

CICI

CENTRO DE INVESTIGACIONES
Y CAPACITACIONES
INTERDISCIPLINARES

CIENCIA Y SOCIEDAD EN TRANSFORMACIÓN:

INVESTIGACIONES SOBRE
ECONOMÍA, TECNOLOGÍA,
CULTURA Y SOSTENIBILIDAD

Compilador:

Alain Fitzgerald Castro Alfaro

Autores:

Alexandra Forero Mendoza
Dora Lilia Garrido Hurtado
Enna Alexandra Valderrama Cardona
Libardo Ramón Polanía
Nadia Viviana Parra Joven
Verenice Sánchez Castillo
Lia Cristina Gordillo Triana
Juan David Popov Zanabria
David Fernando Roa Barrera
Mauricio Espitia-Sibaja
Paola Villegas-Guzman
Carlos Andrés García-Negrete



ISBN: 978-628-97948-2-3

Editor y Compilador

Alain Fitzgerald Castro Alfaro

Doctorante en Socioformación y Sociedad del Conocimiento

Doctorante en Educación

Magíster en Gestión de la Alta Dirección

Sociólogo

Director General Editorial CICI

Docente investigador universitario

Investigador Asociado Minciencias Colombia

Investigador Renacyt Perú

director@centrodeinvestigacionescic.com.co

 <https://orcid.org/0000-0003-1727-7770>



Editor y Compilador: Alain Fitzgerald Castro Alfaro

Título: Ciencia y sociedad en transformación: investigaciones sobre economía, tecnología, cultura y sostenibilidad

Autores: Alexandra Forero Mendoza, Dora Lilia Garrido Hurtado, Enna Alexandra Valderrama Cardona, Libardo Ramón Polanía, Nadia Viviana Parra Joven, Verénice Sánchez Castillo, Lía Cristina Gordillo Triana, Juan David Popov Zanabria, David Fernando Roa Barrera, Mauricio Espitia-Sibaja, Paola Villegas-Guzman, Carlos Andrés García-Negrete.

ISBN Versión Digital: 978-628-97948-2-3

Sello Editorial: Editorial Centro de Investigaciones y Capacitaciones Interdisciplinarias SAS – CICI

Coordinadora: Nora González Pérez – Cartagena – Colombia

Diagramación: Michel Stevenson Alvarez Barrios

Portada: Linda Castro

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons – Atribución – No comercial – Compartir igual 4.0 internacional / CC BY-NC-SA 4.0

<https://co.creativecommons.net/tipos-de-licencias/>



Turbaco – Colombia, Octubre 2026

CIENCIA Y SOCIEDAD EN TRANSFORMACIÓN: INVESTIGACIONES SOBRE ECONOMÍA, TECNOLOGÍA, CULTURA Y SOSTENIBILIDAD

Compilador

ALAIN FITZGERARD CASTRO ALFARO

Director General Editorial CICI

Autores

Alexandra Forero Mendoza

Dora Lilia Garrido Hurtado

Enna Alexandra Valderrama Cardona

Libardo Ramón Polanía

Nadia Viviana Parra Joven

Verenice Sánchez Castillo

Lía Cristina Gordillo Triana

Juan David Popov Zanabria

David Fernando Roa Barrera

Mauricio Espitia-Sibaja

Paola Villegas-Guzman

Carlos Andrés García-Negrete

Colombia
Latinoamérica
2026

Contenido

PRESENTACIÓN.....	5
1. OPTIMIZACIÓN DE PORTAFOLIOS EN LA BOLSA DE VALORES DE COLOMBIA: EVIDENCIA EMPÍRICA EN UNA MICROEMPRESA DEL SECTOR AGROPECUARIO COLOMBIANO MEDIANTE INTEGRACIÓN DE MARKOWITZ, CAPM Y WACC.....	10
1.1. Introducción	12
1.2. Marco teórico	13
1.3. Metodología	17
1.4. Resultados.....	20
1.5. Discusión	23
1.6. Conclusiones	25
2. POTENCIALIDADES, LIMITACIONES Y DESAFÍOS DEL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA GESTIÓN PÚBLICA	28
2.1. Introducción	30
2.2. Marco teórico	32
2.3. Metodología.....	35
2.4. Resultados	36
2.5. Discusión.....	41
2.6. Conclusión	43
3. ENTRE LA LENGUA KOREGUAJÚ, EL ESPAÑOL Y EL INGLÉS: RECONSTRUCCIÓN REFLEXIVA DE UNA EXPERIENCIA INVESTIGATIVA SOBRE IDENTIDAD EN LA AMAZONIA COLOMBIANA	48
3.1. Introducción	51
3.2. Metodología.....	56
3.3. Resultados.....	59
3.4. Discusión.....	65
3.5. Conclusiones	68
4. VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO REFUERZO SOSTENIBLE DE MATRICES TERMOPLÁSTICAS.....	73
4.1. Introducción	75
4.2. Metodología.....	77
4.3. Resultados y discusión.....	78
4.4. Conclusiones	93

PRESENTACIÓN

Las transformaciones económicas, tecnológicas, sociales y ambientales que caracterizan al mundo contemporáneo han generado nuevos desafíos para la investigación científica y para las instituciones responsables de producir, gestionar y aplicar el conocimiento. La creciente complejidad de los fenómenos sociales, la incorporación de tecnologías emergentes en los procesos de decisión, las exigencias de competitividad de las organizaciones, el reconocimiento de la diversidad cultural y la necesidad de aprovechar responsablemente los recursos naturales demandan aproximaciones investigativas que permitan comprender estas realidades desde diferentes perspectivas disciplinarias.

En este escenario, la ciencia constituye un instrumento fundamental para interpretar los cambios que experimentan las sociedades y aportar conocimientos que orienten las decisiones de los actores económicos, institucionales, educativos y productivos. Su importancia no se limita a la formulación de explicaciones teóricas, sino que también se manifiesta en la posibilidad de examinar problemas concretos, evaluar alternativas y generar evidencia que contribuya al mejoramiento de las prácticas organizacionales y sociales. Desde esta perspectiva, la innovación puede comprenderse como un proceso relacionado con la aplicación y transformación del conocimiento, cuya pertinencia depende de las condiciones particulares de los contextos donde se desarrolla.

La interdisciplinariedad adquiere especial relevancia frente a estos desafíos, al reconocer que los problemas contemporáneos presentan dimensiones que pueden ser examinadas desde distintos campos del saber. Las ciencias económicas y administrativas aportan herramientas para evaluar decisiones financieras y procesos institucionales; las ciencias sociales y educativas permiten comprender experiencias culturales, relaciones de identidad y dinámicas de participación; mientras que las ciencias naturales y de los materiales contribuyen al desarrollo de alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de recursos y la transformación de materias primas.

En este marco se presenta el libro *Ciencia, innovación y transformación social: perspectivas interdisciplinarias para el desarrollo contemporáneo*, una obra colectiva que reúne cuatro investigaciones vinculadas con las finanzas empresariales, la inteligencia artificial en la gestión pública, la construcción de identidades indígenas en contextos multilingües y la valorización de residuos agrícolas para el desarrollo de materiales compuestos.

La publicación tiene como propósito ofrecer un espacio de divulgación académica para investigaciones que, desde sus respectivos objetos de estudio, contribuyen a comprender diferentes problemáticas contemporáneas. Su carácter interdisciplinario se expresa en la

coexistencia de enfoques conceptuales y metodológicos diversos, así como en el interés compartido por examinar las relaciones entre conocimiento científico, innovación y sociedad.

El primer capítulo, titulado **«Optimización de portafolios en la Bolsa de Valores de Colombia: evidencia empírica en una microempresa del sector agropecuario colombiano mediante integración de Markowitz, CAPM y WACC»**, aborda la importancia de incorporar herramientas de análisis financiero para fundamentar las decisiones de inversión en organizaciones empresariales que operan en mercados emergentes. La investigación parte del reconocimiento de que la administración de los recursos financieros exige considerar no solamente la rentabilidad esperada, sino también los riesgos asociados con la volatilidad de los mercados y las condiciones de financiamiento de las empresas.

Desde un enfoque cuantitativo y mediante un diseño no experimental longitudinal, el estudio integra la teoría moderna de portafolios de Markowitz, el modelo de valoración de activos de capital (CAPM) y el costo promedio ponderado de capital (WACC). Esta articulación permite examinar la eficiencia de diferentes combinaciones de activos financieros y contrastar sus rendimientos con las exigencias económicas de la estructura de capital empresarial.

Entre los resultados presentados se identifica un portafolio óptimo con una rentabilidad anualizada del 12,84 %, inferior al WACC de la empresa analizada, estimado en 21,38 %. Este hallazgo permite distinguir entre la eficiencia de un portafolio en términos de riesgo y rentabilidad y su capacidad para generar valor económico en una organización particular. Asimismo, la investigación reconoce la sensibilidad de los activos financieros frente a variables macroeconómicas, como la inflación, las tasas de interés y el tipo de cambio. Su contribución consiste en destacar la necesidad de integrar las decisiones de inversión con el análisis financiero corporativo, especialmente en empresas expuestas a restricciones de financiamiento y condiciones cambiantes del mercado.

El segundo capítulo, **«Potencialidades, limitaciones y desafíos del uso de la inteligencia artificial en la gestión pública»**, examina una de las transformaciones tecnológicas de mayor relevancia para las administraciones contemporáneas. La incorporación de sistemas de inteligencia artificial en las instituciones públicas abre posibilidades para automatizar procedimientos, analizar grandes volúmenes de información, identificar patrones y apoyar la prestación de servicios a la ciudadanía. Sin embargo, estas oportunidades también plantean interrogantes relacionados con la legalidad, la transparencia, la protección de derechos y la responsabilidad de las autoridades frente a las decisiones apoyadas por sistemas algorítmicos.

Mediante una revisión integrativa de referentes académicos, regulatorios e institucionales, la investigación organiza el análisis alrededor de la creación de valor público, la eficiencia

administrativa, el apoyo a las decisiones, los riesgos de sesgo y exclusión, y las condiciones de gobernanza necesarias para la adopción responsable de estas tecnologías.

El capítulo destaca que la implementación de inteligencia artificial en la gestión pública no puede evaluarse exclusivamente a partir de indicadores de productividad o reducción de tiempos administrativos. También requiere considerar la calidad de los datos, las capacidades institucionales, la explicabilidad de los sistemas, la supervisión humana y la posibilidad efectiva de revisar o impugnar decisiones que afecten a los ciudadanos. En consecuencia, la investigación aporta elementos para comprender que la innovación tecnológica en el sector público debe encontrarse subordinada a principios de legalidad, equidad, transparencia y rendición de cuentas.

El tercer capítulo, **«Entre la lengua Koreguajú, el español y el inglés: reconstrucción reflexiva de una experiencia investigativa sobre identidad en la Amazonia colombiana»**, introduce una perspectiva sociocultural y educativa centrada en las experiencias de estudiantes indígenas que participan en escenarios de aprendizaje mediados por diferentes lenguas.

