estas aplicaciones para generar criterios mínimos a tener en cuenta, en las regulaciones de esta tecnología.

LOS SESGOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: UN DESAFÍO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Se entiende por sesgos a la tendencia sistemática de los algoritmos de inteligencia artificial a tomar decisiones incorrectas o injustas, lo que se puede convertir en discriminación, prejuicios o resultados inexactos.

Hay muchas fuentes de sesgos de la IA, como los sesgos de datos, sesgos algorítmicos, de diseño y desarrollo, contextuales, de confirmación, de interpretación, de retroalimentación, de omisión, entre otros.

En general son suposiciones hechas por un modelo, que modifican sus propios resultados y tienen su origen en las ideas y preconcepciones de las personas que crean los algoritmos con que trabaja una IA, o en la falta de precaución cuando se programa y entrena una IA para que “aprenda por sí misma”.

SESGOS EN LOS DATOS

La IA toma datos de internet para su entrenamiento, que de por sí ya es una fuente sesgada, dada la brecha digital que deja en desigualdad de condiciones a regiones del sur global, pobres en datos. Estos datos, al ser el combustible para el entrenamiento de la IA, son causantes de los mayores sesgos.

SESGOS EN LOS ALGORITMOS

Los algoritmos reflejan los valores de las personas que los desarrollan o entrenan. Por ejemplo, el sesgo de confirmación, que es la tendencia a preferir datos o información que confirma las propias creencias, se puede convertir en un algoritmo si el objetivo, ya sea intencional o no intencional, es demostrar una opinión o suposición. Un ejemplo de estos sesgos, es la discriminación racial, de género, edad u otros tipos de discriminación.

DESAFÍO DE LOS SESGOS AL DESARROLLO SOSTENIBLE

Los sesgos de la inteligencia artificial (IA) representan una barrera para el desarrollo sostenible, ya que producen desviaciones en los resultados que replican patrones discriminatorios del mundo real y, si no se abordan adecuadamente, pueden consolidarlos y reforzarlos. Por ejemplo, "en 2019, Goldman Sachs lanzó la Apple Card, una tarjeta de crédito cuyo monto límite asignado era definido por un programa de IA basado en el perfil crediticio de los solicitantes. Sin embargo, esta IA asignó montos mayores a hombres que a mujeres en igualdad de condiciones crediticias. La causa radicó en que los datos con los que se entrenó la IA reflejaban prácticas históricas discriminatorias en el otorgamiento de créditos evaluados por personas" (Surasky, 2024).

A estos sesgos hay que atribuirles los problemas más relevantes que se están presentando con la información resultante de la aplicación y uso de la IA: discriminación, manipulación, pérdida de la privacidad, desplazamiento laboral, mal uso de los datos, exclusión por razones de sexo, raza, origen nacional o familiar, lengua, religión, opinión política o filosófica.

RIESGOS ÉTICOS QUE PLANTEAN TODOS LOS SISTEMAS DE GEN

La IA implica riesgos para el desarrollo sostenible que deben ser abordados. Desde la generación de nuevas brechas de inequidad entre quienes son sus mayores desarrolladores y el resto del mundo, entre las personas que pueden acceder a su uso y aquellas que no, y en asuntos conexos como el gran consumo energético que demanda el entrenamiento y uso de grandes sistemas de IA.

Con base en los planteamientos de la UNESCO plasmados en su "*Guía para el uso de IA generativa en educación e investigación*", de reciente publicación, se resaltan los riesgos más significativos:

AUMENTO DE LA BRECHA DIGITAL

La IAGen necesita enormes cantidades de datos y una gran capacidad computacional, en este momento solo accesible a países como Estados Unidos, la República Popular China y, en menor medida, Europa, por lo que el desarrollo y control de la IAGen están fuera del alcance del Sur Global.

Las regiones pobres en datos están quedando excluidas y en riesgo de ser colonizadas por quienes controlan estos modelos de IA. Por ejemplo, los modelos actuales de ChatGPT están entrenados por datos en línea provistos por usuarios del Norte Global, lo cual los hace inapropiados para comunidades pobres en datos.

BARRERAS DE LAS REGULACIONES NACIONALES

Los proveedores de IAGen tienden a proteger sus desarrollos como propiedad intelectual, impidiendo que estos sistemas sean revisados para lograr transparencia en la forma como operan sus algoritmos. Además, se requieren regulaciones locales sobre el acceso y uso de los datos domésticos.

PERMISO PARA USO DE CONTENIDOS

Los modelos de IAGen necesitan grandes cantidades de datos (texto, sonido, imágenes y código), que pueden tomar de internet sin permiso alguno (donde encuentran datos del rastro que dejan los usuarios en todas las páginas que visitan). Con estas prácticas, estos modelos de GPTs están contraviniendo el derecho al olvido que tienen las personas, debido a que es imposible eliminar estos datos, una vez entran a formar parte del entrenamiento de estos sistemas.

CONTENIDO SESGADO GENERADO POR LAS IA

Debido a la ausencia de regulaciones y una normativa de control estricta, existen datos sesgados en Internet que la IAGen utiliza para su entrenamiento, lo cual da

como resultado, una nueva fuente sesgada que a su vez va a alimentar los futuros modelos GPT, que serán entrenados con dichos datos. Esto supone un riesgo recursivo generador de errores.

FALTA DE COMPRENSIÓN DEL MUNDO REAL

Los GPTs solo repiten patrones lingüísticos encontrados en sus datos de entrenamiento que normalmente toman de Internet, empezando con un patrón aleatorio sin comprender su significado, de la misma forma en que un loro repite un sonido sin comprender lo que dice. A estos GPTs de texto se les denomina peyorativamente “loros estocásticos” porque, aunque pueden producir textos que parecen convincentes, ese texto suele contener errores e incluir afirmaciones dañinas (Bender et al., 2021).

La desconexión entre estos modelos de IAGen de texto, que “parecen” comprender el contenido que generan, y la “realidad” de que no comprenden el lenguaje ni el mundo real, puede llevar a los usuarios a creer en el resultado con una confianza injustificada.

La IAGen no tiene información de observaciones del mundo real ni de los principios clave del método científico, ni está alineada con valores sociales o humanos. Por estas razones, no puede generar contenidos novedosos sobre el mundo real, las relaciones entre objetos, las personas, las relaciones sociales, las relaciones humano-objeto o humano-tecnología. No está claro que los contenidos generados por los modelos de IAGen puedan reconocerse como conocimientos científicos.

Los GPTs inventan algunas cosas que no existen en la vida real, lo cual ha sido reconocido por las empresas que producen IAGen. En la interfaz pública de ChatGPT, por ejemplo, se afirma: “ChatGPT puede producir información inexacta sobre personas, lugares o hechos”. En la versión actual de ChatGPT 4, consultada el 16 de octubre de 2024, el mensaje es “ChatGPT puede cometer errores. Comprueba la información importante” (Openai, 2018)

Hay quienes defienden que la inteligencia artificial generativa (IAGen) representa un avance significativo hacia la inteligencia artificial general (IAG), un concepto que alude a una clase de IA más inteligente que los humanos. Sin embargo, esta idea ha

sido criticada durante mucho tiempo, argumentando que la IA no podrá avanzar hacia la IAG a menos que logre combinar en simbiosis la IA basada en el conocimiento (también conocida como IA simbólica o basada en reglas) y la IA basada en datos (también conocida como aprendizaje automático) (UNESCO, 2024).

REDUCCIÓN DE LA DIVERSIDAD DE OPINIONES

Tanto ChatGPT como otras herramientas similares producen solo respuestas estándar a partir de los valores de los propietarios o creadores de los datos de entrenamiento. Es más, cuando una secuencia de palabras aparece varias veces en los datos de entrenamiento, es muy probable que el GPT la repita también en sus resultados.

Con esto se está limitando la aparición y desarrollo de opiniones e ideas plurales. Las poblaciones pobres en datos (aquí también están incluidas comunidades marginadas del Norte Global), van a tener una presencia digital muy limitada. Por lo tanto, estas voces no llegan a hacerse oír y sus problemas y preocupaciones no están representadas en los datos de entrenamiento de los GPT, y, por lo tanto, tampoco estarán presentes en los resultados. Por esta razón, los métodos de preentrenamiento de estos modelos de GPT, basados en datos de páginas web y conversaciones de redes sociales, pueden marginar aún más a las personas ya de por sí, marginadas y en desventaja.

GENERACIÓN DE FALSIFICACIONES

La IAGen puede utilizarse para alterar o manipular imágenes o vídeos preexistentes para generar contenidos falsos y para las llamadas fake news o noticias falsas. En otras palabras, la IAGen está permitiendo que determinados actores cometan actos antiéticos, inmorales y delictivos, como difundir desinformación, promover discursos de odio e incorporar rostros de personas sin su consentimiento ni conocimiento, en productos audiovisuales totalmente falsos y muchas veces, comprometedores.

CONCLUSIONES

Las IA generativas (IAGen) de acceso público están surgiendo a una velocidad superior a la capacidad de adaptación de los países del Sur Global, donde apenas se está trabajando en las normas y regulaciones para su desarrollo y adaptación.

La IA puede adoptarse tanto como una herramienta clave para impulsar la eficiencia de muchos procesos, como también para fomentar prácticas sostenibles y responsables. Las proyecciones de este crecimiento son exponenciales, lo mismo que el impacto medioambiental, lo que genera la urgencia de una acción conjunta que integre la sostenibilidad a esta revolución impulsada por la Inteligencia Artificial.

Como se evidenció en esta investigación, en la primera alternativa de adopción de la IA, la investigación teórica en IA, el consumo energético y el impacto medioambiental son muy altos. Una investigación realizada en 2021 proporciona una perspectiva valiosa para entender el consumo energético de los centros de datos que operan modelos de inteligencia artificial. Por ejemplo, el entrenamiento de un modelo avanzado como GPT-3 consumió 1,287 MWh de electricidad, lo que resultó en 502 toneladas métricas de emisiones de CO₂, equivalentes a las generadas por 112 automóviles a gasolina durante un año. Además, una publicación de Popular Science proyecta que, para 2027, el consumo global de electricidad atribuido a la IA podría alcanzar los 134 TWh, una cifra comparable al consumo eléctrico anual de un país como Argentina (Gonçalves, 2024).

Dado que la falta de regulaciones pone en riesgo la privacidad de los datos de los usuarios y de las instituciones, la Unesco ha generado orientaciones sobre la IAGen, para dar apoyo a los países para implementar acciones inmediatas en planificación de políticas a largo plazo y el desarrollo de capacidades que garanticen una adopción de estas nuevas tecnologías centradas en el ser humano.

Se ha dejado planteada la posibilidad de observar la inteligencia artificial como un fenómeno de comunicación artificial. Ahora que también se incrementa exponencialmente la interacción con bots (o robots), resulta relevante tener en cuenta y actualizar las tres leyes de la robótica establecidas por Isaac Asimov en su relato *Círculo vicioso*, publicado en 1942 (Campbell & Asimov, 1942).

1. Un robot no hará daño a un ser humano o, por inacción, permitirá que un ser humano sufra daño.
2. Un robot debe hacer o realizar las órdenes dadas por los seres humanos, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la 1ª ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la 1ª o la 2ª ley.

Que tal es empezar por actualizar las tres leyes de Asimov de la robótica y enfocarlas en la comunicación, para así desterrar, desde ya, la posverdad, impedir la propaganda maliciosa, y desvelar las mentiras para hacer de la verdad la ley básica de los procesos de comunicación Velasco (2017):

1. Un robot no hará daño a la verdad o, por inacción, permitirá que un ser humano sea manipulado por información sesgada o insuficiente.
2. Un robot debe transmitir los hechos, sin emociones, que el comunicador le ordene y aportar las fuentes y los recursos necesarios para que el receptor pueda contrastarlos.
3. Un robot debe proteger la reciprocidad en los procesos de diálogo, con el fin de que emisor y receptor dispongan de las mismas oportunidades para exponer sus puntos de vista.

Por último, es preciso advertir que lo que la humanidad debe buscar siempre es la solución de los grandes problemas sociales y que solo la capacidad humana, la inteligencia colectiva, la cooperación, el apoyo mutuo y la acción que persiga el bien común, y no la tecnología, es lo que permite encontrar estas soluciones.

Se debe superar el mito de la inteligencia artificial, erróneamente entendida como una tecnología muy avanzada, que, por tener la capacidad de realizar poderosos cálculos, es superior a los imperfectos humanos que la crearon.

HACIA UNA INTELIGENCIA ARTIFICIAL SOSTENIBLE

Lo que se debe perseguir con la IA general es tratar de replicar el neocórtex que es la parte más reciente del cerebro responsable de funciones cognitivas superiores, el razonamiento espacial, el pensamiento consciente y el lenguaje y no la parte vieja de nuestro cerebro, responsable de comportamientos que impulsan nuestras

respuestas de supervivencia, emociones e instintos, que son los causantes de los grandes problemas que enfrenta nuestra sociedad.