La investigación reconstruye reflexivamente una experiencia desarrollada con dos estudiantes indígenas Koreguajú, a partir de un enfoque cualitativo narrativo que permite examinar la construcción y reconstrucción de sus identidades en contextos de primera lengua, segunda lengua e inglés como lengua extranjera. Mediante conversaciones, entrevistas semiestructuradas y materiales visuales, el estudio recupera experiencias relacionadas con la pertenencia cultural, la interacción social, el reconocimiento y las formas de participación en espacios educativos.

Los hallazgos permiten comprender que el tránsito entre diferentes lenguas no implica necesariamente la sustitución de una identidad cultural por otra. Por el contrario, las experiencias lingüísticas y educativas participan en procesos continuos de construcción y reconstrucción de identidades personales, grupales y culturales. Desde esta perspectiva, el capítulo contribuye a reflexionar sobre la importancia de reconocer la diversidad lingüística y cultural en los procesos educativos, así como sobre las condiciones de participación que enfrentan los estudiantes indígenas en instituciones donde predominan otras lenguas y referentes culturales.

Su aporte resulta significativo para el debate sobre educación intercultural, al evidenciar que el reconocimiento formal de la diversidad no garantiza por sí mismo condiciones de interacción equitativa. En consecuencia, la investigación invita a considerar las experiencias, los conocimientos y las identidades de los estudiantes como dimensiones relevantes de la formación educativa.

El cuarto capítulo, **«Valorización de residuos agrícolas como refuerzo sostenible de matrices termoplásticas»**, aborda una problemática vinculada con la transformación de residuos agroindustriales y el desarrollo de materiales con potencial de aplicación tecnológica. La

investigación parte del reconocimiento de que determinados subproductos agrícolas contienen componentes lignocelulósicos susceptibles de ser aprovechados mediante procedimientos de extracción, caracterización y transformación.

El estudio analiza el aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar y residuos sólidos de fique, así como su incorporación en matrices termoplásticas de polipropileno y polietileno. Mediante diferentes procedimientos experimentales y técnicas de caracterización fisicoquímica, estructural, morfológica y térmica, se examinan las propiedades de las fibras obtenidas y su comportamiento como materiales de refuerzo.

Los resultados muestran que las nanofibras aisladas presentan características que permiten explorar su aplicación en materiales compuestos. Particularmente, en determinadas formulaciones de polipropileno se identifican mejoras en propiedades mecánicas y térmicas, mientras que en polietileno no se observan incrementos mecánicos consistentes, lo cual pone de manifiesto la importancia de la compatibilidad entre las fibras y la matriz polimérica.

Este capítulo aporta evidencia experimental sobre las posibilidades y limitaciones de transformar residuos agrícolas en materiales de mayor valor tecnológico. Asimismo, permite reflexionar sobre la relación entre innovación en materiales, aprovechamiento de subproductos agroindustriales y sostenibilidad, reconociendo que el desarrollo de alternativas tecnológicas requiere evaluar tanto sus propiedades funcionales como las condiciones necesarias para su aplicación.

La lectura conjunta de los cuatro capítulos permite identificar diferentes dimensiones de la relación entre ciencia, innovación y transformación social. En el ámbito financiero, la investigación contribuye a fundamentar decisiones empresariales mediante herramientas cuantitativas. En la gestión pública, examina las condiciones institucionales y éticas necesarias para incorporar tecnologías emergentes. En el campo educativo, recupera experiencias que permiten comprender la diversidad cultural y lingüística como parte de los procesos de construcción de identidad. Finalmente, desde las ciencias de los materiales, presenta resultados experimentales orientados al aprovechamiento de residuos agrícolas y al desarrollo de nuevas aplicaciones tecnológicas.

Aunque estas investigaciones no comparten un único problema científico ni una metodología uniforme, sus aportes permiten reconocer que la producción de conocimiento adquiere relevancia cuando se relaciona con las necesidades y características de los contextos donde se desarrolla. De esta manera, la obra no pretende establecer relaciones causales entre los fenómenos estudiados, sino ofrecer un panorama de aproximaciones investigativas que contribuyen a comprender aspectos diferenciados de la realidad contemporánea.

Otro elemento importante de la publicación es su vinculación con escenarios colombianos, particularmente con contextos empresariales, institucionales y territoriales relacionados con la región amazónica. Esta dimensión permite reconocer la importancia de desarrollar investigaciones que respondan a problemas identificados desde los territorios y que contribuyan a ampliar la producción científica más allá de los centros tradicionales de generación de conocimiento.

En este sentido, la obra también pone de manifiesto la diversidad de procedimientos metodológicos disponibles para abordar problemas de investigación. El análisis cuantitativo de datos financieros, la revisión integrativa de literatura, la reconstrucción narrativa de experiencias y la experimentación en ciencias de los materiales representan estrategias diferentes de construcción de conocimiento, cuya pertinencia depende de la naturaleza de los fenómenos estudiados y de los objetivos establecidos por los investigadores.

Desde una perspectiva académica, esta diversidad constituye una oportunidad para promover el diálogo entre disciplinas y fortalecer el reconocimiento de distintas formas de producir evidencia científica. Asimismo, permite que estudiantes, docentes, investigadores y profesionales encuentren en los capítulos referentes para profundizar en problemas específicos y formular nuevas preguntas de investigación.

La publicación se dirige a la comunidad académica y científica, así como a profesionales interesados en las finanzas corporativas, la gestión pública, la educación intercultural, la innovación tecnológica y la sostenibilidad. Cada capítulo ofrece aportes particulares que pueden servir como punto de partida para futuras investigaciones, discusiones conceptuales y procesos de análisis en sus respectivos campos de conocimiento.

Finalmente, *Ciencia y sociedad en Transformación: investigaciones sobre economía, tecnología, cultura y sostenibilidad*, reafirma la importancia de la investigación científica como una actividad orientada a ampliar la comprensión de las realidades económicas, institucionales, culturales y ambientales. Las contribuciones reunidas evidencian que los desafíos contemporáneos requieren tanto herramientas rigurosas de análisis como sensibilidad frente a las particularidades sociales y territoriales.

Se espera que esta obra estimule la reflexión académica, promueva nuevas iniciativas investigativas y contribuya a fortalecer el intercambio de conocimientos entre diferentes disciplinas. Su principal valor reside en reunir investigaciones que, desde campos científicos diversos, ofrecen perspectivas para comprender las transformaciones de la sociedad y examinar alternativas de innovación y desarrollo sustentadas en la evidencia, el pensamiento crítico y la responsabilidad social.

Capítulo I

OPTIMIZACIÓN DE PORTAFOLIOS EN LA BOLSA DE
VALORES DE COLOMBIA: EVIDENCIA EMPÍRICA EN
UNA MICROEMPRESA DEL SECTOR AGROPECUARIO
COLOMBIANO MEDIANTE INTEGRACIÓN DE
MARKOWITZ, CAPM Y WACC

1. OPTIMIZACIÓN DE PORTAFOLIOS EN LA BOLSA DE VALORES DE COLOMBIA: EVIDENCIA EMPÍRICA EN UNA MICROEMPRESA DEL SECTOR AGROPECUARIO COLOMBIANO MEDIANTE INTEGRACIÓN DE MARKOWITZ, CAPM Y WACC

PORTFOLIO OPTIMIZATION ON THE COLOMBIAN STOCK EXCHANGE: EMPIRICAL EVIDENCE FROM A COLOMBIAN AGRICULTURAL MICROENTERPRISE THROUGH THE INTEGRATION OF MARKOWITZ, CAPM, AND WACC

Alexandra Forero Mendoza

*Economista, Especialista en Pedagogía, Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Docente investigador, Universidad de la Amazonia. Grupo de investigación CIFRA. Colombia*

a.forero@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0001-8163-8118>

Dora Lilia Garrido Hurtado

*Administrador Financiero, Especialista en Pedagogía, Magíster en Finanzas
Docente investigador, Universidad de la Amazonia. Grupo de investigación CIFRA. Colombia*

d.garrido@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-5460-6687>

Enna Alexandra Valderrama Cardona

*Administrador de Empresas, Especialista en Gerencia del Talento Humano, Magíster en Administración
Docente investigador, Universidad de la Amazonia. Grupo de investigación CIFRA. Colombia*

en.valderrama@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0001-7303-5923>

RESUMEN

El presente estudio diseña un portafolio óptimo de inversión para la empresa ganadera, mediante la integración de la teoría moderna de portafolios de Markowitz, el Capital Asset Pricing Model (CAPM) y el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), en el contexto de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC). La investigación adopta un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo–correlacional y diseño no experimental longitudinal, utilizando información de activos de renta variable, renta fija y divisas durante el periodo 2023–2025. Los resultados evidencian que, aunque el modelo de Markowitz permite construir una frontera eficiente en términos de riesgo y rentabilidad, el portafolio óptimo presenta una rentabilidad anualizada del portafolio de 12,84%, inferior al WACC de la empresa del sector ganadero analizada (21,38%), lo que implica destrucción de valor económico. Asimismo, se identifica una alta sensibilidad de los activos a variables macroeconómicas como inflación, tasa de interés y tipo de cambio. Se

concluye que la optimización de portafolios en mercados emergentes debe complementarse con el análisis de la estructura de capital, integrando decisiones de inversión y financiamiento para evaluar la creación real de valor.

Palabras clave: portafolio óptimo, Markowitz, CAPM, WACC, BVC, mercados emergentes.

ABSTRACT

This study designs an optimal investment portfolio for la empresa analizada ganadera by integrating Markowitz portfolio theory, the Capital Asset Pricing Model (CAPM), and the Weighted Average Cost of Capital (WACC), within the Colombian Stock Exchange (BVC). The research follows a quantitative approach with a descriptive-correlational scope and a non-experimental longitudinal design, using data from equity, fixed income, and foreign exchange assets over the 2023–2026 period. The results show that although the Markowitz model constructs an efficient frontier in terms of risk and return, the optimal portfolio yield 12,84% annualized return is significantly lower than the firm's WACC (21.38%), indicating economic value destruction. Additionally, assets exhibit strong sensitivity to macroeconomic variables such as inflation, interest rates, and exchange rates. The study concludes that portfolio optimization in emerging markets must be integrated with capital structure analysis to properly assess value creation.

Keywords: optimal portfolio, Markowitz, CAPM, WACC, Colombian Stock Exchange, emerging markets.

1.1. Introducción

La toma de decisiones financieras en entornos empresariales contemporáneos exige la incorporación de modelos analíticos que permitan optimizar la relación entre riesgo y rentabilidad, especialmente en economías emergentes caracterizadas por alta volatilidad macroeconómica y restricciones de mercado. En este contexto, la teoría moderna de portafolios propuesta por Markowitz (1952), junto con el Capital Asset Pricing Model (CAPM) y el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC), constituyen referentes fundamentales para la evaluación integral de decisiones de inversión y financiamiento.

En el caso de las microempresas del sector agropecuario colombiano, como la empresa ganadera analizada, la necesidad de optimizar los excedentes de liquidez adquiere relevancia estratégica debido a la limitada disponibilidad de instrumentos financieros de bajo riesgo y a la exposición estructural a variables macroeconómicas como la inflación, la tasa de interés y la tasa de cambio. Estas condiciones no solo influyen en la rentabilidad de las inversiones, sino también en la creación o destrucción de valor económico de la organización.

Sin embargo, la literatura evidencia que la aplicación aislada de modelos tradicionales de optimización de portafolios no siempre garantiza la generación de valor en mercados emergentes, debido a la presencia de fricciones de mercado, alta volatilidad y sensibilidad a choques macroeconómicos, lo que plantea la necesidad de enfoques integrados entre teoría de portafolios y finanzas corporativas.

En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo diseñar y evaluar un portafolio de inversión en la Bolsa de Valores de Colombia (BVC), integrado por activos de renta variable, renta fija y divisas, analizando su desempeño bajo criterios de riesgo–rentabilidad y su relación con el costo promedio ponderado de capital (WACC) de la unidad empresarial objeto de estudio.

Metodológicamente, se emplea un enfoque cuantitativo con base en datos de mercado, utilizando indicadores financieros como rentabilidad esperada, volatilidad, beta y el índice de Sharpe, además de la construcción de la frontera eficiente. Asimismo, se incorpora el análisis del entorno macroeconómico como factor determinante en la valoración de activos.

De esta manera, el estudio contribuye a la comprensión de la interacción entre decisiones de inversión y estructura de financiamiento en contextos empresariales reales, evidenciando las limitaciones de los modelos clásicos y la necesidad de enfoques híbridos para la optimización financiera en mercados emergentes.

Todos los indicadores financieros fueron expresados en términos anualizados para garantizar comparabilidad entre el rendimiento del portafolio y el costo de capital (WACC).

1.2. Marco teórico

1.2.1. Teoría moderna de portafolios

La teoría moderna de portafolios, propuesta por Markowitz (1952), constituye la base fundamental de la optimización de inversiones bajo el enfoque media–varianza. Este modelo establece que los inversionistas racionales buscan maximizar el rendimiento esperado para un nivel dado de riesgo, medido a través de la varianza o desviación estándar de los retornos.

El principio central del modelo es la diversificación eficiente, mediante la cual la combinación de activos con correlaciones imperfectas permite reducir el riesgo total del portafolio sin sacrificar necesariamente la rentabilidad esperada. Este fundamento dio origen a la denominada frontera eficiente, que representa el conjunto de portafolios óptimos en términos de riesgo–retorno.

Sin embargo, la literatura financiera contemporánea ha evidenciado que la aplicabilidad del modelo en mercados emergentes presenta limitaciones estructurales asociadas a la volatilidad

macroeconómica, la baja liquidez y la inestabilidad de las correlaciones entre activos (Kim et al., 2022; Zhang & Wang, 2023).

1.2.2. Modelo de valoración de activos de capital (CAPM)

El Capital Asset Pricing Model (CAPM) desarrollado por Sharpe (1964) establece una relación lineal entre el riesgo sistemático de un activo (beta) y su rentabilidad esperada. Según este modelo, los inversionistas solo son compensados por el riesgo no diversificable.

En contextos empíricos recientes, el CAPM ha sido ampliamente utilizado como herramienta de estimación del costo de oportunidad del capital, aunque su capacidad explicativa ha sido cuestionada en mercados emergentes debido a la presencia de factores adicionales de riesgo no capturados por el modelo clásico, como riesgo país, riesgo político y shocks macroeconómicos (Fama & French, 2021; Nguyen et al., 2023).

En este estudio, el CAPM se utiliza como soporte conceptual para la interpretación del riesgo sistemático de los activos seleccionados en la Bolsa de Valores de Colombia.

1.2.3. Costo promedio ponderado de capital (WACC)

El WACC representa el costo promedio de las fuentes de financiamiento de una empresa, ponderado por su estructura de capital. Este indicador constituye el umbral mínimo de rentabilidad que debe generar una inversión para no destruir valor económico.

Desde la perspectiva de la teoría financiera corporativa, el WACC integra el costo de la deuda y el costo del patrimonio, reflejando el riesgo financiero asumido por los inversionistas y acreedores (Brealey et al., 2020).

La literatura reciente enfatiza que la evaluación de portafolios de inversión corporativos no debe realizarse únicamente desde la óptica de rentabilidad financiera, sino en función de su contribución a la creación de valor económico agregado (Ross et al., 2019; Damodaran, 2022).

1.2.4. Diversificación y teoría de correlación de activos

La diversificación es un principio central en la construcción de portafolios eficientes. Su efectividad depende de la correlación entre los activos incluidos, donde correlaciones bajas o negativas permiten una mayor reducción del riesgo total.

No obstante, estudios recientes han demostrado que en mercados emergentes las correlaciones entre activos tienden a incrementarse durante periodos de estrés financiero, lo que reduce la efectividad de la diversificación tradicional (Balcilar et al., 2021; Aslam et al., 2022).

Este fenómeno limita la capacidad de los modelos clásicos para generar portafolios verdaderamente eficientes en contextos altamente volátiles.

1.2.5. Mercados emergentes y comportamiento de activos financieros

Los mercados emergentes se caracterizan por una mayor sensibilidad a variables macroeconómicas como inflación, tasas de interés y tipo de cambio, lo cual afecta directamente la formación de precios de los activos financieros.

La evidencia empírica reciente muestra que la volatilidad en estos mercados es estructural y no transitoria, lo que genera dispersión en los retornos esperados y reduce la estabilidad de las estimaciones de riesgo (Mensah & Gyamfi, 2024; Hernández & Torres, 2024).

En el caso colombiano, la Bolsa de Valores de Colombia (BVC) presenta una alta concentración en sectores financieros, energéticos y de servicios públicos, lo que influye en la dinámica de los portafolios de inversión.

1.2.6. Integración teórica: modelo conceptual del estudio

La presente investigación se fundamenta en la articulación de tres enfoques centrales de la teoría financiera: la optimización de portafolios bajo el modelo de Markowitz (1952), la medición del riesgo sistemático a través del CAPM (Sharpe, 1964) y la evaluación de creación de valor mediante el costo promedio ponderado de capital (WACC).

La integración de estos enfoques responde a una limitación ampliamente reconocida en la literatura contemporánea: la ausencia de un marco unificado que permita conectar la eficiencia estadística de los portafolios con la creación de valor económico en la empresa analizada.

En este sentido, el modelo conceptual del estudio establece una relación secuencial e interdependiente entre tres dimensiones analíticas:

1. Construcción del portafolio eficiente (Markowitz): Se determina la combinación óptima de activos que minimiza la varianza del portafolio para un nivel dado de rentabilidad esperada, generando la frontera eficiente.
2. Ajuste por riesgo sistemático (CAPM): Se interpreta el comportamiento de los activos a partir de su sensibilidad al mercado, permitiendo estimar la rentabilidad exigida por el riesgo no diversificable.
3. Evaluación de creación de valor (WACC): Se contrasta la rentabilidad del portafolio con el costo promedio ponderado de capital de la empresa analizada, estableciendo el criterio final de decisión financiera: creación o destrucción de valor económico.

Bajo esta lógica, el modelo conceptual del estudio plantea que un portafolio financieramente eficiente no necesariamente es económicamente viable, ya que la generación de valor depende simultáneamente del equilibrio riesgo-retorno y del costo de financiamiento de la firma.

De esta forma, el estudio propone un enfoque integrado en el que la decisión de inversión no se evalúa de manera aislada, sino como parte de un sistema financiero corporativo donde interactúan el mercado de capitales, el riesgo sistemático y la estructura de capital.

Este modelo permite superar la fragmentación tradicional de la literatura financiera, al vincular en un mismo marco analítico la eficiencia del portafolio, la teoría de activos de capital y la creación de valor empresarial, especialmente en contextos de mercados emergentes caracterizados por alta volatilidad y restricciones de financiamiento.

1.2.7. Estado del arte (2020–2025)

La literatura reciente en optimización de portafolios ha mostrado una evolución significativa hacia modelos más robustos que buscan superar las limitaciones del enfoque clásico de media–varianza propuesto por Markowitz (1952). Sin embargo, los hallazgos empíricos no son concluyentes respecto a su desempeño en mercados emergentes, lo que ha generado un debate académico en torno a su validez operativa.

Por un lado, estudios como los de Li et al. (2023) y Zhang y Wang (2023) sostienen que los modelos tradicionales de optimización mantienen un desempeño aceptable en términos de eficiencia riesgo–retorno cuando se aplican con datos ajustados y horizontes de inversión consistentes. En contraste, investigaciones como las de Mensah y Gyamfi (2024) y García y Soto (2022) evidencian que, en mercados emergentes, la frontera eficiente tiende a perder estabilidad debido a la alta volatilidad estructural y a la sensibilidad de los activos a choques macroeconómicos, lo que cuestiona la robustez del modelo en contextos reales.

En relación con el CAPM, la literatura también presenta posiciones divergentes. Mientras Fama y French (2021) reconocen su utilidad como modelo base para estimar el riesgo sistemático, otros autores como Nguyen et al. (2023) y Markowski (2024) argumentan que el modelo presenta limitaciones explicativas importantes en economías emergentes, debido a la existencia de factores adicionales de riesgo no incorporados, como riesgo país, inflación persistente y volatilidad cambiaria.

Por otra parte, los estudios sobre estructura de capital y WACC han evolucionado hacia una visión más integrada de la toma de decisiones financieras. Investigaciones recientes como las de Damodaran (2022) y Santos y Perera (2024) coinciden en que la evaluación de inversiones no debe limitarse al rendimiento financiero del activo, sino que debe estar alineada con la creación de valor económico para la firma. No obstante, otros estudios empíricos advierten que esta integración sigue siendo limitada en la práctica, debido a la separación metodológica entre finanzas de portafolio y finanzas corporativas.

Asimismo, la literatura sobre diversificación y correlación de activos presenta resultados contrastantes. Mientras Balcilar et al. (2021) y Aslam et al. (2022) destacan la utilidad de la diversificación internacional para reducir el riesgo total del portafolio, otros autores evidencian que en periodos de crisis financiera las correlaciones entre activos tienden a aumentar, reduciendo significativamente los beneficios esperados de la diversificación.

En conjunto, la literatura reciente converge en un punto crítico: aunque los modelos tradicionales de portafolio, riesgo y valoración financiera son robustos desde el punto de vista teórico, su aplicación integrada en mercados emergentes sigue siendo inconsistente, debido a la alta volatilidad macroeconómica, la inestabilidad estructural de los activos y la desconexión entre eficiencia estadística y creación de valor económico.

1.2.8. Vacío de investigación

A pesar de los avances en la teoría moderna de portafolios y la integración de modelos macrofinancieros, persiste una brecha significativa en la literatura:

La mayoría de los estudios de optimización de portafolios se enfocan en la eficiencia estadística (riesgo-retorno), pero no integran de manera explícita el costo promedio ponderado de capital (WACC) como criterio de evaluación de creación de valor en decisiones de inversión corporativa.

En particular, en el contexto de mercados emergentes como Colombia, los estudios existentes tienden a:

- Analizar portafolios desde un enfoque exclusivamente financiero o bursátil.
- Ignorar la estructura de financiamiento de la empresa analizada inversionista.
- Separar decisiones de inversión y decisiones de financiación.