Los problemas que actualmente se tienen con el uso de las nuevas tecnologías, como la generación de contenidos de violencia, odio o racismo, parecen creados por la parte más antigua del cerebro, mientras que el pensamiento lógico propio del neocórtex, muestra resultados modestos hasta la fecha.

Queda abierta la posibilidad de que la inteligencia artificial general, si llega, lo hará sin intenciones de dominar, sino como herramienta o instrumento para ayudar a resolver los problemas difíciles que la sociedad actual está afrontando.

Pero para enfocarse en el ser humano, no solo es necesario una autorregulación y medidas gubernamentales, sino que hay que trabajar para desarrollar competencias tecnológicas de los usuarios de la IA e iniciar una alfabetización en datos, que conduzca a la comprensión de que estas tecnologías son el resultado de la acción humana y para conocer los alcances, las limitaciones y los sesgos, tanto de los algoritmos como de los datos, que son constitutivos de esta poderosa herramienta que puede significar inmensos beneficios para la humanidad.

Lo que los chatbots responden en las conversaciones no puede atribuírseles a ellos; sino que esas respuestas son el resultado de operaciones sobre los datos, programas y algoritmos desarrollados y creados por humanos.

La tecnología no es un hecho aislado, sino que es una consecuencia de la evolución social, por lo que se hace un llamado al uso de estas tecnologías para el mejoramiento de nuestra sociedad.

Se puede lograr esa transformación social teniendo a la IA como un asistente, pero es necesario un enfoque interdisciplinario para avanzar con el cumplimiento de los ODS y el desarrollo de una IA donde todos los actores se involucren activamente, donde se prevengan los sesgos y errores a través de equipos multidisciplinarios, donde se entienda el funcionamiento de los algoritmos de IA y se aprenda a usar enormes volúmenes de datos.

REFERENCIAS

- Agence Française de Développement (AFD). (4 de septiembre de 2023). *La inteligencia artificial se pone al servicio de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.afd.fr/es/actualites/inteligencia-artificial-al-servicio-objetivos-desarrollo-sostenible>
- Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? en *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT '21)* (pp. 610–623). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3442188.3445922>
- Campbell, J. W., & Asimov, I. (1942). Runaround en *Astounding Science Fiction* (Vol. 29, N.º 1, pp. 94–110). Street & Smith Publications. <https://www.goodreads.com/book/show/40226511-astounding-science-fiction-march-1942>
- Crawford, K. (2021). *Atlas de inteligencia artificial: Poder, política y costos planetarios*. Fondo de Cultura Económica. https://books.google.com.co/books/about/Atlas_de_inteligencia_artificial.html?id=30exEAAAQBAJ&redir_esc=y
- Esposito, E. (2022). *Artificial communication: How algorithms produce social intelligence*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/14189.003.0003>
- Fernández, R. (28 de mayo de 2024). Meses necesitados por las RR. SS para alcanzar los 100 millones de usuarios activos. *Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/684667/numero-de-meses-que-se-tardo-en-alcanzar-los-100-millones-de-usuarios-por-rr-ss/>
- Forte, M., Pignuoli, S., Calise, S., Palacios, M., & Zitello, M. (2012). Las TIC como problema de la teoría sociológica: Una aproximación conceptual a la comunicación digitalizada desde la teoría general de sistemas sociales autorreferenciales y autopoieticos. *Entramados y Perspectivas: Revista de la Carrera de Sociología*, 2(2), 137–150. <https://publicaciones.sociales.uba.ar/index.php/entramadosyperspectivas/article/view/137/121>

Gonçalves, L. (7 de febrero de 2024). *La inteligencia artificial es clave para la sostenibilidad*. Forbes Centroamérica. https://forbescentroamerica.com/2024/02/07/la-inteligencia-artificial-es-clave-para-la-sostenibilidad-experto#google_vignette

Graubard, S. R. (Ed.). (1999). *El nuevo debate sobre la inteligencia artificial: Sistemas simbólicos y redes neuronales*. Gedisa.

Hellmann, K-U. (2011). Capital, trabajo y el parásito del "consumo". Ensayo sobre la semántica de la sociedad de consumo en: Torres, J. y Rodríguez, D. (Ed.), *Niklas Luhmann. La sociedad como pasión*. México: Universidad Iberoamericana.

United Nations [ONU]. (n.d.). *About the Division for Sustainable Development Goals*. United Nations Department of Economic and Social Affairs. <https://sdgs.un.org/about#:~:text=The%20Division%20for%20Sustainable%20Development,energy%2C%20climate%2C%20oceans%2C%20urbanization>

OpenAI. (16 de mayo de 2018). *AI and compute*. OpenAI. <https://www.openai.com/blog/ai-and-compute>

Our World in Data. (2023). *SDG tracker: Measuring progress towards the sustainable development goals*. <https://ourworldindata.org/sdgs>

Pedamkar, P. (22 de marzo de 2023). *Turing test in AI*. EDUCBA. <https://www.educba.com/turing-test-in-ai/>

Surasky, J. (12 de marzo de 2024). *ABC de la inteligencia artificial para el desarrollo sostenible*. CEPEI. <https://cepei.org/documents/abc-inteligencia-artificial-desarrollo-sostenible/>

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433–460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>

Unesco. (2024). *Guía para el uso de IA generativa en educación e investigación*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000389227>

Velasco, J. (27 de diciembre de 2017). Las tres leyes de Asimov aplicadas a la comunicación. *Fábulas de comunicación*. <https://acortar.link/TA9u3F>

Tecnología al Servicio de la Seguridad Ciudadana

Francisco Javier Burbano González

Administrador Policial

Mail: francisco.burbano@correo.policia.gov.co

Filiación Institucional: Escuela Gabriel González

Jorge Andres Rey Rojas

Administrador Policial

Mail: jorge.rey8301@correo.policia.gov.co

Filiación Institucional: Escuela Gabriel González

Jahn Carlos Gómez Yaruro

Técnico Profesional en Servicio de Policía

Mail: jahn.gomez@correo.policia.gov.co

Filiación Institucional: Escuela Gabriel González

Mauren Daniela Hernández Casilimas

Técnico Profesional en Logística y Comercio Exterior

Mail: mauren.hernandez3883@correo.policia.gov.co

Filiación Institucional: Escuela Gabriel González

Julián Esteban Buenaventura Beltrán

Especialista en Gestión Pública, Ingeniero Ambiental

Mail: julian.buenaventura1569@correo.policia.gov.co

Filiación Institucional: Escuela Gabriel González

Germán Augusto Bastos Ramírez

Magíster en Didáctica Digital, Especialista en Comunicación Digital y Medios Interactivos, Diseñador Visual

Mail: german.bastos@correo.policia.gov.co

Filiación Institucional: Escuela Gabriel González

Mario Heimer Flórez Guzmán

Posdoctor en Investigación e Innovación, PhD in Education Management and Assurance, PhD© Administración, MBA, Especialista en Transformación Digital, Lic. Matemáticas y Física

Mail: mhfllorez@correo.iue.edu.co

Filiación Institucional: Institución Universitaria de Envigado

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Burbano González, F. J., Rey Rojas, J. A., Gómez Yaruro, J. C., Hernández Casilimas, M. D., Buenaventura Beltrán, J. E., Bastos Ramírez, G. A., y Flórez Guzmán, M. H. (2024). Tecnología al servicio de la seguridad ciudadana en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 607-628). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

El presente paper tiene como objetivo dar cuenta de la importancia que tiene el diseño y puesta en marcha de una herramienta móvil en el mejoramiento de la efectividad de variables que inciden en la convivencia y fortalecimiento de la seguridad en la ciudad de El Espinal en Colombia. Ante la problemática de seguridad y de baja confianza en las estrategias de denuncia que existen en el municipio, se propuso el diseño de estrategias –que para este caso fue una herramienta móvil– que permitiera mejorar la participación de la ciudadanía, la sistematización de datos en tiempo real y la asertiva toma de decisiones.

Para alcanzar este propósito, se adoptó una metodología de enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos (encuestas estructuradas) y cualitativos (entrevistas semiestructuradas y grupos focales). Las encuestas permitieron recopilar datos objetivos sobre la percepción de inseguridad, la frecuencia de incidentes y la disposición de los ciudadanos a adoptar herramientas tecnológicas, mientras que las entrevistas y los grupos focales profundizaron en las motivaciones y barreras sociales que influyen en la participación comunitaria. Asimismo, se seleccionó la plataforma Adalo para desarrollar el prototipo de la aplicación, facilitando la creación de una interfaz intuitiva y ajustada a las necesidades tecnológicas de los habitantes.

El problema central identificado residía en la desconexión existente y creciente entre la ciudadanía y las instituciones encargadas de la seguridad. A pesar de la alta penetración de dispositivos móviles, un porcentaje significativo de la población no denunciaba hechos delictivos por temor a represalias o desconfianza en la efectividad de las autoridades y en la protección y confidencialidad de sus datos. Además, se evidenció la presencia de conflictos interpersonales, hurtos menores y microtráfico como las principales amenazas, con patrones territoriales que limitaban la convivencia pacífica y que en algunos casos no eran denunciados formalmente por la implicación que se generaba entre el denunciante, la víctima y el perpetrador. Este contexto exigía la creación de un mecanismo accesible, seguro y anónimo que incentivara la cultura de la denuncia y la cooperación ciudadana como una estrategia para el mejoramiento de la convivencia y la contribución a la reducción en frecuencia e impacto de los actos delictivos que se cometen en la ciudad objeto de estudio.

Los resultados mostraron que la aplicación “Seguridad Participativa” logró un alto nivel de aceptación entre los participantes, gracias a su diseño centrado en el usuario y a las capacitaciones ofrecidas en el barrio. Su uso permitió visibilizar los principales incidentes, establecer zonas de mayor riesgo y reforzar la confianza mutua entre la comunidad y la Policía a partir de la denuncia oportuna, además de la posibilidad de envío de evidencia fotográfica. La posibilidad de reportar de forma anónima y recibir notificaciones de seguimiento tuvo un efecto positivo en la disposición a colaborar, lo cual se reflejó en el aumento de reportes de incidentes y en una mejora progresiva de la percepción de seguridad y de la participación ciudadana como elemento fundamental para el fortalecimiento de la confianza entre la Policía Nacional y la Comunidad. Sin embargo, todavía persisten retos como la brecha digital y falta de capacitación en un sector de la población y la necesidad de fortalecer el acompañamiento institucional para que los datos recolectados se traduzcan en respuestas oportunas y a futuro el mejoramiento del control de los costos asociados al servicio de policía.

Así pues, se puede concluir que, la aplicación móvil tiene implicaciones directamente en el fortalecimiento del modelo competencial de la Policía Nacional para la generación de valor y confianza en sus grupos de interés, toda vez que, impacta positivamente la facilidad de la denuncia oportuna favoreciendo el actuar de la fuerza de manera más oportuna. Se genera una mayor accesibilidad y alcance de primera mano, facilitando así la presentación de denuncias desde su hogar de manera directa y sin esperar una llamada o hacer filas por medio de teléfonos inteligentes y con un desarrollo intuitivo que mejora la experiencia de usuario; mejora además, la posibilidad de compartir evidencia que permite el seguimiento, sistematización de información, fomento de participación ciudadana y quizás a futuro, la reducción de costos o control de costos operativos en el servicio de policía.

Palabras Clave: Convivencia ciudadana, seguridad participativa, aplicación móvil, denuncia anónima, metodología mixta, confianza institucional

TECHNOLOGY AT THE SERVICE OF CITIZEN SECURITY

ABSTRACT

This paper aims to highlight the importance of designing and implementing a mobile tool to improve the effectiveness of various factors that influence coexistence and strengthen security in the city of El Espinal, Colombia. Given the security challenges and the low level of trust in existing reporting strategies in the municipality, the proposal involved designing strategies—in this case, a mobile tool—that would enhance citizen participation, enable real-time data management, and facilitate assertive decision-making.

To achieve this objective, a mixed-method approach was adopted, combining quantitative methods (structured surveys) and qualitative methods (semi-structured interviews and focus groups). The surveys collected objective data regarding perceptions of insecurity, the frequency of incidents, and citizens' willingness to adopt technological tools, while the interviews and focus groups delved deeper into the social motivations and barriers influencing community engagement. Additionally, the Adalo platform was chosen to develop the application prototype, enabling the creation of an intuitive interface tailored to the technological needs of local residents.

The main issue identified was the existing and growing disconnect between citizens and the institutions responsible for security. Despite the widespread use of mobile devices, a significant portion of the population refrained from reporting criminal acts due to fear of retaliation or distrust in the effectiveness of the authorities, as well as doubts about the protection and confidentiality of their data. In addition, interpersonal conflicts, minor theft, and micro-trafficking were identified as the primary threats, with territorial patterns that hampered peaceful coexistence; these threats often went unreported because of the implications for the informant, the victim, and the perpetrator. This context called for the creation of an accessible, secure, and anonymous mechanism that would encourage a culture of reporting and citizen cooperation as a strategy to improve coexistence and help reduce both the frequency and impact of criminal acts in the city under study.

The results showed that the “Seguridad Participativa” application achieved a high level of acceptance among participants, thanks to its user-centered design and the training provided in the neighborhood. Its use made it possible to highlight major incidents, identify higher-risk areas, and strengthen mutual trust between the community and the Police through timely reporting, in addition to the option of sending photographic evidence. The ability to file reports anonymously and receive follow-up notifications had a positive effect on citizens' willingness to cooperate, reflected in an increase in incident reports and a progressive improvement in both the perception of security and the rate of citizen participation—essential elements for strengthening trust between the National Police and the community. However, challenges remain, such as the digital divide and lack of training in certain segments of the population, as well as the need to reinforce institutional support to ensure that collected data translates into timely responses and, in the future, helps improve cost control associated with police services.

In conclusion, this mobile application has a direct impact on strengthening the National Police's competency model for generating value and trust among its stakeholders, as it positively influences the ease of timely reporting and enables security forces to respond more effectively. It offers greater accessibility and direct outreach—facilitating the filing of reports from home without waiting for a phone call or standing in line—all through smartphones and an intuitive interface that improves user experience. It also enhances the ability to share evidence, enabling monitoring, data systematization, the promotion of citizen engagement, and potentially, in the future, the reduction or control of operating costs in police services.

Keywords: Community Coexistence, Participatory Security, Mobile Application, Anonymous Reporting, Mixed Methodology, Institutional Trust

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, la seguridad ciudadana y la convivencia pacífica son elementos esenciales para garantizar el desarrollo sostenible de las comunidades. En Colombia, los altos índices de inseguridad continúan siendo un desafío significativo, afectando tanto a las zonas urbanas como a las rurales. En particular, el municipio de El Espinal, en el departamento de Tolima, ha enfrentado problemas recurrentes como la extorsión, los homicidios y los conflictos entre bandas dedicadas al microtráfico. Estos fenómenos no solo deterioran la calidad de vida de los habitantes, sino que también limitan el potencial de desarrollo económico y social de la región. En este contexto, la tecnología emerge como una herramienta clave para abordar los retos de seguridad y convivencia, ofreciendo soluciones innovadoras que conectan a los ciudadanos con las autoridades de manera más eficiente.

Además de lo anteriormente expuesto, según proyecto radicado en el Departamento Nacional de Planeación, proyecto titulado "Fortalecimiento de la tecnología preventiva y comunitaria para la seguridad ciudadana de El Espinal" bajo el código 2024732680044 presentado por la Alcaldía de El Espinal el 21 de julio de 2024 en donde se reporta que:

En el año 2023, El Espinal ha experimentado un incremento notable en delitos que afectan gravemente la convivencia y la seguridad ciudadana. Los casos de hurto alcanzaron los 980, mientras que las lesiones personales sumaron 428 casos. La violencia intrafamiliar y otros delitos también presentan cifras alarmantes con 221 y 145 casos respectivamente. Este aumento se observa en comparación con el año 2022, donde hurto y lesiones personales incrementaron un 4 %, las amenazas un 23 % y la violencia intrafamiliar un 18 %. Además, delitos como constreñimiento, delitos ambientales, electorales, maltrato animal y desaparición forzada también han mostrado un incremento preocupante.

El hurto se manifiesta principalmente en atracos (426 casos) y factor de oportunidad (211 casos). Especialmente alarmante es el aumento del 500% en el hurto de vehículos. Por otro lado, aunque los delitos por el tráfico de estupefacientes, presentaron una disminución del 21%, destacándose más en los meses de febrero y abril. Sin embargo, la fabricación, tráfico y porte de

armas incrementaron un 38 %, con los meses de febrero, marzo y junio presentando mayor incidencia. Los delitos sexuales también aumentaron en un 3 %, con incrementos superiores al 40 % en casos de acceso carnal violento y acto sexual violento, afectando predominantemente a mujeres.

Además, El Espinal se enfrenta a un panorama preocupante en materia de seguridad. En 2023, se observó un alarmante aumento del 298 % en los Comportamientos Contrarios a la Convivencia, lo que se refleja en un incremento de delitos como el hurto (980 casos), las lesiones personales (428 casos), la violencia intrafamiliar (221 casos) y otros delitos (145 casos).

Se han registrado aumentos significativos en delitos como el constreñimiento, delitos ambientales, delitos electorales, maltrato animal y desaparición forzada. El hurto, especialmente en las modalidades de hurto a personas, hurto de motocicletas y hurto de vehículos, ha experimentado un crecimiento considerable, con un aumento del 500 % en los casos de hurto de vehículos. La modalidad de hurto más común en El Espinal es el atraco (426 casos), seguido por el factor de oportunidad (211 casos).

Si bien se observa una disminución general en los delitos por estupefacientes, preocupa el incremento en casos de acceso carnal violento y acto sexual violento, especialmente contra mujeres. También se presenta un aumento del 38 % en los casos de fabricación, tráfico y porte de armas. Las lesiones personales aumentaron en un 8 % en general, con picos en abril, agosto y octubre.

Ante esta situación, se hace evidente la necesidad urgente de implementar herramientas tecnológicas de última generación para que las fuerzas militares y de policía puedan cumplir con su función de manera más efectiva y tener material probatorio para judicializar a los delincuentes. (Alcaldía Municipal de El Espinal, 2024)

Ahora bien, a pesar de los esfuerzos institucionales, persiste una desconexión significativa entre la ciudadanía y las entidades encargadas de garantizar la seguridad. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2019), el 69,8% de las víctimas de delitos en Colombia no los denuncian, lo que dificulta

la generación de datos precisos para el diseño de estrategias preventivas. Además, el 84,6% de los colombianos manifiestan sentirse inseguros, lo que refleja un clima de desconfianza hacia las instituciones encargadas de garantizar el orden. Este problema es particularmente relevante en municipios como El Espinal, donde la percepción de inseguridad limita la capacidad de la comunidad para colaborar activamente en la construcción de soluciones. Por lo tanto, es necesario implementar herramientas que faciliten la participación ciudadana y fortalezcan los canales de comunicación con las autoridades.

Ahora bien, según la información suministrada por la Cámara de Comercio de El Espinal, en colaboración con Alcaldía de El Espinal, Policía, Gaula, Ejército Nacional, CTI, INPEC, SIJIN, ICBF, entre otras entidades, se presentan cifras que son alentadoras para la ciudadanía espinaluna, no obstante se generan nuevos retos, toda vez que, según esta información los hechos de delincuencia de 2024 en El Espinal obtuvo un 8% de disminución en promedio con el año 2023 tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

Variación de la dinámica criminal en El Espinal

Dinámica Criminal	Variación
Lesiones personales	-12%
Violencia intrafamiliar	-12%
Homicidios	-18%
Amenazas	-11%
Delitos sexuales	-10%
Daño en bien ajeno	-9%
Estupefacientes	-22%
Maltrato animal	-67%
Desaparición forzada	-100%

Dinámica Criminal	Variación
Delitos ambientales	-100%
Hurto a personas	34%
Hurto a residencias	27%
Hurto a fincas	5%
Hurto de autopartes	20%
Hurto de vehículos	700%
Concierto para delinquir	200%

Nota. Elaboración propia con datos tomados de INFOCÁMARA Cámara de Comercio de El Espinal (2024) recuperado en: <http://blog.ccsurortolima.org.co/2024/08/el-espinal-cifras-e-indices-de-delitos.html>

Lo cual muestra que, aunque ha habido reducciones de algunos crímenes, pero aumento significativo en otros que requieren de estrategias, planes y herramientas que propendan por su reducción. En este escenario, el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) representa una oportunidad invaluable para transformar la gestión de la seguridad ciudadana. La alta penetración de dispositivos móviles en Colombia, con 1,2 celulares por habitante (Gaviria González, 2022), permite desarrollar soluciones tecnológicas accesibles para la mayor parte de la población. Una aplicación móvil diseñada específicamente para recopilar datos sobre comportamientos contrarios a la convivencia tiene el potencial de empoderar a los ciudadanos, facilitando el reporte de incidentes y promoviendo una respuesta más oportuna por parte de las autoridades. Esta estrategia no solo responde a la necesidad de soluciones inmediatas, sino que también establece un modelo replicable que puede adaptarse a otros contextos similares.

El desarrollo de esta herramienta tecnológica se justifica por su capacidad para superar barreras tradicionales en la comunicación entre los ciudadanos y las instituciones de seguridad. Además, contribuye a mejorar la calidad de los datos recolectados, proporcionando información relevante para la toma de decisiones y

el diseño de políticas públicas más efectivas. Asimismo, fomenta una cultura de participación ciudadana activa, fortaleciendo la confianza mutua entre la comunidad y las autoridades locales. En última instancia, se busca no solo resolver problemas concretos de seguridad, sino también promover un cambio cultural hacia una convivencia más armoniosa y colaborativa, permitiendo de esta manera mejorar la imagen y el relacionamiento de la Policía Nacional con la comunidad.

Así entonces en el presente documento se conversará sobre la frecuencia e impacto de las principales problemáticas que afectan la convivencia, posteriormente se hablará de las buenas prácticas que se han llevado a cabo en materia tecnológica para combatir o mitigar la problemática identificada y por último, el diseño, implementación y resultados preliminares de la herramienta que se diseñó.

METODOLOGÍA

El diseño de la investigación se basó en un enfoque mixto que combinó métodos cualitativos y cuantitativos, lo que permitió obtener una visión integral de los problemas de convivencia y seguridad ciudadana en el municipio de El Espinal. Este enfoque fue elegido debido a la necesidad de capturar tanto datos objetivos como percepciones subjetivas de los habitantes, fortaleciendo así la validez y fiabilidad de los hallazgos. La integración de estas metodologías garantizó una triangulación efectiva de los datos recolectados, aumentando la profundidad del análisis y permitiendo una comprensión holística del fenómeno estudiado (Hernández-Sampieri et al., 2010), mismos que sirvieron de base para el diseño de la herramienta y posteriormente para su validación y ajuste.

Encuanto a las técnicas y herramientas utilizadas, se aplicaron encuestas estructuradas que incluyeron preguntas cerradas y escalas de valoración para recopilar información cuantitativa sobre la percepción de seguridad, los tipos de incidentes reportados y la disposición de los ciudadanos para utilizar herramientas tecnológicas. Estas encuestas se complementaron con entrevistas semiestructuradas y grupos focales, los cuales ofrecieron una perspectiva cualitativa sobre las experiencias y expectativas de los participantes en relación con el uso de una aplicación móvil como instrumento de mejora de la seguridad. Además, el diseño y desarrollo de la aplicación móvil se realizó mediante la plataforma Adalo, seleccionada por su flexibilidad y facilidad de uso para la creación de aplicaciones intuitivas y accesibles.

Este software permitió incorporar funciones clave como la recolección de datos, el envío de alertas y la presentación de información de seguridad en tiempo real (Muggah, 2017).

La muestra estuvo compuesta por 82 habitantes del barrio El Futuro, seleccionado como unidad de análisis principal debido a su proximidad a la Escuela de Policía Gabriel González López y a las problemáticas de seguridad previamente identificadas en estudios anteriores. Este grupo incluyó tanto líderes comunitarios como ciudadanos comunes, asegurando una representación diversa y equitativa de las dinámicas sociales del barrio. La selección de los participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, una estrategia adecuada dada la naturaleza exploratoria del estudio y las limitaciones logísticas (Argote, 2021).

La elección de este enfoque metodológico se justificó por la complejidad inherente al problema abordado, que requería datos cuantitativos para identificar tendencias generales y datos cualitativos para comprender las percepciones y motivaciones subyacentes. Por un lado, las encuestas estructuradas permitieron obtener datos estandarizados y comparables, mientras que, por otro, las entrevistas y grupos focales enriquecieron el análisis al proporcionar información contextualizada y detallada. Asimismo, el uso de la plataforma Adalo se fundamentó en su capacidad para desarrollar prototipos funcionales de manera rápida y eficiente, lo que facilitó la implementación de la herramienta tecnológica en el contexto estudiado.