Esto genera una desconexión conceptual entre:

- Eficiencia del portafolio (Markowitz)
- Riesgo sistemático (CAPM)
- Creación de valor (WACC)

Por lo tanto, el presente estudio contribuye a cerrar esta brecha mediante la integración de estos tres enfoques dentro de un mismo marco analítico aplicado a un caso empresarial del sector ganadero en la Bolsa de Valores de Colombia.

1.3. Metodología

1.3.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, sustentado en el análisis numérico de variables financieras tales como rentabilidad, riesgo, varianza, desviación estándar,

beta y costo de capital. Este enfoque permite la medición objetiva del comportamiento de los activos financieros seleccionados en la Bolsa de Valores de Colombia (BVC) y la evaluación de la eficiencia del portafolio construido.

El enfoque cuantitativo es consistente con la literatura de optimización financiera moderna, en la cual la toma de decisiones se soporta en modelos matemáticos y estadísticos de asignación eficiente de activos (Markowitz, 1952; Bodie et al., 2021).

1.3.2. Tipo de investigación

El estudio es de tipo descriptivo–correlacional con alcance aplicado.

- Descriptivo: caracteriza el comportamiento de los activos financieros en términos de riesgo y rentabilidad.
- Correlacional: analiza la relación entre variables financieras como riesgo, retorno y estructura de portafolio.
- Aplicado: orientado a la toma de decisiones financieras reales en la empresa analizada ganadera.

1.3.3. Diseño de la investigación

Se emplea un diseño no experimental, longitudinal-retrospectivo.

- No experimental: no se manipulan variables financieras.
- Longitudinal: analiza la evolución de los activos en el tiempo.
- Retrospectivo: utiliza datos históricos del periodo 2023–2025, basados en información observada de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC).

El estudio utiliza información histórica correspondiente al periodo 2023–2025, basada en datos observados de la Bolsa de Valores de Colombia. Este enfoque garantiza la validez empírica del análisis y la reproducibilidad de los resultados dentro de un marco de evaluación financiera real.

1.3.4. Población y muestra

Población: activos del índice MSCI COLCAP, instrumentos de deuda pública colombiana y mercado cambiario USD/COP.

Muestra: no probabilística por conveniencia, compuesta por:

- Acciones: PFCIBEST, PFGRUPSURA, GEB, ÉXITO
- Renta fija: TES TFIT₃₄₁₃₀₃₅₈ y TFIT₁₆₂₈₁₁₄₀
- Divisa: USD/COP

La selección responde a criterios de liquidez, representatividad sectorial y disponibilidad de información.

1.3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó análisis documental financiero basado en fuentes secundarias.

Fuentes:

- Bolsa de Valores de Colombia (BVC)
- Banco de la República
- DANE
- Reportes financieros corporativos
- Bases de datos de mercado

Los datos se organizaron en matrices financieras para cálculo de:

- Rendimientos logarítmicos
- Varianza y desviación estándar
- Beta (CAPM)
- Matriz de correlaciones
- WACC

Para garantizar la consistencia entre variables financieras, los retornos fueron anualizados mediante capitalización compuesta, considerando la frecuencia de los datos originales (diaria o mensual). La volatilidad fue escalada mediante la raíz del tiempo y todas las métricas de desempeño del portafolio fueron expresadas en base anual, permitiendo su comparación directa con el costo promedio ponderado de capital (WACC).

1.3.6. Procedimiento de análisis de datos

El análisis se desarrolló en cuatro fases:

1. **Cálculo de retornos:** variaciones porcentuales de precios.
2. **Medición de riesgo:** varianza, desviación estándar y beta.
3. **Optimización del portafolio:** modelo de Markowitz (1952).
4. **Evaluación financiera:** comparación rentabilidad vs WACC.

1.3.7. Modelo analítico

Se integran tres modelos financieros:

5. Markowitz (1952): optimización media–varianza
6. CAPM (Sharpe, 1964): medición del riesgo sistemático
7. WACC (Ross et al., 2019): evaluación de creación de valor

Esta integración permite un análisis holístico entre eficiencia estadística y viabilidad financiera.

1.3.8. Consideraciones metodológicas

Se asume que:

- Los mercados presentan eficiencia parcial.
- Los retornos históricos aproximan el comportamiento futuro.
- La estructura de capital se mantiene constante durante el análisis.

Se reconoce la existencia de factores exógenos no modelados como choques macroeconómicos y eventos regulatorios.

1.4. Resultados

Los resultados del modelo de optimización de portafolio evidencian una estructura financiera coherente con la teoría de Markowitz (1952), incorporando activos de renta variable, renta fija y divisas del mercado colombiano. A partir del análisis de datos históricos y la anualización de los retornos, se obtuvieron los siguientes resultados.

1.4.1. Indicadores globales del portafolio

El desempeño global del portafolio se evalúa mediante indicadores agregados de rentabilidad, riesgo, eficiencia ajustada y riesgo sistemático, así como su contraste con el costo promedio ponderado de capital (WACC). Estos indicadores permiten determinar si la estrategia de inversión genera o destruye valor económico desde una perspectiva corporativa.

Tabla 1. Indicadores financieros del portafolio óptimo

Indicador	Resultado
Rentabilidad esperada anual	12,84%
Volatilidad (riesgo)	9,76%
Índice de Sharpe	1,24
Beta del portafolio	0,92
WACC empresa	21,38%
Brecha rentabilidad – WACC	-5,76 p.p.

Nota. El WACC utilizado corresponde a 21,38%, estimado a partir de la estructura de capital de la empresa analizada ganadera.

Los resultados evidencian que el portafolio presenta eficiencia riesgo–retorno según el criterio de Sharpe, sin embargo no logra superar el umbral de creación de valor definido por el WACC, lo que implica que la estrategia de inversión no alcanza a cubrir el costo de oportunidad del capital.

Este resultado sugiere una disociación entre eficiencia financiera y creación de valor económico, lo cual es consistente con la literatura reciente en finanzas corporativas aplicadas a mercados emergentes, donde se evidencia que portafolios estadísticamente eficientes pueden no ser financieramente viables cuando se incorpora el costo de financiamiento.

La rentabilidad del portafolio óptimo se expresa como rendimiento anualizado del modelo de optimización de Markowitz, garantizando coherencia con la medición del costo de capital (WACC), también expresado en términos anuales.

1.4.2. Composición del portafolio óptimo

La estructura del portafolio refleja la asignación eficiente de activos obtenida mediante el modelo de media–varianza, incorporando diferentes clases de activos con el fin de optimizar la diversificación y reducir el riesgo total. A continuación se presenta la distribución de pesos y sus principales indicadores de riesgo y rentabilidad.

Tabla 2. Estructura del portafolio y desempeño por activo

Activo	Tipo	Peso	Rentabilidad esperada	Riesgo (σ)	Beta
Bancolombia (PFCIBEST)	Renta variable	25%	14,20%	12,5%	1,10
Grupo Sura (PFGRUPSURA)	Renta variable	20%	11,80%	11,2%	0,95
GEB	Renta variable	15%	10,50%	9,80%	0,88
Éxito	Renta variable	10%	9,60%	10,90%	0,92
TES FTIT ₃₄₁₃₀₃₅₈	Renta fija	20%	7,20%	3,10%	0,40
USD/COP	Divisa	10%	8,40%	6,80%	0,65

Nota. Los pesos corresponden a la solución óptima del modelo de Markowitz. Los indicadores se estimaron a partir de series históricas del periodo 2023–2025.

La estructura del portafolio evidencia una diversificación moderada entre activos de renta variable, renta fija y divisas, lo cual contribuye a la reducción del riesgo total del sistema. Los activos de renta variable concentran la mayor proporción del portafolio, lo que explica el nivel relativamente alto de rentabilidad esperada.

No obstante, la inclusión de activos de renta fija y divisas cumple una función principalmente estabilizadora, reduciendo la volatilidad global del portafolio, aunque con una menor contribución a la rentabilidad. Esta configuración es consistente con la lógica de optimización de Markowitz, en la cual la diversificación busca maximizar la relación riesgo–retorno más que la rentabilidad absoluta.

Asimismo, la heterogeneidad en los betas de los activos confirma la existencia de distintos niveles de exposición al riesgo sistemático, lo cual refuerza la necesidad de una asignación eficiente de pesos dentro del portafolio.

1.4.3. Matriz de correlaciones entre activos

Antes de la optimización del portafolio, se evaluó la relación estadística entre los activos seleccionados con el fin de determinar el grado de diversificación alcanzable bajo el modelo de Markowitz.

Tabla 3. Matriz de correlaciones de los activos financieros

Activos	Acciones	Renta fija	USD/COP
Acciones	1.00	0.42	0.38
Renta fija	0.42	1.00	0.25
USD/COP	0.38	0.25	1.00

Nota. Correlaciones estimadas a partir de retornos logarítmicos del periodo 2023–2025.

Los resultados evidencian correlaciones positivas moderadas entre los activos, lo que indica que existe capacidad de diversificación, aunque no perfecta. La menor correlación entre renta fija y divisas sugiere un efecto de cobertura parcial frente a choques macroeconómicos.

Sin embargo, la presencia de correlaciones positivas entre activos de renta variable y el resto de clases de activos reduce el potencial de diversificación extrema, lo cual es característico de mercados emergentes con alta integración sistémica.

1.4.4. Frontera eficiente del portafolio

A partir del modelo de optimización de Markowitz (1952), se construyó la frontera eficiente que representa las combinaciones óptimas de riesgo y retorno.

Tabla 4. Portafolios sobre la frontera eficiente

Portafolio	Rentabilidad esperada	Riesgo (σ)
Conservador	9,10%	6,20%
Moderado	12,84%	9,76%
Agresivo	15,30%	13,40%

Nota. Resultados derivados del modelo media–varianza con restricciones de no negatividad de pesos.

La frontera eficiente evidencia la existencia de un trade-off claro entre riesgo y rentabilidad, donde los portafolios más rentables implican mayores niveles de volatilidad. El portafolio seleccionado corresponde al punto moderado, debido a su mejor equilibrio entre riesgo asumido y retorno esperado.

Este resultado confirma la validez del modelo de Markowitz en la estructuración de decisiones de inversión, aunque su eficiencia depende de la estabilidad de los parámetros de mercado.

1.4.5. Estimación del riesgo sistemático (CAPM)

Se estimó el beta de cada activo con el fin de evaluar su sensibilidad frente al mercado colombiano, utilizando el CAPM como referencia teórica.

Tabla 5. Betas individuales de los activos

Activo	Beta
Bancolombia	1,10
Grupo Sura	0,95
GEB	0,88

Activo	Beta
Éxito	0,92
TES	0,40
USD/COP	0,65

Nota. Betas estimadas frente al índice de referencia del mercado colombiano (COLCAP).

Los resultados muestran que los activos de renta variable presentan betas cercanas o superiores a 1, lo que indica una sensibilidad similar o mayor al mercado. En contraste, los activos de renta fija y divisas exhiben betas inferiores, actuando como mecanismos de reducción del riesgo sistemático del portafolio.

Esto refuerza la lógica de diversificación del modelo, aunque también evidencia que la mayor parte del riesgo sigue concentrado en los activos de renta variable.

1.4.6. Síntesis de desempeño del modelo

Finalmente, la integración de los resultados anteriores permite establecer el desempeño global del portafolio bajo los tres enfoques financieros: media-varianza, CAPM y WACC.

Tabla 6. Síntesis integrada del modelo financiero

Dimensión	Indicador
Eficiencia del portafolio (Markowitz)	Alta (Sharpe 1,24)
Riesgo sistemático (CAPM)	Moderado ($\beta = 0,92$)
Creación de valor (WACC vs retorno)	Negativa
Conclusión financiera	Destrucción de valor económico

Nota. Síntesis integrada de resultados del modelo financiero aplicado.

La integración de los tres enfoques evidencia una disociación estructural entre eficiencia estadística y creación de valor económico. Mientras el modelo de Markowitz sugiere un portafolio eficiente en términos de riesgo-retorno, la comparación con el WACC indica que dicha eficiencia no se traduce en generación de valor para la empresa analizada.

Este resultado confirma la necesidad de complementar modelos de optimización financiera con criterios de valoración corporativa en contextos empresariales reales.

1.5. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian una tensión estructural entre la eficiencia estadística derivada del modelo de Markowitz y la capacidad real del portafolio para generar valor económico en el contexto corporativo analizado. Aunque la aplicación del enfoque media-varianza permitió identificar una frontera eficiente en términos de optimización riesgo-retorno, el desempeño del portafolio seleccionado (12,84%) resulta insuficiente frente al costo promedio

ponderado de capital (WACC de 21,38%), lo que implica que, desde la perspectiva de finanzas corporativas, la estrategia no genera valor económico agregado.

Este hallazgo no solo confirma una limitación empírica, sino que se alinea con una crítica ampliamente documentada en la literatura reciente: los modelos de optimización de portafolios tienden a sobreestimar la eficiencia cuando se abstraen de restricciones institucionales, costos de transacción y fricciones de mercado propias de economías emergentes (Li et al., 2023; Rosales & Campos, 2025). En este sentido, la brecha observada entre eficiencia financiera y creación de valor no es un resultado aislado, sino un patrón recurrente en mercados con alta volatilidad estructural.

Sin embargo, a diferencia de lo planteado por la teoría clásica, los resultados del presente estudio sugieren que la divergencia entre rentabilidad del portafolio y WACC no puede interpretarse únicamente como una “ineficiencia del portafolio”, sino como una desconexión entre dos niveles analíticos distintos: el nivel de optimización financiera (Markowitz) y el nivel de decisión corporativa (WACC). Esta separación ha sido parcialmente reconocida en la literatura reciente, que advierte la necesidad de integrar modelos de portafolio con la teoría de estructura de capital para evitar decisiones subóptimas desde la perspectiva empresarial (Aguar et al., 2025; Santos & Perera, 2024).

En relación con el comportamiento de los activos, los resultados confirman que la diversificación entre renta variable, renta fija y divisas reduce el riesgo idiosincrático, pero no elimina el riesgo sistémico dominante en la Bolsa de Valores de Colombia. Este hallazgo es consistente con evidencia empírica reciente que demuestra que, en mercados emergentes, las correlaciones entre activos tienden a incrementarse en periodos de incertidumbre macroeconómica, reduciendo la efectividad de la diversificación tradicional (Aslam et al., 2022; Balcilar et al., 2021). En consecuencia, la frontera eficiente teórica pierde robustez cuando es expuesta a condiciones reales de estrés financiero.

Un punto crítico adicional emerge al analizar el papel del CAPM dentro del modelo. Si bien este instrumento permite estimar el riesgo sistemático a través del beta, su capacidad explicativa en el contexto colombiano resulta limitada. La literatura reciente ha documentado que el CAPM presenta problemas de especificación en mercados emergentes debido a la omisión de factores como riesgo país, volatilidad cambiaria y primas de liquidez, lo cual genera sesgos en la estimación de la rentabilidad esperada (Fama & French, 2021; Nguyen et al., 2023). En este estudio, dicha limitación se refleja en la heterogeneidad de rendimientos observados, que no se ajustan plenamente a la relación lineal riesgo-retorno postulada por el modelo.

Desde esta perspectiva, el comportamiento del portafolio evidencia una falla estructural del CAPM como modelo único de valoración en economías emergentes, lo que refuerza la necesidad

de enfoques multifactoriales o híbridos que incorporen variables macroeconómicas y restricciones institucionales. Esta crítica es coherente con desarrollos recientes en finanzas empíricas, donde se propone la sustitución progresiva del CAPM por modelos ampliados que integran factores de riesgo dinámicos (Kim et al., 2022; Zhou et al., 2024).

Adicionalmente, aunque el portafolio presenta una rentabilidad anual del 12,84%, esta resulta inferior al costo promedio ponderado de capital (21,38%), lo que evidencia una brecha negativa en la creación de valor económico. El WACC no solo actúa como una tasa de referencia, sino como un mecanismo de disciplina financiera que redefine la viabilidad de cualquier estrategia de inversión. En este caso, el alto costo de capital —explicado principalmente por el costo de la deuda y la percepción de riesgo del entorno colombiano— eleva el umbral mínimo de rentabilidad a niveles que difícilmente son alcanzables mediante estrategias de portafolio tradicionales en mercados emergentes.

Finalmente, los resultados sugieren que la principal limitación no radica en la construcción matemática del modelo de Markowitz, sino en su desconexión con la estructura de financiamiento de la empresa analizada y con la dinámica macroeconómica del entorno. Esto coincide con la literatura reciente que propone una transición hacia modelos integrados de decisión financiera, donde la optimización del portafolio no se evalúa de forma aislada, sino en función de su contribución al valor económico agregado (Kim & Lee, 2025; Ross et al., 2019).

En síntesis, los hallazgos del estudio no solo confirman la utilidad del enfoque de media-varianza, sino que evidencian su insuficiencia como herramienta única de decisión en mercados emergentes, reforzando la necesidad de marcos analíticos híbridos que integren riesgo, rentabilidad, estructura de capital y condiciones macroeconómicas.

1.6. Conclusiones

Los resultados del presente estudio permiten concluir que la aplicación del modelo de Markowitz en la construcción de portafolios de inversión en mercados emergentes, aunque robusta desde el punto de vista estadístico, presenta limitaciones estructurales significativas cuando se contrasta con criterios de creación de valor económico empresarial. En este caso, la rentabilidad del portafolio óptimo (12,84% anual) resulta inferior al costo promedio ponderado de capital (21,38%), evidenciando que la estrategia no genera valor económico agregado.

En primer lugar, se concluye que la eficiencia del portafolio en términos de frontera eficiente no es suficiente para garantizar la sostenibilidad financiera de la inversión, ya que los modelos de media-varianza no incorporan de forma explícita el costo del capital ni las restricciones reales de financiamiento. Esto confirma que la optimización estadística del riesgo-retorno debe

complementarse con criterios de valoración corporativa, particularmente en contextos empresariales donde el WACC actúa como umbral mínimo de rentabilidad.

En segundo lugar, se evidencia que la alta sensibilidad de los activos financieros a variables macroeconómicas como inflación, tasa de interés y tipo de cambio introduce una volatilidad estructural que limita la estabilidad de los retornos esperados. En consecuencia, los resultados confirman que en economías emergentes la relación riesgo-retorno es más inestable y menos predecible que en mercados desarrollados, lo cual reduce la efectividad de los modelos clásicos de diversificación.

En tercer lugar, se concluye que la inclusión de activos de renta fija y divisas contribuye efectivamente a la reducción del riesgo total del portafolio, en línea con la teoría moderna de portafolios; sin embargo, este efecto de mitigación no es suficiente para compensar el alto costo de financiamiento de la empresa analizada, lo que limita la capacidad del portafolio para superar el WACC y generar valor económico positivo.

En cuarto lugar, se determina que la estructura de capital de la empresa analizada influye de manera determinante en la viabilidad financiera del portafolio. El elevado costo de la deuda (22,5%) incrementa significativamente el WACC, elevando el punto de equilibrio requerido para la creación de valor. Este resultado confirma que las decisiones de inversión no pueden analizarse de manera aislada, sino integradas con las decisiones de financiamiento dentro de un mismo marco estratégico.

En quinto lugar, se concluye que la incorporación de activos en divisas, particularmente el dólar estadounidense, cumple una función relevante de cobertura frente al riesgo cambiario, aportando estabilidad relativa al portafolio en escenarios de depreciación del peso colombiano. No obstante, este tipo de activos no contribuye directamente a la rentabilidad esperada, por lo que su función es estrictamente de mitigación de riesgo y no de generación de valor.

Finalmente, el estudio permite establecer que la toma de decisiones financieras en mercados emergentes requiere la articulación de modelos de optimización de portafolios con enfoques de valoración corporativa basados en el costo de capital. En este sentido, se concluye que la evolución de la teoría financiera aplicada debe orientarse hacia modelos integrados que combinen media-varianza, CAPM y WACC bajo condiciones de incertidumbre macroeconómica, con el fin de lograr decisiones de inversión coherentes con la creación real de valor empresarial.

Referencias bibliográficas

- Aguiar, A. A., Espinoza, J. D., Salas, F. V., & López, S. E. (2025). Analysis of weighted average cost of capital and CAPM in emerging countries. *Scientific Culture*, 11(4), 991. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11042577>
- Boyd, S., Johansson, K., Kahn, R., Schiele, P., & Schmelzer, T. (2024). Markowitz portfolio construction at seventy. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2401.05080>
- Rosales, F., & Campos, G. (2025). Assessing out-of-sample performance of orthogonal portfolio rules in emerging markets. *Finance Research Letters*, 84, 107807. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107807>
- Stankov, K., Schiereck, D., & Flögel, V. (2024). Cost mitigation of factor investing in emerging equity markets. *Journal of Asset Management*, 25, 303–325. <https://doi.org/10.1057/s41260-024-00353-4>
- Vidal-García, J., & Vidal, M. (2026). A review of capital asset pricing models in emerging markets. *SSRN*. <https://ssrn.com/abstract=5068215>
- Markowski, L. (2024). Conventional and downside CAPM with higher-order moments: Evidence from emerging markets. *Equilibrium Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 19(1), 93–138. <https://doi.org/10.24136/eq.2043>
- Menshchikova, S. (2024). Risk premium for emerging market equities versus developed markets. *Journal of Corporate Finance Research*, 19(1), 75–92. <https://doi.org/10.17323/j.jcfr.2073-0438.18.1.2024.75-92>
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2019). *Corporate finance*. McGraw-Hill Education.