RESULTADOS

DIAGNÓSTICO DE RECURSOS, CAPACIDADES Y RESPUESTA SOCIAL DE LA TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA SEGURIDAD

El diagnóstico inicial fue fundamental para comprender las problemáticas específicas que afectan la convivencia y seguridad ciudadana en el barrio El Futuro, así como para identificar las dinámicas sociales y las limitaciones tecnológicas existentes en la comunidad. Este análisis permitió establecer una base sólida para el diseño de estrategias de intervención focalizadas y adaptadas a las necesidades locales, asegurando que la implementación de la aplicación móvil respondiera de manera efectiva a las realidades del entorno.

Este mismo, que fue realizado en el barrio El Futuro, en el municipio de El Espinal, permitió identificar las principales problemáticas relacionadas con la convivencia y la seguridad ciudadana. A través de encuestas aplicadas a 82 habitantes y grupos focales realizados con líderes comunitarios y autoridades locales, se establecieron las siguientes observaciones:

1. **Principales problemáticas:** Los datos recopilados revelaron que el 45 % de los incidentes reportados correspondieron a conflictos interpersonales, especialmente discusiones familiares y vecinales. Asimismo, un 35 % de los reportes estuvo relacionado con hurtos menores, mientras que un 20 % identificó actividades ilícitas asociadas al microtráfico. Este último problema se concentró particularmente en tres zonas del barrio, evidenciando un patrón territorial de vulnerabilidad.
2. **Baja denuncia:** El 63 % de los encuestados manifestó que no había denunciado previamente incidentes de convivencia debido al temor a represalias y la falta de confianza en la respuesta de las autoridades. Esto coincide con estadísticas nacionales que señalan un 69,8 % de subregistro en la denuncia de delitos (DANE, 2019).
3. **Percepción de seguridad:** Antes de la implementación de la aplicación, el 78 % de los participantes expresó sentirse inseguro en su entorno inmediato. Entre las razones citadas, destacaron la falta de vigilancia policial, la ausencia de mecanismos efectivos de comunicación y la percepción de impunidad.
4. **Capacidades tecnológicas:** El diagnóstico también evidenció un alto nivel de adopción tecnológica, con un promedio de 1,2 dispositivos móviles por habitante (Gaviria, 2022). Sin embargo, el 40 % de los encuestados afirmó no estar familiarizado con el uso de aplicaciones móviles avanzadas, lo que implicó la necesidad de incorporar capacitaciones durante el proceso de implementación.

Así entonces, el diagnóstico confirmó que los conflictos interpersonales, los hurtos menores y el microtráfico son las principales preocupaciones en El Espinal, con patrones territoriales bien definidos que requieren intervenciones focalizadas. Además, la falta de confianza en las autoridades y la baja denuncia reflejan la necesidad de fortalecer los canales de comunicación entre la ciudadanía y las instituciones de seguridad. Este ejercicio diagnóstico proporcionó información clave para desarrollar una herramienta tecnológica alineada con las capacidades y expectativas de la

comunidad, destacando la importancia de la participación activa de los ciudadanos en la construcción de soluciones sostenibles.

BUENAS PRÁCTICAS

La identificación y aplicación de buenas prácticas fue un componente esencial en el desarrollo e implementación de la aplicación móvil "Seguridad Participativa". Estas prácticas garantizaron la funcionalidad de la herramienta tecnológica, su aceptación por parte de los usuarios y la integración efectiva de la comunidad en los procesos de mejora de la seguridad ciudadana. Este apartado describe las estrategias clave adoptadas para maximizar el impacto y la sostenibilidad del proyecto. Así entonces, con base en los resultados del diagnóstico y las recomendaciones de expertos en diseño de experiencias de usuario (UX), se identificaron y aplicaron varias buenas prácticas para garantizar la funcionalidad y efectividad de la herramienta tecnológica:

1. **Diseño centrado en el usuario:** La aplicación fue desarrollada bajo un enfoque de diseño inclusivo, basado en los principios propuestos por Walter (2011), que incluye cuatro dimensiones: funcionalidad, confiabilidad, usabilidad y placer. Esto permitió crear una interfaz intuitiva, asegurando que incluso los usuarios con poca experiencia tecnológica pudieran navegar y reportar incidentes sin dificultad.
2. **Seguridad de la información:** Para fomentar la confianza de los usuarios, se implementaron políticas de privacidad alineadas con el Decreto 1377 de 2013. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012, Derogado Parcialmente por el Decreto 1081 de 2015. Estas políticas garantizan la protección de los datos personales y el reporte anónimo, reduciendo el riesgo de represalias y otros imaginarios que pueda tenerse en el colectivo.
3. **Capacitación comunitaria:** Se llevaron a cabo talleres de orientación para enseñar a la población objeto de estudio cómo utilizar la aplicación de manera efectiva. Estos talleres, que alcanzaron una participación del 85% de la muestra, incluyeron simulaciones prácticas y demostraciones en tiempo real.
4. **Canales de comunicación paralelos:** Aunque la aplicación móvil fue el principal instrumento de recolección de datos, se habilitaron líneas telefónicas y módulos presenciales para garantizar la inclusión de personas sin acceso a dispositivos móviles o con limitaciones tecnológicas.

5. **Retroalimentación constante:** Durante el primer mes de uso, se habilitó una función en la aplicación para que los usuarios compartieran sugerencias de mejora. Esto permitió realizar ajustes en tiempo real, como simplificar los formularios de reporte y agregar notificaciones de seguimiento.

En este sentido, las buenas prácticas aplicadas, como el diseño centrado en el usuario, la capacitación comunitaria y las políticas de privacidad robustas, fueron determinantes para el éxito del proyecto. Estas estrategias no solo facilitaron la adopción de la aplicación por parte de la comunidad, sino que también fortalecieron la confianza en la herramienta y en las instituciones responsables de la seguridad. La experiencia adquirida en este proceso destaca la importancia de implementar enfoques participativos y adaptativos que garanticen la sostenibilidad y la replicabilidad de las iniciativas tecnológicas en contextos similares.

DISCUSIONES

La experiencia del usuario (UX) constituye un eje fundamental para el éxito de aplicaciones de seguridad y convivencia, particularmente en contextos donde la confianza ciudadana hacia las instituciones se encuentra debilitada. Siguiendo el enfoque de diseño centrado en el usuario propuesto por Walter (2011), la herramienta móvil "Seguridad Participativa" se concibió atendiendo cuatro dimensiones clave:

1. **Funcionalidad:** La aplicación que permite recopilar incidentes de seguridad, adjuntar evidencia fotográfica y transmitir reportes anónimos. Estas funciones responden de forma directa a la necesidad prioritaria de la comunidad de denunciar delitos sin temor a represalias, y aportan información objetiva que facilita la respuesta institucional. Al proveer una canalización clara de datos. Se cumple la premisa de que una solución tecnológica debe abordar de forma precisa el problema que motiva su creación, que para este caso, fueron la baja denuncia y la desconfianza hacia las autoridades locales planteadas por Walter (2011) y reiterado por Muggah (2017).
2. **Confiabilidad:** La protección de datos personales y el reporte anónimo fueron aspectos esenciales para aumentar la disposición de la ciudadanía a colaborar. De hecho, se hace mención de la adecuación de la herramienta a la normativa colombiana de protección de datos (Ley 1581 de 2012 y Decreto 1377 de 2013). Este enfoque refuerza la relación de confianza entre los usuarios y la plataforma,

un componente crítico en la adopción de soluciones tecnológicas en entornos con altos niveles de desconfianza institucional. Walter (2011) destaca que la confiabilidad es la base sobre la cual se construye la credibilidad de la aplicación. Si la herramienta no protege la información sensible o falla en su funcionalidad, el usuario abandona rápidamente su uso y se generaría un efecto contrario a lo buscado como es el fortalecimiento de la legitimidad y confianza, así como la protección de los derechos fundamentales tal como se establece en la Constitución Política de Colombia de 1991.

3. **Usabilidad:** Un segundo factor es la necesidad de facilitar la experiencia de denuncia mediante una interfaz intuitiva y talleres de capacitación en el barrio. La alta aceptación de la aplicación "Seguridad Participativa" se explica, en parte, por los esfuerzos de formación (participación del 85 % de la muestra en capacitaciones) y la simplificación de los formularios de reporte, aspectos que se alinean con la dimensión de usabilidad discutida por Walter. Según Moggridge (2007), el diseño de interacciones efectivas elimina barreras tecnológicas, lo que incrementa la adopción y el uso recurrente de las aplicaciones. De igual manera, la estrategia de canales alternos (líneas telefónicas y módulos presenciales) permitió que la brecha digital no fuese un obstáculo insalvable, extendiendo la accesibilidad a quienes carecen de habilidades avanzadas o dispositivos adecuados.
4. **Placer:** Si bien la literatura en seguridad y convivencia no suele enfocarse en la "dimensión hedónica", sí se sugiere un efecto motivador en la comunidad al observar que sus reportes son atendidos y devuelven notificaciones de seguimiento. Este proceso de retroalimentación rápida y la posibilidad de observar mejoras tangibles en la seguridad, refuerzan un estado de satisfacción y empoderamiento ciudadano. La teoría de Walter (2011) destaca que un producto digital llega a un nivel más alto de implicación emocional cuando, además de ser funcional y confiable, aporta un valor agregado que hace al usuario sentirse parte de la solución y no solo un emisor pasivo de datos (Di Nella, 2014).

Ahora bien, pese a estos avances, existen desafíos persistentes: la brecha digital en ciertos grupos etarios, la capacidad institucional de responder oportunamente a la información recopilada y el fortalecimiento continuo de la confianza. Estas aristas reflejan que la aplicación, por sí sola, no resuelve la totalidad de la problemática de seguridad y que, tal como advierten los principios de diseño UX, el seguimiento,

poslanzamiento y la iteración constante son imprescindibles para consolidar la adopción de tecnologías cívicas. La fase de “placentero” también implica un mantenimiento de la calidad del servicio y la comunicación transparente con el usuario a largo plazo, de modo que las expectativas ciudadanas sean satisfechas de manera sistemática (Busquets, 2018).

Así entonces, en línea con la propuesta de Walter, el diseño centrado en el usuario no se limita a la interfaz; abarca también la experiencia integral, que en el caso de “Seguridad Participativa” incluye la capacitación comunitaria, la adaptación normativa, los mecanismos de denuncia anónima y la interacción directa con la Policía. El estudio demuestra que el abordaje de cada una de estas dimensiones incrementó la efectividad en la recolección de datos y, simultáneamente, fortaleció la relación de confianza entre la comunidad y las autoridades.

Por lo tanto, la experiencia recogida en la población objeto de estudio sugiere que la incorporación de principios de experiencia de usuario con énfasis en la protección de datos, la accesibilidad y la retroalimentación positiva puede ser transferible a otros contextos de alta vulnerabilidad y desconfianza institucional. Más aún, la visibilización de incidentes reportados, la generación de mapas de calor y la difusión de notificaciones de seguimiento apuntan no solo a incrementar la participación ciudadana, sino también a elevar el sentido de corresponsabilidad entre la comunidad y la fuerza pública.

Así pues, la teoría de Walter (2011) contribuye a un diseño efectivo de soluciones tecnológicas para el ámbito de la seguridad ciudadana, específicamente para el diseño del que se habla en el presente artículo. Las cuatro dimensiones — funcionalidad, confiabilidad, usabilidad y placer—, sirven de andamiaje conceptual para diseñar una herramienta que responda a problemas concretos (alta percepción de inseguridad, baja denuncia) y que, además, motive a la ciudadanía a adoptarla y darle continuidad. Sin embargo, la sostenibilidad y el éxito a largo plazo dependen de la capacidad de las instituciones de seguridad de gestionar adecuadamente los datos, generar respuestas oportunas e integrar estas plataformas a políticas públicas más amplias. Con todo, el estudio de caso de El Espinal confirma que la combinación de UX centrada en el usuario, estrategias de formación y adopción tecnológica efectiva puede incidir positivamente en la participación ciudadana y, en consecuencia, en el mejoramiento de la convivencia y la seguridad.

Complementando con lo anterior, otros estudios como los de Norman et al. (2013) y estudios posteriores del mismo autor -con otros- en 2018 plantean que las tecnologías móviles han revolucionado el trabajo policial al proporcionar herramientas que optimizan la prevención del delito y la respuesta operativa. Dispositivos como smartphones con aplicaciones especializadas y cámaras corporales permiten a los agentes acceder a información crítica en tiempo real, reducir el tiempo en estaciones en hasta 90 minutos por turno y mejorar la precisión en la recolección de datos y evidencia. Estas herramientas no solo fortalecen la seguridad de los agentes al ofrecer información inmediata para decisiones estratégicas, sino que también impulsan la transformación digital de los procesos policiales, adaptándolos a contextos de mayor austeridad y demandas sociales. A pesar de desafíos como la resistencia al cambio y las limitaciones tecnológicas, el impacto de estas tecnologías es innegable: aumentan la eficiencia, reducen tiempos operativos y potencian la efectividad policial en un entorno cada vez más complejo y dinámico, tal como se encontró en el uso de la aplicación móvil con la población objeto de este estudio.