Capítulo II

POTENCIALIDADES, LIMITACIONES Y DESAFÍOS DEL
USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA GESTIÓN
PÚBLICA

2. POTENCIALIDADES, LIMITACIONES Y DESAFÍOS DEL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA GESTIÓN PÚBLICA

POTENTIAL, LIMITATIONS, AND CHALLENGES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE USE IN PUBLIC MANAGEMENT

Libardo Ramón Polanía

Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia

l.ramon@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-9455-4324>

Nadia Viviana Parra Joven

Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia

nad.parra@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0009-0001-1806-8930>

Verenice Sánchez Castillo

Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia

ve.sanchez@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-3669-3123>

RESUMEN

La inteligencia artificial está ampliando las capacidades de automatización, clasificación, predicción y asistencia a la decisión en las administraciones públicas, pero su incorporación modifica también relaciones de responsabilidad, discrecionalidad y control. Este artículo analiza las potencialidades, limitaciones y desafíos del uso de IA en la gestión pública mediante una revisión integrativa de 51 referentes académicos, regulatorios e institucionales. La síntesis se organiza en cuatro dimensiones: creación de valor público y eficiencia; apoyo a decisiones y prestación de servicios; riesgos de sesgo, opacidad y exclusión; y gobernanza, supervisión y rendición de cuentas. Los resultados muestran oportunidades para reducir cargas administrativas, mejorar la focalización operativa, detectar patrones, personalizar servicios y apoyar a los funcionarios. Sin embargo, la evidencia también advierte que los beneficios dependen de la calidad de los datos, del diseño del proceso, de la capacidad institucional y de la existencia de mecanismos de revisión. En decisiones de alto impacto, la automatización puede desplazar discrecionalidad hacia reglas y modelos poco visibles, fragmentar la responsabilidad y reproducir desigualdades. Se concluye que la adopción pública de IA debe evaluarse por valor público, legalidad, equidad, explicabilidad y posibilidad efectiva de impugnación, no por eficiencia tecnológica de manera aislada. La gobernanza basada en riesgo y el control humano significativo son condiciones para una automatización legítima.

Palabras clave: inteligencia artificial, gestión pública, gobierno algorítmico, valor público, rendición de cuentas

ABSTRACT

Artificial intelligence is expanding automation, classification, prediction, and decision-support capabilities in public administrations, while simultaneously reshaping responsibility, discretion, and control. This article analyzes the potential, limitations, and challenges of AI use in public management through an integrative review of 51 academic, regulatory, and institutional references. The synthesis is organized around four dimensions: public value and efficiency; decision support and service delivery; risks related to bias, opacity, and exclusion; and governance, oversight, and accountability. Findings identify opportunities to reduce administrative burdens, improve operational targeting, detect patterns, personalize services, and support public officials. However, benefits depend on data quality, process design, institutional capacity, and effective review mechanisms. In high-impact decisions, automation may relocate discretion into less visible rules and models, fragment accountability, and reproduce inequalities. The article concludes that public-sector AI should be assessed according to public value, legality, fairness, explainability, and effective contestability rather than technological efficiency alone. Risk-based governance and meaningful human control are necessary conditions for legitimate automation.

Keywords: artificial intelligence, public management, algorithmic governance, public value, accountability

2.1. Introducción

La transformación digital del sector público ha pasado de la informatización de trámites a la incorporación de sistemas capaces de clasificar, recomendar, predecir y generar contenidos. La inteligencia artificial (IA) puede intervenir en atención ciudadana, gestión documental, detección de fraude, inspección, asignación de recursos, análisis de riesgos, salud, seguridad, justicia y administración tributaria. Esta expansión promete reducir tareas repetitivas y aprovechar grandes volúmenes de datos, pero también introduce una diferencia cualitativa frente a otras tecnologías: parte de la lógica que orienta una decisión puede quedar incorporada en modelos cuyo funcionamiento resulta difícil de observar para funcionarios y ciudadanos (Wirtz et al., 2019; Kuziemski & Misuraca, 2020).

El debate no puede resolverse mediante una oposición simple entre innovación y regulación. La administración pública opera bajo obligaciones que no son equivalentes a las de una organización privada: legalidad, igualdad de trato, motivación de las decisiones, transparencia,

debido proceso, protección de derechos y rendición de cuentas. Una aplicación técnicamente precisa puede ser institucionalmente inadecuada si utiliza datos ilegítimos, produce resultados discriminatorios o impide comprender y controvertir una decisión. Por ello, la pregunta central no es únicamente qué puede automatizarse, sino qué debería automatizarse, con qué salvaguardas y bajo qué distribución de responsabilidades (Bovens, 2010; Oswald, 2018; Roehl & Hansen, 2024).

La literatura reciente sobre gobierno algorítmico identifica una doble dinámica. Por un lado, la IA funciona como herramienta que aumenta capacidad de procesamiento, detección de patrones y personalización. Por otro, su uso puede transformar la forma en que se ejerce la discrecionalidad administrativa, al trasladar criterios desde funcionarios hacia reglas, datos y modelos. Wang et al. (2026) describen esta tensión como una transformación simultáneamente instrumental y paradigmática, mientras Batool et al. (2025) muestran que la gobernanza de IA requiere responder quién gobierna, qué se gobierna, cuándo y mediante qué mecanismos.

La experiencia de automatización previa ofrece una advertencia. Bovens y Zouridis (2002) mostraron que los sistemas de información podían desplazar organizaciones desde burocracias de calle, donde el funcionario interpreta reglas frente a casos concretos, hacia burocracias de sistema, donde gran parte de esa interpretación queda incorporada en el diseño tecnológico. Con IA, el desplazamiento puede profundizarse porque los modelos aprenden patrones a partir de datos y producen inferencias no siempre reducibles a reglas explícitas. La discrecionalidad no desaparece: cambia de ubicación y puede hacerse menos visible.

La adopción también plantea problemas de capacidad. Los gobiernos necesitan datos de calidad, infraestructura, contratación especializada, competencias técnicas, evaluación de impacto, ciberseguridad y mecanismos de auditoría. Sin estas capacidades, la compra de una solución puede crear dependencia de proveedores o sistemas que la propia entidad no puede explicar ni supervisar. La OECD (2024, 2025) ha señalado que el aprovechamiento de IA en el gobierno requiere estructuras de gobernanza, preparación institucional y marcos para gestionar riesgos a lo largo del ciclo de vida.

Este artículo pregunta: ¿cuáles son las principales potencialidades, limitaciones y desafíos del uso de IA en la gestión pública y qué condiciones permiten convertir capacidad tecnológica en valor público legítimo? El objetivo es sintetizar la literatura sobre aplicaciones, riesgos y gobernanza, distinguiendo beneficios operativos de exigencias jurídico-institucionales. El aporte consiste en proponer una lectura basada en riesgo: cuanto mayor sea la capacidad de un sistema para afectar derechos, acceso a beneficios o cargas administrativas, mayor debe ser la exigencia de transparencia, supervisión, trazabilidad y revisión humana.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Gestión pública, valor público y transformación digital

La gestión pública contemporánea combina objetivos de eficiencia con exigencias de legitimidad. El paradigma de nueva gestión pública enfatizó desempeño, resultados y uso eficiente de recursos (Hood, 1991; Pollitt & Bouckaert, 2017), mientras enfoques de valor público recordaron que la administración no puede reducirse a productividad: debe producir resultados socialmente valiosos de manera legítima y sostenible. La transformación digital amplía los instrumentos disponibles, pero no modifica ese criterio básico. Mergel et al. (2019) muestran que digitalizar implica cambios organizacionales y de procesos, no solo incorporación de herramientas.

La IA puede crear valor público cuando disminuye tiempos de respuesta, mejora accesibilidad, libera capacidad humana para tareas complejas o permite detectar necesidades que antes quedaban ocultas. Sin embargo, el valor es relacional: una ganancia de eficiencia puede perder legitimidad si aumenta desigualdad, dificulta la apelación o reduce transparencia. El análisis debe, por tanto, incluir resultados operativos y valores públicos como imparcialidad, privacidad, responsabilidad y confianza (Jørgensen & Bozeman, 2007; Rothstein & Teorell, 2008).

2.2.2. Discrecionalidad administrativa y decisión algorítmica

Lipsky (1980) mostró que los funcionarios de primera línea ejercen discrecionalidad porque las normas generales deben aplicarse a situaciones particulares bajo restricciones de información y recursos. La automatización puede estandarizar parte de estas decisiones y reducir arbitrariedad, pero también puede trasladar el juicio hacia el diseño de variables, umbrales y datos. Bovens y Zouridis (2002) denominaron este cambio tránsito hacia burocracias de sistema. Busch y Henriksen (2018) señalan que la tecnología digital puede simultáneamente restringir y reconfigurar la discrecionalidad.

Los sistemas de IA añaden complejidad porque algunos producen probabilidades, puntuaciones o clasificaciones aprendidas de datos históricos. Si la salida se utiliza como recomendación, el funcionario debe comprender sus límites y conservar capacidad real de apartarse de ella. Si se convierte en decisión automática, deben existir bases legales, criterios de motivación, mecanismos de revisión y vías para corregir errores. La mera presencia de una persona en el proceso no garantiza supervisión significativa si esa persona no tiene información, tiempo o autoridad para cuestionar la recomendación.

2.2.3. Gobierno algorítmico y rendición de cuentas

La rendición de cuentas exige identificar quién debe explicar y responder por una decisión. En sistemas complejos, la responsabilidad puede distribuirse entre entidad contratante, proveedor, desarrolladores, dueños de datos, responsables del proceso y funcionario que utiliza la salida. Bovens (2010) diferencia la rendición de cuentas como virtud organizacional y como mecanismo institucional de explicación y sanción. La IA tensiona ambas dimensiones porque una decisión puede ser técnicamente distribuida y, a la vez, jurídicamente atribuible a una autoridad concreta.

La opacidad tiene varias fuentes. Algunas son técnicas, asociadas con modelos complejos; otras son organizacionales, derivadas de contratos, secretos comerciales, falta de documentación o fragmentación de funciones. Mittelstadt et al. (2016) advierten que las cuestiones éticas de los algoritmos incluyen sesgo, trazabilidad y responsabilidad. Cobbe (2019) y Oswald (2018) muestran que el derecho administrativo ofrece criterios útiles para examinar automatización: autoridad legal, relevancia de factores considerados, razonabilidad, procedimiento y posibilidad de revisión.

2.2.4. Gobernanza de IA basada en riesgo

La gobernanza de IA busca traducir principios como justicia, transparencia, privacidad, seguridad y responsabilidad en prácticas de diseño, adquisición, operación y retiro. Jobin et al. (2019) encontraron convergencias importantes entre guías éticas internacionales, aunque también señalaron diferencias en su implementación. Batool et al. (2025) concluyen que muchos marcos se concentran en principios sin resolver de manera suficiente quién ejerce gobernanza y en qué etapas. Por eso, la literatura reciente enfatiza controles durante todo el ciclo de vida.

Los marcos de NIST (2023), OECD y otras instituciones avanzan hacia evaluación proporcional al riesgo. En el sector público, esta lógica es particularmente pertinente: un chatbot informativo no debería recibir el mismo tratamiento que un sistema que prioriza inspecciones, detecta fraude o interviene en elegibilidad para prestaciones. La intensidad del control debe aumentar con la severidad del impacto, la dificultad de corrección, la vulnerabilidad de la población y el grado de automatización.

2.2.5. Ciclo de vida de sistemas de IA y creación de valor público

La evaluación de IA pública requiere desplazar la atención desde el algoritmo aislado hacia el ciclo de vida del sistema. Un proyecto comienza con la definición del problema público, continúa con la selección o producción de datos, el diseño o contratación de una solución, su validación, despliegue, monitoreo y eventual retiro. Los riesgos pueden introducirse en cualquiera de estas etapas. Un modelo técnicamente preciso puede fracasar si el problema fue mal definido, si los

datos representan desigualdades históricas o si los funcionarios utilizan la salida fuera del contexto para el cual fue validada (Selbst et al., 2019; Almeida & dos Santos Júnior, 2025).

El concepto de valor público permite evaluar esa cadena con un criterio más exigente que la productividad. Moore (1995), Jørgensen y Bozeman (2007) y Twizeyimana y Andersson (2019) muestran que la acción pública combina eficiencia con legalidad, equidad, confianza, transparencia y capacidad de respuesta. Una automatización que reduce tiempos pero hace más difícil controvertir una decisión no puede calificarse como mejora únicamente por su rendimiento operativo. La adopción de IA exige identificar qué valor se busca producir y qué valores pueden quedar comprometidos.

La perspectiva de ciclo de vida también aclara la función de la supervisión humana. Colocar a una persona al final del proceso no garantiza control significativo si el funcionario no conoce los límites del sistema, no dispone de tiempo para revisar la recomendación o carece de autoridad para modificarla. Koulu (2020) y Peeters (2020) muestran que la interacción humano-algoritmo debe analizarse como distribución real de discrecionalidad. La pregunta relevante es quién puede detectar, explicar, corregir y asumir responsabilidad por un error.

Por ello, gobernar IA en el sector público requiere controles ex ante y ex post. Antes del despliegue deben existir base legal, propósito definido, evaluación de impacto, calidad de datos, pruebas de desempeño y reglas de uso; durante la operación se necesitan registros, monitoreo de errores, análisis por grupos afectados y canales de reclamación; al final del ciclo deben existir criterios de actualización o retiro. La gobernanza basada en riesgo adquiere así una forma operacional y no meramente declarativa.

2.2.6. Capacidad estatal, contratación tecnológica y soberanía de datos

Una parte sustancial de la IA pública se incorpora mediante contratación de proveedores externos. Esta modalidad permite acceder a capacidades que el Estado no posee, pero modifica la relación entre innovación y control. Cuando la entidad no conoce el funcionamiento del sistema, no conserva documentación suficiente o depende de formatos propietarios, la capacidad de auditar y corregir disminuye. La dependencia tecnológica puede convertirse entonces en una forma de dependencia administrativa.

El problema es más sensible cuando la solución utiliza datos personales, expedientes administrativos o información estratégica. La soberanía de datos no significa necesariamente que toda infraestructura deba ser estatal, sino que la administración conserve facultades efectivas sobre acceso, finalidad, conservación, portabilidad, seguridad y eliminación. Contratos que impiden conocer subprocesadores, trasladan información a jurisdicciones no previstas o

dificultan exportar modelos y registros pueden limitar la capacidad pública de cumplir sus propias obligaciones.

La capacidad estatal incluye también conocimiento organizacional. Si una entidad contrata un sistema pero no desarrolla funcionarios capaces de formular requisitos, interpretar métricas, identificar sesgos y gestionar incidentes, la innovación permanece fuera de la organización. El aprendizaje institucional debe ser parte del proyecto: documentación, transferencia de conocimiento, formación y equipos interdisciplinarios permiten que la administración conserve criterio sobre la tecnología que utiliza. Esta condición es especialmente relevante en América Latina, donde las diferencias de recursos entre niveles de gobierno pueden producir adopciones muy desiguales.

2.3. Metodología

El artículo se desarrolló mediante una revisión integrativa de 51 referentes publicados principalmente entre 2016 y 2026, complementados con trabajos clásicos sobre burocracia, discrecionalidad, rendición de cuentas y reforma administrativa. Se incluyeron revisiones sistemáticas, estudios conceptuales y empíricos, marcos de gobernanza, documentos de organismos internacionales y normas de referencia sobre gestión de riesgos de IA.

La selección priorizó literatura que abordara explícitamente el uso de algoritmos o IA en administraciones públicas, toma de decisiones automatizada, valor público, responsabilidad, equidad, transparencia o gobernanza. Se incorporaron también estudios sobre sistemas automatizados en sectores sociales cuando sus conclusiones resultaban directamente aplicables a funciones estatales. La revisión no pretende inventariar todas las herramientas utilizadas por gobiernos ni comparar países en términos de desempeño.

Cada referencia fue codificada según seis campos: función pública analizada; beneficio esperado; tipo de decisión; riesgo técnico; riesgo institucional o de derechos; y salvaguarda recomendada. La síntesis produjo tres categorías principales —potencialidades, limitaciones y desafíos— y dos categorías transversales: nivel de impacto y mecanismos de rendición de cuentas. Se diferenciaron aplicaciones de apoyo a funcionarios de aquellas que toman o condicionan decisiones sobre personas.

La revisión presenta límites propios de un campo en rápida evolución. Las tecnologías agrupadas bajo el término IA son heterogéneas; parte de la evidencia proviene de pilotos; y las normas evolucionan con mayor rapidez que los ciclos de publicación. Por ello, las conclusiones se formulan en términos de condiciones institucionales y no como prescripción de una tecnología específica.

La revisión priorizó fuentes con relación directa entre IA, administración pública, decisión automatizada y gobernanza, complementadas con literatura clásica sobre discrecionalidad, valor público y rendición de cuentas. Los marcos regulatorios y documentos de organismos internacionales se utilizaron para identificar salvaguardas y patrones de implementación; los artículos empíricos y conceptuales permitieron examinar consecuencias organizacionales y jurídicas. La síntesis se estructuró por tipo de uso, nivel de impacto, riesgo dominante y capacidad institucional requerida.

El análisis distinguió tres niveles de intervención: automatización de soporte interno, recomendación para decisiones administrativas y decisiones que producen o condicionan efectos sobre derechos. Esta gradación evita tratar un asistente de redacción como equivalente a un sistema de elegibilidad. A mayor impacto sobre personas, mayor necesidad de base legal, documentación, explicación, supervisión y posibilidad de revisión. El criterio es consistente con los enfoques de gestión de riesgo de NIST (2023), la OECD (2024a) y el marco regulatorio europeo de 2024.

2.4. Resultados

2.4.1. Potencialidad: automatización de cargas y apoyo a la capacidad administrativa

La literatura identifica una primera familia de beneficios en la automatización de tareas repetitivas: clasificación de documentos, extracción de información, respuesta a consultas frecuentes, apoyo a redacción y priorización de expedientes. Estas aplicaciones pueden reducir tiempos y liberar personal para actividades que requieren juicio, interacción o coordinación. Wirtz et al. (2019) organizan múltiples usos de IA en el sector público y destacan oportunidades de eficiencia, mientras la OECD (2024) documenta aplicaciones dirigidas a mejorar operación y servicios.

El beneficio depende del rediseño del proceso. Automatizar una etapa ineficiente sin revisar sus reglas puede acelerar errores o trasladar cuellos de botella. La transformación digital efectiva requiere analizar el servicio de principio a fin y decidir qué tareas deben automatizarse, cuáles deben ser asistidas y cuáles conviene preservar como interacción humana. La IA es más valiosa cuando complementa capacidades escasas que cuando se incorpora como capa tecnológica sobre procedimientos mal diseñados.

2.4.2. Potencialidad: detección de patrones, anticipación y personalización

Una segunda familia incluye análisis predictivo, detección de anomalías y segmentación. Los gobiernos pueden utilizar datos para identificar fraude potencial, anticipar demanda de servicios, asignar inspecciones o detectar riesgos operativos. Estas aplicaciones ofrecen ventajas cuando

los recursos de supervisión son limitados y se necesita priorizar. También pueden apoyar servicios proactivos, por ejemplo identificando a personas potencialmente elegibles para un beneficio antes de que lo soliciten.

La misma capacidad introduce una tensión distributiva. Un modelo de priorización no solo predice: influye en dónde se dirige la acción del Estado. Si los datos históricos reflejan patrones de vigilancia desigual o subregistro, el sistema puede reforzar esos patrones. Por ello, evaluar precisión promedio es insuficiente. Deben analizarse errores por grupos, calidad de variables, consecuencias de falsos positivos y falsos negativos, y posibilidad de corrección. El uso legítimo exige conectar métricas técnicas con impactos administrativos reales.

2.4.3. Limitación: datos, sesgo y exclusión

La calidad de los datos aparece como restricción transversal. Registros administrativos incompletos, desactualizados o producidos con criterios cambiantes limitan la confiabilidad de modelos. Además, los datos reflejan decisiones institucionales previas: qué se midió, a quién se atendió, dónde se inspeccionó y qué conductas se registraron. Eubanks (2018) documenta cómo sistemas automatizados aplicados a poblaciones vulnerables pueden profundizar desigualdades cuando se construyen sobre infraestructuras de datos sesgadas.

El sesgo no se reduce a discriminación explícita. Variables aparentemente neutrales pueden funcionar como aproximaciones de condiciones socioeconómicas, territorio, etnia o género. Un sistema puede mantener buen desempeño global y producir tasas de error distintas entre grupos. Por ello, la equidad requiere auditorías de datos y resultados, participación de actores afectados y capacidad para modificar el sistema cuando aparecen daños. La justicia algorítmica es una responsabilidad organizacional, no una propiedad automática de un modelo.

2.4.4. Limitación: opacidad, automatización aparente de la responsabilidad y dependencia de proveedores

La opacidad puede impedir que ciudadanos y funcionarios comprendan por qué una decisión fue tomada. En el sector público, esta limitación afecta derechos de explicación, impugnación y control. Roehl y Hansen (2024) muestran que la decisión administrativa automatizada debe evaluarse frente a principios de buen gobierno, y Oswald (2018) destaca que las reglas del derecho administrativo siguen siendo relevantes aun cuando la decisión esté asistida por algoritmos.

La contratación externa añade otra capa. Una entidad puede adquirir modelos, datos o servicios en la nube que no domina técnicamente. Si el contrato no asegura documentación, acceso a métricas, auditoría, portabilidad y gestión de incidentes, el proveedor adquiere un

control de facto sobre funciones públicas. La dependencia tecnológica puede dificultar cambios, elevar costos y limitar la rendición de cuentas. La capacidad de compra pública debe incluir criterios de gobernanza de datos y algoritmos, no solo funcionalidad y precio.

2.4.5. Desafío: supervisión humana significativa y derecho a controvertir

La supervisión humana aparece con frecuencia como salvaguarda, pero su eficacia depende de condiciones concretas. Un funcionario que recibe una puntuación algorítmica sin explicación suficiente puede desarrollar sesgo de automatización y aceptar la recomendación. La supervisión es significativa cuando existe información sobre límites del sistema, autoridad para apartarse de la salida, tiempo para revisar el caso y registro de la decisión. En sistemas de alto impacto, también debe existir una ruta de revisión accesible para la persona afectada.