CONCLUSIONES

La aplicación móvil “Seguridad Participativa” se confirmó como una herramienta valiosa para incentivar la participación ciudadana, superando barreras de desconfianza y temor a represalias. Al ofrecer un canal seguro y accesible para denunciar incidentes, se promovió una cultura de colaboración que robusteció los mecanismos de seguridad y convivencia en el barrio El Futuro.

La combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas demostró ser fundamental para capturar la complejidad inherente a los problemas de seguridad ciudadana. Las encuestas aportaron datos objetivos y comparables, mientras que las entrevistas y grupos focales permitieron profundizar en las percepciones, motivaciones y experiencias de los habitantes, favoreciendo una comprensión integral del fenómeno.

La experiencia destacó la importancia de la capacitación y la inclusión tecnológica. Aunque el uso de dispositivos móviles es alto en la mayoría de la población, persistió una brecha en cuanto al manejo de aplicaciones avanzadas. La realización de talleres de orientación y la habilitación de canales de denuncia complementarios

resultan esenciales para garantizar la efectividad y el alcance de la herramienta.

Las medidas de seguridad adoptadas, alineadas con la Ley 1581 de 2012. Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. 17 de octubre de 2012. D.O. No. 48587 y el Decreto 1377 [con fuerza de ley]. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012, Derogado Parcialmente por el Decreto 1081 de 2015. 27 de junio de 2013. D.O. 48834. Generaron confianza entre los usuarios y redujeron el riesgo de represalias. Este aspecto legal y ético reforzó la legitimidad de la aplicación y evidenció la importancia de un marco normativo sólido para iniciativas similares.

Se presentan limitaciones en términos de generalización de resultados, dado el carácter específico de la muestra. Aun así, las lecciones aprendidas pueden servir como modelo en contextos con desafíos de seguridad similares, siempre que se realicen las adaptaciones pertinentes a las características socioculturales y tecnológicas de cada territorio.

Se subraya la necesidad de continuar fortaleciendo la cooperación entre la ciudadanía y las autoridades, así como de impulsar el desarrollo de soluciones tecnológicas robustas. Bajo esta perspectiva, la apropiación de buenas prácticas de diseño centrado en el usuario y la articulación con normativas de protección de datos se erigen como fundamentos clave para futuras intervenciones que busquen consolidar entornos más seguros, confiables y colaborativos.

REFERENCIAS

- Alcaldía Municipal de El Espinal. (2024). *Fortalecimiento de la tecnología preventiva y comunitaria para la seguridad ciudadana de El Espinal* [Documento PDF]. Departamento Nacional de Planeación. <https://www.lespinal-tolima.gov.co/loader.php?IServicio=Documentos&ITipo=viewpdf&id=39035>
- Argote, J. (2021). Seguridad ciudadana en Colombia: retos y perspectivas. *Revista de Estudios Sociales*, 77(1), 45–60
- Busquets, C. (2018). *De Maslow a Walter: Las necesidades de los usuarios en el diseño*. UI from Mars. <https://www.uifrommars.com/necesidades-usuarios-walter-maslow/>
- Colombia. (1991). Constitución Política de Colombia. Bogotá: Imprenta Nacional.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2019). *Informe de seguridad y convivencia*. DANE.
- Di Nella, J. I. (2014). *Diseño emocional y experiencia de usuario* [Tesis de grado, Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio SEDICI. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/62697/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1
- El Congreso de la República. Ley 1581 de 2012 (Colombia). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>
- El Presidente de la República [con fuerza de ley]. Decreto 1377 de 2013 (Colombia). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53646>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Gaviria González, N. (16 de junio de 2022). Teléfonos superan el total de población, cada colombiano tiene al menos un celular. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/los-celulares-superan-el-total-de-la-poblacion-por-cada-colombiano-hay-1-2-moviles-3403559>

Moggridge, B. (2007). *Designing interactions*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Muggah, R. (2017). *Researching the urban dilemma: Urbanization, poverty and violence*. International Development Research Centre (IDRC). <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/f92fe2fb-4225-42f1-95df-b1dd1d9da8bf/content>

Norman, A., Forsgren, E., Allen, D. K., Williams, S. C., Gritt, E., & Shaw, N. (2018). *Mobile Technologies in Front Line Policing: A Case Study of Two Forces*. Leeds University Business School, University of Leeds, UK.

Norman, D. (2013). *The Design of Everyday Things* (Revised & expanded edition). MIT Press. In: <https://mitpress.mit.edu/books/design-everyday-things-revised-and-expanded>

Walter, A. (2011). *Designing for Emotion*. Nueva York: A Book Apart.

Elementos Mínimos de Revisión por Parte del Revisor Fiscal en una Matriz de Riesgos de LA/FT/FPADM en el Sector de Hidrocarburos

Leibniz Huxlay Flórez Guzmán

Magíster en Economía y Política de la Educación, Especialista en Revisoría Fiscal y Contraloría Profesional en Contaduría Pública

Mail: leibniz.h.f@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1095-1059>

Filiación Institucional: Corporación Universitaria Minuto de Dios

Mario Heimer Flórez Guzmán

Posdoctor en Investigación e Innovación, PhD in Education Management and Assurance, PhD© Administración, MBA, Especialista en Transformación Digital, Lic. Matemáticas y Física

Mail: mhflores@correo.iue.edu.co

Filiación Institucional: Institución Universitaria de Envigado

José Alfredo Susunaga Rodríguez

PhD(c) en Educación, Magíster en Administración de Negocios, Profesional en Contaduría Pública

Mail: jose.susunaga@uniminuto.edu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6221-857X>

Filiación Institucional: Corporación Universitaria Minuto de Dios

Gustavo Adolfo Rubio Rodríguez

Posdoctor en Ciencias Contables, Contraloría y Finanzas, Doctor en Ciencias Económicas y Administrativas, Doctor en Ciencias Sociales y de la Educación

Mail: gustavoadolforubio@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6582-2481>

Filiación Institucional: Instituto Tolimense de Formación Técnica Profesional ITFIP

Mario Samuel Rodríguez Barrero

Doctor en Administración Gerencial

Mail: mario.rodriguez@campusucc.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/00000001-9356-6764>

Filiación Institucional: Universidad Cooperativa de Colombia

Mercy Liliana Borbón Hoyos

PhD(c) en Derecho, Magíster en Psicología Criminal y Penitenciaria, Magíster en Grafología, Especialista en Psicología Jurídica

Mail: mercy.borbon@iudigital.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8349-635X>

Filiación Institucional: Institución Universitaria Digital de Antioquia

Germán Augusto Bastos Ramírez

Magíster en Didáctica Digital, Especialista en Comunicación Digital y Medios Interactivos, Diseñador Visual

Mail: german.bastos@correo.policia.gov.co

Filiación Institucional: Escuela Gabriel González

Como citar este capítulo en normas APA 7ma edición:

Flórez Guzmán, L. H., Flórez Guzmán, M. H., Susunaga Rodríguez, J. A., Rubio Rodríguez, G. A., Rodríguez Barrero, M. S., Borbón Hoyos, M. L., y Bastos Ramírez, G. A. (2024). Elementos mínimos de revisión por parte del revisor fiscal en una matriz de riesgos de LA/FT/FPADM en el sector de hidrocarburos en M. H. Flórez Guzmán (Ed.), *Perspectivas Interdisciplinarias de la Sostenibilidad* (1 Ed. Vol. 4, pp 629-649). Editorial CIDE Ecuador

RESUMEN

El presente capítulo de libro se enfoca en el análisis de los factores clave que los revisores fiscales deben de considerar en la evaluación de las matrices de riesgo de Lavado de Activos, Financiación del Terrorismo y Financiación de la Proliferación de Armas de Destrucción Masiva (LA/FT/FPADM) en el contexto del sector hidrocarburo. Dada la creciente complejidad de las operaciones en este sector y la necesidad de fortalecer los controles internos, se identifican los riesgos inherentes más comunes, tales como el uso de empresas ficticias, actos de corrupción y transacciones transfronterizas. A través de un análisis descriptivo y documental, se propone un conjunto de herramientas y procedimientos específicos para que los revisores fiscales evalúen la eficacia de los controles preventivos y detectivos implementados por las empresas. Este enfoque permite no solo garantizar el cumplimiento normativo, sino también mitigar los riesgos asociados al LA/FT/FPADM, fortaleciendo la confianza de los stakeholders y contribuyendo a la integridad del sector.

Palabras Clave: Revisor fiscal, matriz de riesgos, LA/FT/FPADM, sector de hidrocarburo, controles internos, empresas ficticias, corrupción, transacciones transfronterizas.

MINIMUM REVIEW ELEMENTS BY THE STATUTORY AUDITOR IN AN LA/FT/FPADM RISK MATRIX IN THE HYDROCARBONS SECTOR

ABSTRACT

This book chapter focuses on analyzing the key factors that internal auditors must consider when evaluating risk matrices for Anti-Money Laundering, Counter-Terrorism Financing, and the Financing of the Proliferation of Weapons of Mass Destruction (AML/CFT/FPADM) in the context of the hydrocarbon sector. Given the increasing complexity of operations in this sector and the need to strengthen internal controls, the most common inherent risks are identified, such as the use of shell companies, acts of corruption, and cross-border transactions. Through a descriptive and documentary analysis, a set of specific tools and procedures is proposed for internal auditors to evaluate the effectiveness of preventive and detective controls implemented by companies. This approach allows not only to ensure regulatory compliance but also to mitigate the risks associated with AML/CFT/FPADM, strengthening stakeholder confidence and contributing to the integrity of the sector.

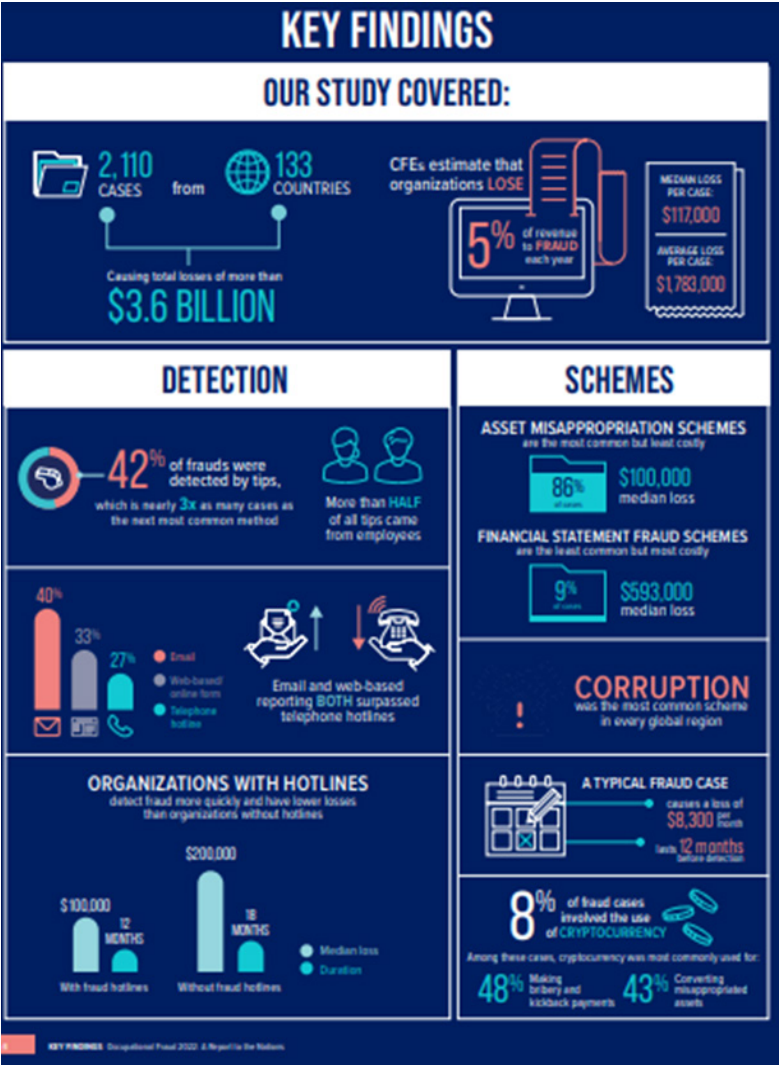
Keywords: Statutory Auditor, Risk Matrix, LA/FT/FPADM, Hydrocarbon Sector, Internal Controls, Shell Companies, Corruption, Cross-Border Transactions.

INTRODUCCIÓN

Durante el año 2022, a nivel mundial, se reportaron 2.110 casos de fraude distribuidos en 133 países (Association Of Certified Fraud Examiners [ACFE], 2022). De acuerdo con este informe, se revela que las empresas han presentado pérdidas equivalentes al 5 % de los ingresos anuales debido a la materialización de los diversos esquemas de fraude, ascendiendo a USD \$3.600 millones. El detrimento al patrimonio de estos accionistas se enmarca principalmente en el esquema de corrupción, siendo este el de mayor nivel de ocurrencia transversalmente en todas las industrias analizadas (ver figura 1).

Figura 1

Occupational fraud 2022 a Report To The Nations

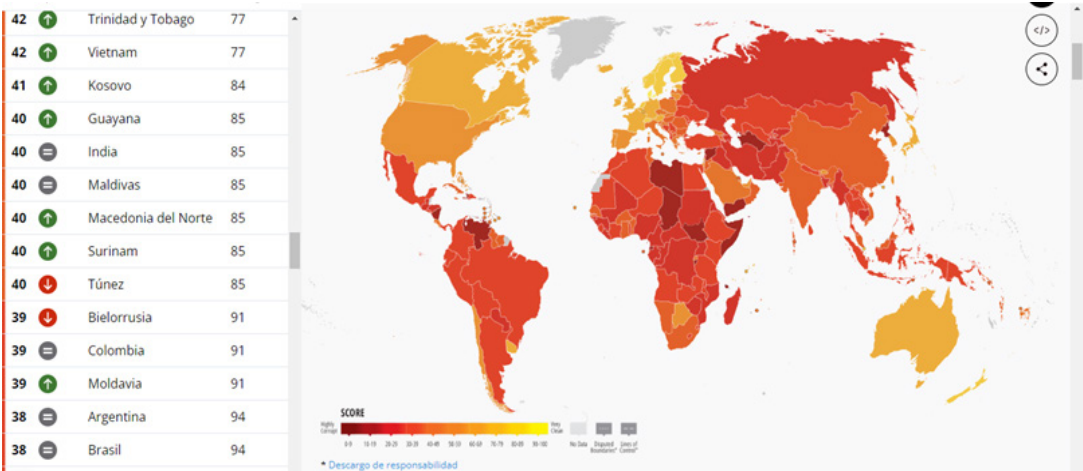


Nota. Se evidenciaron 2.110 casos en 133 países, ocasionando pérdidas por más de \$3,6 billones de pesos. (Association of Certified Fraud Examiners [ACFE], 2022).

Ahora bien, de acuerdo con la ACFE, LATCO reportó 95 casos, lo que equivale al 5 % del total de casos a nivel global. Por otro lado, el puntaje del IPC para los países LATCO se encuentra con niveles de 0 a 40 puntos sobre un máximo de 100, donde 0 es muy corrupto y 100 es no corrupto (ver figura 2). Colombia, para el año 2022 presentó un puntaje de 39/100, lo cual revela la alta percepción de corrupción frente a las instituciones públicas y privadas, así como también en sus directivos, lo que sumado a lo planteado por Hernández et al. (2018) la mayoría de los fraudes en las organizaciones se presentan por los grandes volúmenes de transacciones financieras y problemas en el diseño de matrices de riesgos, diseño de los controles preventivos y detectivos, que resulta en una oportunidad para la perpetración de fraude.

Figura 2

Mapa de calor IPC de corrupción 2022



Nota. Para el año 2022 Colombia obtuvo una puntuación de 39 en el índice de percepción de la corrupción

Según la CARF, en 2022 el sector petrolero aportó un total de COP \$18.16 billones a las arcas de la nación. Debido a la naturaleza de las operaciones en este sector —como exportación, cambio de divisas y múltiples transacciones financieras—, se incrementa tanto la probabilidad como la magnitud de los riesgos asociados a LA/FT/FPADM. En respuesta, Colombia ha emitido, entre otras disposiciones legales, cuatro normativas principales:

1. Ley 1778 de 2016. Por la cual se dictan normas sobre la responsabilidad de las personas jurídicas por actos de corrupción transnacional y se dictan otras disposiciones en materia de lucha contra la corrupción. 2 de febrero de 2016. D.O. 49774. Relativa al soborno transnacional en el sector petrolero.
2. Resolución 017 de 2016 [Unidad de Información y Análisis Financiero (UIAF)]. Por medio de la cual se modifica la Resolución 212 de 2009, proferida por el Director General de la UIAF. 2 de febrero de 2016. D.O. 49808: Que incluye el informe ROS, el cual debe elaborarse conforme a los parámetros establecidos en dicha normativa.
3. Estatuto anticorrupción Ley 190 de 1995. Por la cual se dictan normas tendientes a preservar la moralidad en la Administración Pública y se fijan disposiciones con el fin de erradicar la corrupción administrativa. 6 de junio de 1995. Complementada por la normativa de la UIAF, la Ley 1121 de 2006. Por la cual se dictan normas para la prevención, detección, investigación y sanción de la financiación del terrorismo y otras disposiciones. 29 de diciembre de 2006. D.O. 46497., y el CONPES 4042. Política Nacional Antilavado de Activos, Contra la Financiación del Terrorismo y Contra la Financiación de la Proliferación de Armas de Destrucción Masiva. 9 de agosto de 2021.
4. Ley 1778 de 2016 y la ley 2195 de 2022. Por medio de la cual se adoptan medidas en materia de transparencia, prevención y lucha contra la corrupción y se dictan otras disposiciones. 18 de enero de 2022.
5. PTEE (Programa de Transparencia y Ética Empresarial): Que debe integrarse en los procedimientos de auditoría de los Revisores Fiscales.

En consecuencia, el revisor fiscal —actuando como garante externo del cumplimiento normativo y responsable de evaluar y auditar la gestión financiera y contable de las empresas, así como de revisar la efectividad de los sistemas de administración de riesgos implementados— tiene la responsabilidad de desarrollar y aplicar procesos, procedimientos, técnicas y herramientas que aseguren la calidad, legalidad y fidelidad de su dictamen, fundamentado en la caracterización de la información mínima, necesaria y suficiente.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El sector de hidrocarburos se caracteriza por una intrincada red de operaciones, volúmenes financieros significativos e interacciones globales, lo cual lo convierte

en un entorno propicio para la comisión de delitos como el lavado de activos, la financiación del terrorismo y la financiación de la proliferación de armas de destrucción masiva (LA/FT/FPADM). A pesar de la existencia de un marco regulatorio robusto —materializado en normativas como la Ley 1778 de 2016 y los lineamientos de la Unidad de Información y Análisis Financiero (UIAF)— las entidades de este sector continúan expuestas a dichos riesgos. En este contexto, el Revisor Fiscal, en su rol de garante de la gestión de riesgos, enfrenta el desafío de diseñar e implementar una matriz de riesgos de LA/FT/FPADM que permita evaluar de manera exhaustiva la eficacia de los controles internos establecidos. Surge, entonces, el interrogante: ¿cuáles son los componentes esenciales que debe incluir una matriz de riesgos de LA/FT/FPADM en el sector de hidrocarburos para asegurar la mitigación adecuada de los riesgos inherentes a esta actividad?

ESTRATEGIA METODOLÓGICA

La metodología de este proyecto es de alcance descriptivo y de tipo mixto, desarrollada en tres fases:

Fase 1. Documental: Se consultaron documentos científicos en bases de datos como Scopus y Google Académico. Las ecuaciones de búsqueda incluyeron términos como “riesgo organizacional”, “controles organizacionales”, “control interno”, “evaluación y diseño de controles”, “fraude” y “normativas del sector petrolero”.

Fase 2. Análisis y procesamiento de la información: Se recopiló la información obtenida en la fase anterior y se realizó un análisis exhaustivo de los datos relevantes.

Fase 3. Construcción de la matriz: Se elaboró una matriz basada en información teórica y secundaria, que recoge los elementos mínimos que el revisor fiscal debe considerar al evaluar una matriz de riesgos de LA/FT/FPADM.

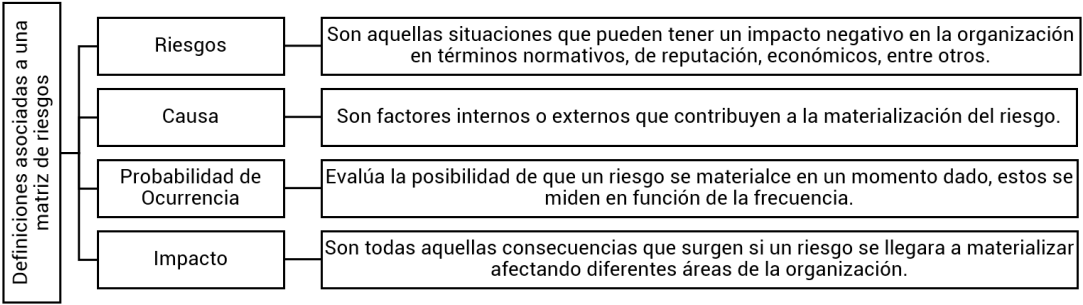
Esta estructura metodológica permitió abordar el estudio de manera sistemática y rigurosa, integrando distintas fuentes y técnicas de análisis para obtener resultados consistentes.

SISTEMA DE CONTROL INTERNO - MATRIZ DE RIESGOS PARA LAFT

Una matriz de riesgos para LAFT es una herramienta fundamental para los sistemas de gestión integral para prevenir el LA/FT/FPADM, puesto que, facilita la identificación, evaluación, asignación de niveles de riesgo, definición de controles, medidas de mitigación y monitoreo, y actualización constante, propendiendo así por la mitigación de la ocurrencia e impacto de los fraudes en la organización, por lo cual es necesario hacer la caracterización de los riesgos a los que se encuentra expuesta una organización.

Figura 3

Definiciones asociadas a una matriz de riesgos



Nota. Elaboración propia con datos tomados de Flórez-Guzmán et al. (2015)

La matriz de LAFT permite visualizar y clasificar los diferentes riesgos que pueden afectar a las empresas, como lo son los riesgos inherentes propios de la función y su sector, sus causas y sus posibles consecuencias si se llegara a una materialización. Ahora bien, uno de los aspectos más importantes a evaluar en una matriz de LAFT es la probabilidad de ocurrencia, la cual determina cada cuánto se presenta el riesgo y el impacto que establece cómo afectaría a la empresa la materialización del riesgo.

Tabla 1

Guía matriz de riesgo

Identificación del riesgo				Evaluación del Riesgo			Controles		Evaluación del Riesgo Residual		
Nombre del Riesgo	Descripción	Causas	Efectos	Probabilidad ocurrencia	Impacto	Nivel de Riesgo	Control	Responsable	Probabilidad ocurrencia	Impacto	Nivel de Riesgo
Cientes y Proveedores	Cientes con perfiles sospechosos de actividad delictiva o corrupción	• Procesos de debida diligencia inadecuados al evaluar a los clientes. • Falta de verificación de la fuente de los fondos y actividades comerciales de los clientes. • Falta de seguimiento continuo de los clientes para detectar cambios en su perfil de riesgo.	• Riesgo de involucramiento en transacciones ilegales o fraudulentas • Posible pérdida de reputación y daño a la imagen de la empresa. • Exposición a sanciones legales y financieras.	Media	Menor	Tolerable	Realizar debida diligencia y evaluación exhaustiva de los clientes y proveedores antes de establecer relaciones	Departamento de ventas y atención al cliente.	Media	Menor	Tolerable

Nota. Elaboración propia basado en Madrid Nicolás y Serrano Madrid (2019).

La matriz de riesgos LAFT se estructura mediante filas y columnas, donde cada fila representa un riesgo específico seccionados en cuatro grandes bloques (identificación del riesgo, evaluación del riesgo, controles y evaluación del riesgo residual), que a su vez tiene insertos diferentes elementos relacionados con ese riesgo, como la probabilidad de ocurrencia, el impacto potencial y las medidas de control existentes, entre otros.

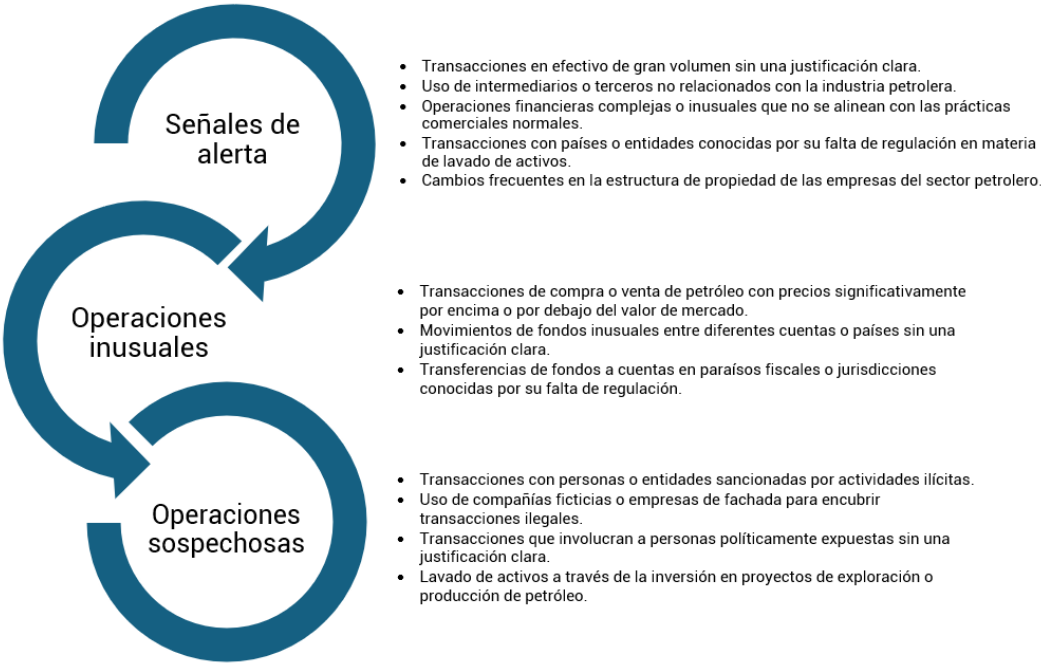
RIESGO DE OPERACIONES SOSPECHOSAS ROS

La UIAF establece que las entidades que están obligadas bajo resolución 017 de 2016 deberán realizar el reporte de operaciones sospechosas (ROS) con el objetivo de analizar y dar seguimiento a dichas actividades ya sean intentadas o realizadas, toda vez que, estas operaciones inusuales o sospechosas están relacionadas con la prevención y detección de actividades ilícitas como es LA/FT, las operaciones inusuales y las operaciones sospechosas son señales de alerta que según la definición de la superintendencia financiera son: hechos, situaciones o eventos con cuantías delimitadas por indicadores cualitativos o cuantitativos, a partir de las cuales se puede inferir de manera oportuna o prospectiva que existe

un hecho que tiene un patrón anormal que escapa lo que la entidad en el desarrollo de SARLAFT ha establecido como normal (Da Silva & Rua, 2016).

Figura 4

Ejemplos de señales de alerta, operaciones inusuales y operaciones sospechosas en el sector petrolero. Transacciones en efectivo de gran volumen sin una justificación clara



Nota. Elaboración propia basado en Pacto Global Red Colombia. Alliance For Integrity & UNODC Colombia (2020).

Ante la materialización de estos riesgos, las empresas se podrían ver expuestas a diferentes impactos como los que se listan en la figura 5.

Figura 5

Impactos una vez materializados los riesgos de operaciones sospechosas

Impacto Financiero: • Son todas las pérdidas económicas que resultan de un riesgo, afectando la liquidez y activos de la entidad, por ende, la continuidad del ente económico.	Impacto Reputacional: • El impacto reputacional implica la pérdida de confianza y credibilidad ante stakeholders, dañando la imagen corporativa y potencialmente afectando la preferencia de mercado, relaciones con clientes e inversionistas.	Impacto Operativo: • Es la interrupción de procesos esenciales debido a la materialización de los riesgos.
Impacto de seguridad: • Concierno a la seguridad personal y la integridad física, especialmente en la proliferación de armas de destrucción masiva, con el riesgo de lesiones, pérdidas de vidas y graves afectaciones a la salud humana	Impacto en la ética y moral de la organización: • son los impactos que se ocasionan al interior de la organización y que afectan al ambiente de control	

Nota. Elaboración propia.

IMPORTANCIA DEL CONTROL INTERNO (DISEÑO DE CONTROLES, IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLES Y VERIFICACIÓN DE LA EFECTIVIDAD OPERATIVA)

El control interno es el encargado de la salvaguarda de los activos de la organización, mismo que –desde la teoría competencial establecida por Rodríguez (2009)– fortalece la confianza pública en la medida en que sus procesos, procedimientos, técnicas y herramientas sean robustas y permitan detectar cualquier indicio de fraude o un fraude perpetrado en el menor tiempo posible. Revistiendo de importancia el desarrollo de herramientas que permitan al Revisor Fiscal evaluar el cumplimiento de la normativa aplicable a las entidades.

DISEÑA DE CONTROLES

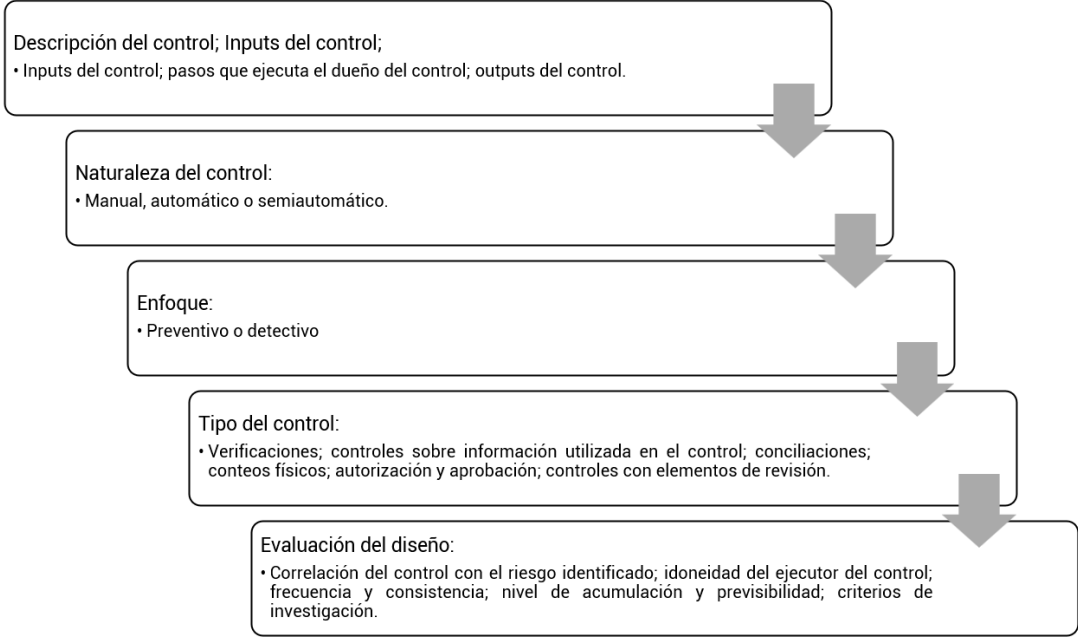
Las actividades de control dentro de las organizaciones son clave en la construcción de un ambiente de control que propenda por mitigar los riesgos inherentes y de la operación propia de la entidad. Por tal motivo, el adecuado diseño de los controles preventivos y detectivos robustecen la estructura de la entidad para dar cumplimiento a las disposiciones normativas, entre ellas, las relacionadas con LAFT.

ASPECTOS IMPORTANTES PARA TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE CONTROLES

Evaluar lo apropiado del diseño del control permite al Revisor Fiscal no solo identificar los aspectos propios del mismo, sino que también denota el compromiso de la administración en mitigar los riesgos a los que está expuesta. Por tal motivo, los aspectos mínimos de la evaluación del diseño de los controles marcan el punto de partida para saber si la entidad puede o no presentar errores en la información financiera y no financiera a reportar. (ver figura 6)

Figura 6

Aspectos mínimos a evaluar en una matriz de control interno

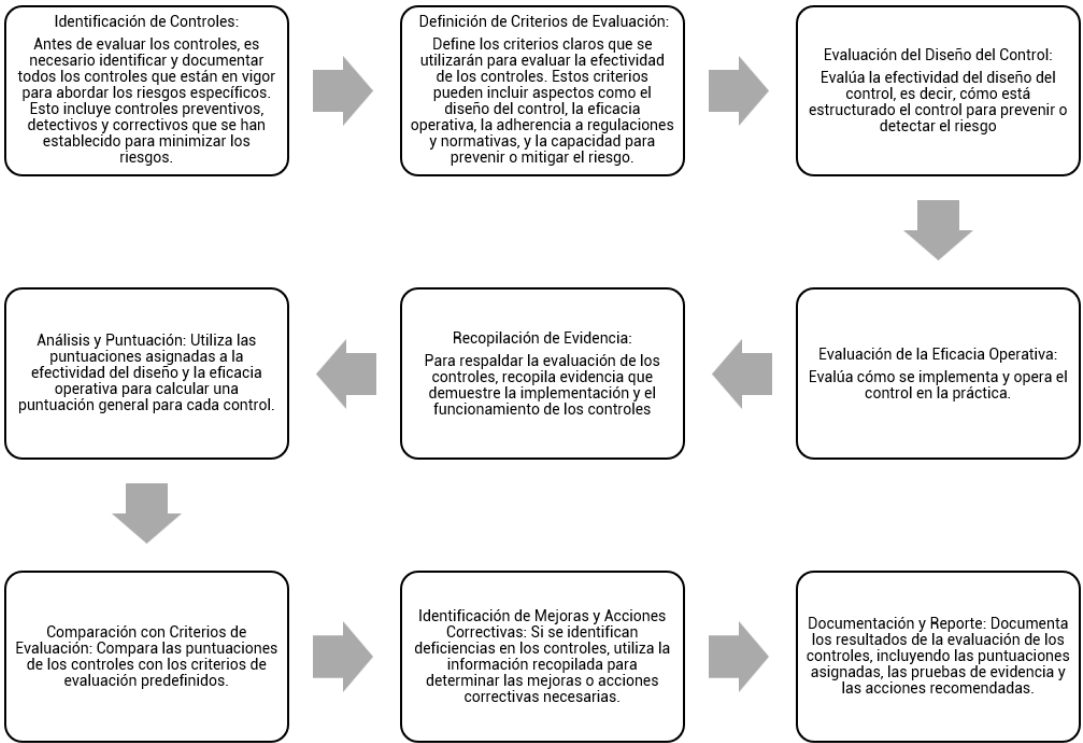


Nota. Elaboración propia.

Finalmente, debe evaluar, con base en un ejemplo, que lo diseñado se ejecute. Para ello, las normas internacionales de auditoría sugieren diferentes procedimientos, siendo el más común el Walkthrough (prueba de recorrido), la cual consiste en tomar una transacción desde su origen hasta su final, validando que los controles del proceso se hayan ejecutado (ver figura 7).

Figura 7

Esquema general de evaluación de controles



Nota. Elaboración propia.

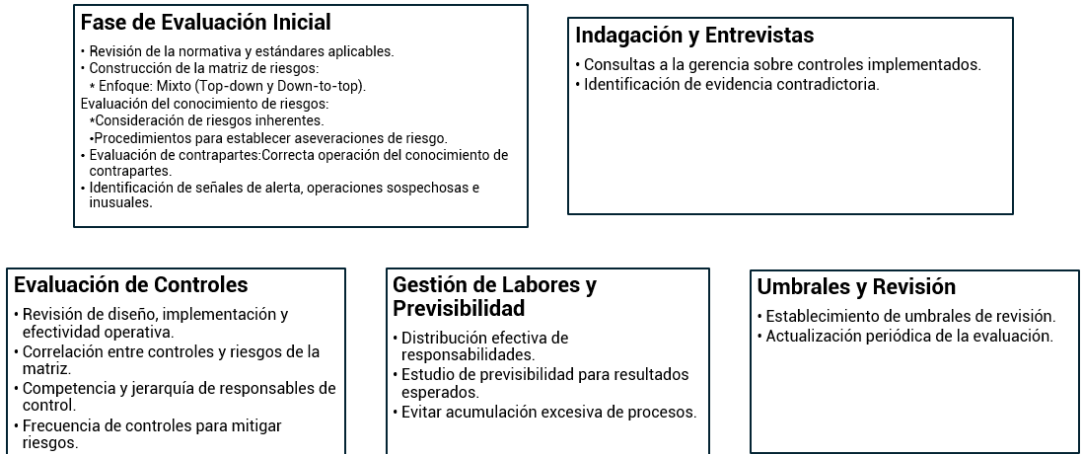
VERIFICACIÓN DE LA EFICACIA OPERATIVA

Los controles dentro del esquema de control interno de organización pueden estar correctamente diseñados para mitigar los riesgos que se proponen y, pueden estar implementados, es decir, se llevó a cabo de forma apropiada en su prueba. Ahora bien, el reto de los revisores fiscales y auditores es evaluar que, los controles están operando de forma efectiva cuando se entiende que deben operar; por ello, el auditor debe evaluar que los controles estén operando efectivamente. Para tal evaluación, el auditor debe considerar la frecuencia del control y, con base en las normas de auditoría, establecer el procedimiento de muestreo/selección para evaluar, con base en la frecuencia, si el control operó como debía durante el periodo de revisión.

ASPECTOS MÍNIMOS QUE EL REVISOR FISCAL DEBE DE TENER EN CUENTA EN LA EVALUACIÓN DE UNA MATRIZ DE RIESGOS DE LA/FT/FPADM EN EL SECTOR PETROLERO

Figura 8

Procesos para evaluación de una matriz de riesgos de LA/FT/FPADM en el sector petrolero



Nota. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El principal problema que se presenta en la perpetración de un fraude dentro de una organización es la pérdida de confianza que se genera en sus grupos de interés, especialmente cuando se detecta que ha sido producto de una falla que pudo proyectarse y posteriormente controlarse para que su impacto haya sido menor, por lo que, la generación de herramientas, técnicas, procedimientos y procesos que propendan por fortalecer los sistemas de control interno siempre serán una alternativa importante para mejora la estructura y por ende la capacidad de respuesta de la organización ante posibles fraudes, lo cual además, eleva el nivel de confianza de la organización con sus grupos de interés. Así entonces, el desarrollo de una matriz que contenga los elementos mínimos que debe tener en cuenta el Revisor Fiscal especialmente en contra de LA/FT/FPADM es fundamental para mitigar los riesgos que se pueden dar por parte del Revisor Fiscal, mejorando así el capital estructural de la organización y a su vez la confianza ante sus grupos de interés.

El diseño de la matriz de elementos mínimos que debe tener en cuenta el Revisor Fiscal, especialmente en la lucha contra LA/FT/FPADM en el sector petrolero, incluye: complejidad de la cadena de suministro; uso de empresas ficticias y estructuras opacas; corrupción y soborno; relación con Estados no cooperativos; uso de productos petroleros para financiamiento; movimiento transfronterizo de fondos; cumplimiento normativo y regulaciones; sanciones internacionales; uso de criptomonedas; y evaluación de riesgos y debida diligencia (ver tabla 2).

Tabla 2

Guía para la creación de un Checklist de Elementos mínimos de verificación por parte del Revisor Fiscal para una matriz de riesgos de LAFT

PB3:E51ROCEDIMIENTOS	Realizado por	Referencia PT	Observaciones
Sistema de autocontrol y gestión de riesgo de LA/FT SAGRLAFT			
Existe un sistema de LA/FT SAGRLAFT, que contenga los riesgos propios de la empresa (tipo de negocio, operación, tamaño, áreas geográficas donde opera y demás características)			
Existe evidencia de una matriz de riesgo de LA/FT que permita medir y monitorear su evolución. Lo anterior incluye, la calificación de los riesgos de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia e impacto.			
Elementos del sistema - Identificación del riesgo			
Verifique la existencia de una metodología de identificación de riesgo de LA/FT y sus riesgos relacionados, para cada uno de los riesgos que se han documentado en el inciso anterior.			
Establezca la razonabilidad de las formas a través de las cuales se puede presentar el riesgo de LA/FT, de acuerdo con las actividades desarrolladas por la entidad auditada.			
Elementos del sistema - Medición o evaluación del riesgo			
Verificar la documentación y determine si esta permite medir la posibilidad o probabilidad de ocurrencia del riesgo inherente de LA/FT frente a cada uno de los factores de riesgo, así como el impacto en caso de su materialización. Por lo general, esta medición está asociada al tipo de riesgo que puede ser: reputacional, de contagio, legal u operativo.			
Verificar que la entidad ha establecido un perfil de riesgo inherente de LA/FT de la empresa. Así mismo, valide que se realizado su actualización de acuerdo con las políticas establecidas por la entidad.			
Verifique que la entidad ha tomado los controles suficientes para controlar su exposición a los riesgos que se identificaron y asociaron a LA/FT.			
Para lo anterior, verifique la documentación que demuestre que los mecanismos han sido aplicados a los factores de riesgo identificados de forma satisfactoria. En caso contrario, se deberá establecer los programas de mitigación establecidos por la administración para mejorar sus controles e impedir que este tipo de situaciones puedan presentarse.			
Elementos del sistema - Monitoreo del Riesgo			
Establezca los procedimientos de la entidad para ejercer vigilancia sobre el perfil de riesgo y detectar operaciones inusuales o sospechosas.			
Verifique que como mínimo estos procedimientos de monitoreo se realicen de forma semestral			

PB3:E51ROCEDIMIENTOS	Realizado por	Referencia PT	Observaciones
Etapas del Sistema - Diseño y aprobación			
Verifique que el diseño se encuentre bajo la supervisión y dirección del Oficial de Cumplimiento, para lo cual deberá tener en cuenta las características propias de la empresa y su actividad, así como la identificación de las fuentes de riesgo de LA/FT. Establezca si la alta gerencia de la compañía ha facilitado el trabajo a realizar por parte del oficial de cumplimiento.<12rt6 Verifique que el Sistema haya sido presentado por el Representante legal y el oficial de cumplimiento para la aprobación de la Junta Directiva o el máximo órgano social de la empresa. Para este efecto, debe constar en un acta del órgano correspondiente.			
Etapas del Sistema - Supervisión y Cumplimiento			
Verifique que el Oficial de Cumplimiento ha llevado a cabo labores de supervisión y cumplimiento del sistema. Valide que la designación del oficial de cumplimiento se ha realizado por la junta directiva de la empresa o por el Representante legal con la aprobación del máximo órgano social, en los casos que no exista junta directiva. NO puede ser contratado un tercero. Obtenga evidencia que el Oficial de Cumplimiento ha rendido informes, tanto al representante legal como a la junta directiva o máximo órgano social, de acuerdo con la periodicidad establecida por el sistema. Sin embargo, deberá existir como mínimo un reporte semestral.			
Etapas del Sistema - Divulgación y Capacitación			
Verifique que la empresa haya divulgado el sistema de prevención de LA/FT, de acuerdo con la forma y frecuencia establecido en sus políticas o procedimientos. Establezca la forma como se realizó la capacitación a aquellos empleados, socios, accionistas y en general a todas las partes interesadas. Indague con alguna persona que haya recibido el entrenamiento (diferente del oficial de cumplimiento) si conoce cuando una operación es inusual o sospechosa, cuando debe reportarse, que debe reportarse y cuál es el medio para hacerlo. Verifique que el entrenamiento se haya realizado por lo menos una vez al año, donde se evidencie los nombres de los asistentes, fecha y asuntos tratados.			
Medidas de prevención y gestión de LA/FT - Evaluación y análisis de operaciones, negocios y contratos			
Verificar la documentación y el análisis de las situaciones que pueden ser fuente de Riesgo de LA/FT con el fin de implementar los controles necesarios y facilitar su seguimiento Lo anterior, incluye una evaluación de las operaciones, negocios y contratos que desarrolle la empresa, para identificar las fuentes de riesgo como, por ejemplo: No realizar un adecuado conocimiento de contratistas, proveedores, socios, empleados con antecedentes de LA/FT; operaciones con personas listadas, operaciones en las que se utilicen monedas virtuales entre otros.			
Medidas de prevención y gestión de LA/FT - Procedimientos de debida diligencia			
Verifique la debida diligencia en el conocimiento de los clientes y demás contrapartes, de acuerdo con las características de la entidad. Lo anterior, incluye el conocimiento de los beneficiarios reales y/o controlantes de las respectivas contrapartes, por medio de las herramientas que se dispongan. Valide que el monitoreo a los clientes y demás contrapartes se hacen con la periodicidad y regularidad establecidas por la empresa y no solo al momento de la vinculación. En caso de que producto de la revisión se hayan identificado operaciones inusuales o sospechosas, verifique que se haya reportado a la IUAF.			

Medidas de prevención y gestión de LA/FT - Conocimiento de los Clientes
Verifique que en la evaluación del conocimiento de los clientes se hayan desarrollado las siguientes actividades básicas: - Verificación y confirmación de la identidad del cliente, sus datos de contacto y actividad económica - Conocer el origen de sus recursos - Documentación adicional determinada por la compañía Para lo anterior, se debe contar con la fecha, hora y nombre de la persona que lo verificó.
Medidas de prevención y gestión de LA/FT - Conocimiento de los Proveedores
Verifique y confirmar que, en la evaluación de la aprobación de los proveedores, se hayan desarrollado las siguientes actividades básicas: - Identidad del proveedor, sus datos de contacto y actividad económica - Conocer el origen de sus productos (si son legales o no) - Si los productos han sido debidamente nacionalizados - Si se cuentan con las debidas autorizaciones o licencias para la comercialización de sus productos Para lo anterior, se debe contar con la fecha, hora y nombre de la persona que lo verificó.
Medidas de prevención y gestión de LA/FT - Conocimiento de las personas públicamente expuestas (PEP)
Los procesos para el conocimiento de PEPs exige mayores controles, por tanto, se recomienda que todas las operaciones realizadas con PEPs deben contar con una aprobación de una instancia superior al encargado del proceso ordinario de conocimiento de las contrapartes.
Medidas de prevención y gestión de LA/FT - Conocimiento de los asociados
Antes de la vinculación de nuevos socios o accionistas se debe cumplir también con un proceso de validación de información con el objeto de conocer el beneficiario real de la inversión y el origen de los recursos, con el objeto de validar que no sean ilegales o perjudiquen a la empresa.
Medidas de prevención y gestión de LA/FT - Conocimiento de los trabajadores
La compañía debe verificar los antecedentes de sus trabajadores o las personas que tenga intención de contratar. Asimismo, actualizar sus datos por lo menos una vez al año y tener mecanismos que permitan identificar comportamientos inusuales de las personas que laboren en la empresa, para tomar las medidas correspondientes.
Medidas de prevención y gestión de LA/FT - Negocios virtuales o no presenciales
La compañía debe adoptar medidas necesarias para identificar plenamente a la persona natural o jurídica con quien realiza este tipo de operaciones y para conocer el origen y soporte de los recursos involucrados en estos negocios.
Medidas de prevención y gestión de LA/FT - Manejo del Efectivo
Verifique que existan controles y procedimientos para reglamentar el manejo del dinero en efectivo en los negocios con sus contrapartes, para lo que se debe considerar las características del negocio.

Nota. Elaboración propia.

REFERENCIAS

- Association Of Certified Fraud Examiners (ACFE). (2022). *Occupational fraud 2022: A report to the nations*. <https://www.acfe.com/-/media/files/acfe/pdfs/rtrtn/2022/2022-report-to-the-nations.pdf>
- Da Silva, S. R., & Rua Roa, C. A. (2016). Efectividad de la auditoría forense frente a los reportes de las operaciones sospechosas - ROS. *Pensamiento Republicano*, 3. <http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/pensamientorepublicano/article/view/301>
- Departamento Nacional de Planeación (DPN). Documento CONPES 4042 de 2021 (Colombia). <https://www.uiaf.gov.co/conpes-4042>
- El Congreso de la República. Ley 1121 de 2006 (Colombia). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=22647>
- El Congreso de la República. Ley 1778 de 2016 (Colombia). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=67542>
- El Congreso de la República. Ley 190 de 1995 (Colombia). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=321>
- El Congreso de la República. Ley 2195 de 2022 (Colombia). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=119961>
- Flórez-Guzmán, M. H., Hernández-Aros, L., y Gallego-Cossio, L. C. (2015). Tableros de control como herramienta especializada: perspectiva desde la auditoría forense. *Cuadernos de Contabilidad*, 16(42), 661-687
- Hernández-Aros, L., Plazas Estepa, R. A., & Flórez-Guzmán, M. H. (2018). Los medios probatorios en Colombia y su incidencia en el encargo de una auditoría: una perspectiva desde el pentágono del fraude. *Revista Republicana*, (25), 117-134. <https://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/revistarepublicana/article/view/487>

Madrid Nicolás, R., y Serrano Madrid, J. (2019). Matriz de riesgos: ¿En qué consiste, cómo se construye, cómo se gestiona? *Revista de Contabilidad y Dirección*, 28, 57-68. <https://accid.org/wp-content/uploads/2020/03/4-1.pdf>

Pacto Global Red Colombia., Alliance For Integrity., UNODC. (2020). *Publicación de buenas prácticas en anticorrupción en Colombia*. <https://www.pactoglobal-colombia.org/news/primera-publicacion-de-buenas-practicas-en-anticorrupcion-en-colombia.html>

Rodríguez, H. (2009). La confianza pública en las instituciones reguladoras del riesgo: tres modelos de confianza para tres desafíos del análisis del riesgo. *Argumentos de razón técnica*, (12), 125-153. <https://idus.us.es/handle/11441/21758>

Unidad de Información y Análisis Financiero (UIAF). Resolución 17 de 2016 (Colombia). *Informe de Gestión*. https://www.uiaf.gov.co/sites/default/files/2024-08/Informe_de_Gesti%C3%B3n_2020.pdf