El derecho a controvertir es especialmente relevante en decisiones sobre beneficios, sanciones, inspecciones, riesgos o acceso a servicios. La posibilidad formal de presentar un recurso es insuficiente si la persona no conoce que hubo automatización, no puede identificar los factores relevantes o enfrenta un procedimiento inaccesible. La gobernanza debe incorporar notificación, explicación proporcional, mecanismos de corrección y responsabilidad institucional clara.

Tabla 1. Matriz de potencialidades, limitaciones y controles para IA en gestión pública

Uso	Potencialidad	Riesgo dominante	Control recomendado
Asistencia documental y chatbots	Menor carga operativa y tiempos de respuesta	Errores, información desactualizada, exclusión digital	Validación de contenido, escalamiento a humanos y monitoreo de calidad
Predicción y priorización	Focalización de inspecciones o recursos	Sesgo histórico, falsos positivos y desigual distribución de errores	Auditoría de datos y desempeño por grupos, revisión periódica
Elegibilidad o decisiones de alto impacto	Consistencia y rapidez	Afectación de derechos, opacidad y automatización de la discrecionalidad	Base legal, evaluación de impacto, explicación, revisión humana y apelación
Analítica generativa para funcionarios	Síntesis y apoyo a preparación de decisiones	Alucinaciones, fuga de datos y dependencia	Entornos autorizados, verificación de fuentes y reglas de confidencialidad
Contratación de soluciones externas	Acceso rápido a capacidades especializadas	Bloqueo de proveedor y pérdida de control público	Cláusulas de auditoría, portabilidad, documentación y gestión de incidentes

Fuente. Elaboración propia a partir de la revisión.

2.4.6. Desafío: contratación, dependencia tecnológica y auditabilidad

La revisión identifica la contratación como un punto crítico porque muchas capacidades de IA se adquieren como servicios de terceros. La velocidad de compra puede ocultar dependencias que solo aparecen cuando la entidad intenta auditar una salida, cambiar de proveedor o investigar un incidente. Un sistema público no es gobernable si la organización no puede conocer

versiones, parámetros relevantes, fuentes de datos, registros de operación y condiciones de actualización. La auditabilidad debe ser un requisito contractual desde el diseño, no una solicitud posterior.

La cláusula de “secreto empresarial” puede entrar en tensión con obligaciones públicas de explicación y control. Esto no implica divulgar código fuente en todos los casos, pero sí garantizar información suficiente para que la entidad, órganos de control y eventualmente los afectados comprendan la lógica relevante de la decisión y verifiquen su desempeño. Oswald (2018) y Cobbe (2019) muestran que el derecho administrativo no desaparece cuando la recomendación proviene de un modelo; por el contrario, la automatización puede aumentar la necesidad de documentar criterios y responsabilidades.

La dependencia también es operativa. Si solo el proveedor puede modificar umbrales, corregir errores o interpretar alertas, el funcionario público pierde capacidad de ejercer discrecionalidad. El riesgo es mayor en sistemas generativos ofrecidos mediante interfaces cerradas cuyo comportamiento cambia con nuevas versiones. La gestión debe incluir pruebas periódicas, control de cambios, portabilidad de datos, procedimientos de contingencia y capacidad de suspender el sistema sin interrumpir el servicio público esencial.

En consecuencia, la compra de IA debe tratarse como adquisición de una capacidad sociotécnica y no de un producto terminado. La especificación contractual necesita incluir desempeño, seguridad, derechos sobre datos, documentación, trazabilidad, auditoría, formación, gestión de incidentes y salida del contrato. La innovación rápida sin estas condiciones puede generar eficiencias iniciales acompañadas de una pérdida silenciosa de control público.

2.4.7. Colombia y América Latina: capacidad institucional como restricción decisiva

En América Latina, el potencial de IA convive con capacidades estatales y digitales muy heterogéneas. El problema no se reduce al acceso tecnológico: distintas entidades poseen niveles desiguales de calidad de datos, interoperabilidad, ciberseguridad, talento y madurez de procesos. Por ello, una política nacional de IA puede generar resultados divergentes según la capacidad de implementación local. La misma solución que funciona en una agencia con equipos especializados puede producir opacidad y dependencia en una entidad pequeña.

Colombia dispone desde 2025 del CONPES 4144, Política Nacional de Inteligencia Artificial, que establece una hoja de ruta para desarrollo y adopción de IA. Su importancia para la gestión pública radica en que sitúa la adopción dentro de una agenda de capacidades, infraestructura, datos, talento, riesgos y gobernanza, en lugar de reducirla a compra de herramientas. Para las entidades, el reto es traducir ese marco nacional en inventarios de casos de uso, criterios de priorización y controles proporcionales al impacto.

La priorización debería comenzar por problemas públicos concretos. Automatizar un trámite mal diseñado puede acelerar una mala experiencia; entrenar un modelo con registros incompletos puede formalizar sesgos existentes; introducir un chatbot sin canales alternativos puede excluir a usuarios con baja conectividad o alfabetización digital. La secuencia adecuada es revisar el proceso, definir el valor público esperado, evaluar datos y población afectada y solo después decidir si la IA constituye la tecnología pertinente.

La capacidad institucional aparece así como variable mediadora entre potencial tecnológico y resultado público. No basta con modelos avanzados: se necesitan servidores capaces de cuestionarlos, unidades jurídicas que comprendan sus efectos, equipos de datos que aseguren calidad, responsables de seguridad y mecanismos para escuchar a usuarios afectados. La agenda latinoamericana debe combinar innovación con fortalecimiento estatal; de lo contrario, la IA puede ampliar asimetrías entre instituciones y territorios.

Tabla 2. Controles de gobernanza por etapa del ciclo de vida de IA pública

Etapas	Riesgo crítico	Control mínimo	Evidencia de control
Problema y diseño	Automatizar un proceso inadecuado o sin base legal	Definir valor público, población afectada y fundamento jurídico	Documento de caso de uso y evaluación inicial de impacto
Datos y desarrollo	Sesgo, baja calidad o uso incompatible de información	Gobernanza de datos, pruebas por grupos y minimización	Ficha de datos, métricas y registro de pruebas
Contratación	Dependencia y opacidad del proveedor	Auditabilidad, portabilidad, documentación y cláusulas de salida	Contrato, anexos técnicos y plan de transferencia
Despliegue	Uso fuera de contexto o automatización de la responsabilidad	Supervisión humana con autoridad y reglas de escalamiento	Protocolos operativos, capacitación y registros
Operación y retiro	Deriva del modelo, incidentes y continuidad innecesaria	Monitoreo, reclamación, reevaluación y retiro	Indicadores, reportes de incidentes y decisión de continuidad

Fuente. Elaboración propia a partir de la revisión.

2.4.8. Desafío: medir desempeño distributivo, errores e incidentes

La evaluación técnica de un sistema público no puede agotarse en una métrica promedio de precisión. Los errores administrativos tienen costos distribuidos de manera desigual: un falso positivo en una inspección, una clasificación incorrecta en un programa social o una respuesta errónea sobre un trámite pueden afectar con mayor intensidad a personas que dependen del servicio público y disponen de menos recursos para reclamar. Selbst et al. (2019) y Keddell (2019) muestran que la equidad algorítmica exige observar contextos y consecuencias, no únicamente paridad estadística.

Por ello, cada caso de uso debería definir antes del despliegue qué tipos de error son posibles, quién absorbe sus costos y qué umbrales son aceptables. En aplicaciones de apoyo interno puede tolerarse una tasa de corrección manual relativamente alta; en decisiones de elegibilidad o

sanción, el costo de error exige estándares más estrictos y revisión previa. Esta diferenciación evita la falsa idea de que una sola métrica de desempeño sirve para todo el sector público.

El monitoreo debe continuar después de la puesta en producción. Cambios en población, normas, formularios o prácticas administrativas pueden alterar el rendimiento de un modelo aunque su código no haya cambiado. Los sistemas generativos agregan una dificultad: nuevas versiones del proveedor pueden modificar respuestas sin que la entidad controle el entrenamiento subyacente. Registros de versión, pruebas de regresión, muestreo de salidas y análisis periódico de quejas son mecanismos necesarios para detectar deriva y degradación.

La gestión de incidentes completa el ciclo. Un error significativo debe activar acciones definidas: suspender temporalmente el sistema, identificar personas afectadas, corregir decisiones, preservar evidencia, informar a responsables y ajustar controles. Sin un procedimiento de incidente, la administración corre el riesgo de tratar cada falla como anomalía aislada. La madurez de gobernanza puede medirse, en parte, por la capacidad para reconocer y reparar errores antes de que se conviertan en patrones institucionales.

2.5. Discusión

Los resultados muestran que la IA puede mejorar capacidad estatal, pero el beneficio no debe definirse únicamente como reducción de costos o tiempo. En gestión pública, una intervención crea valor cuando mejora resultados sin sacrificar principios que sostienen legitimidad. Esta conclusión articula la literatura de transformación digital con la tradición de valores públicos: eficiencia, equidad, legalidad y rendición de cuentas deben evaluarse conjuntamente. Un sistema rápido pero imposible de controvertir no puede considerarse exitoso solo por sus indicadores operativos.

La discusión sobre discrecionalidad ayuda a comprender por qué la automatización no elimina el juicio humano. Bovens y Zouridis (2002) mostraron que la discrecionalidad puede trasladarse desde la primera línea hacia diseñadores y sistemas. Con IA, el traslado incluye decisiones sobre datos, objetivos, umbrales, variables y métricas. En consecuencia, la promesa de «objetividad algorítmica» debe tratarse con cautela: los modelos formalizan elecciones humanas e históricas, aunque estas se vuelvan menos visibles. La gobernanza debe hacer explícitas esas elecciones y someterlas a control.

El contraste entre aplicaciones de bajo y alto impacto resulta fundamental. Automatizar clasificación de correos o ayudar a redactar un borrador administrativo presenta riesgos diferentes a decidir elegibilidad para un subsidio o asignar una puntuación de fraude. Tratar todos los usos bajo una política uniforme conduce a dos errores opuestos: controles excesivos

que frenan innovaciones de bajo riesgo o controles insuficientes para decisiones que afectan derechos. La aproximación basada en riesgo permite asignar exigencias proporcionales.

La supervisión humana tampoco debe convertirse en una fórmula ritual. Si el funcionario no entiende el sistema o teme apartarse de su recomendación, la intervención humana solo legitima formalmente la automatización. La noción de control humano significativo exige capacidad real de revisión. Esto supone formación, diseño de interfaces, documentación, registro de excepciones y cultura organizacional que permita cuestionar salidas. La responsabilidad final no puede desplazarse retóricamente hacia «el algoritmo».

Los marcos de gobernanza convergen en principios, pero Batool et al. (2025) muestran que persisten vacíos en la traducción de esos principios a responsabilidades concretas. Para el sector público, el ciclo de vida debería comenzar antes de adquirir una herramienta: definición del problema, evaluación de alternativas no algorítmicas, legitimidad del uso de datos y análisis de impacto. Continúa con contratación, pruebas, monitoreo, auditoría e incidentes, y termina con reglas de actualización o retiro. La gobernanza posterior al despliegue es tan importante como la evaluación inicial.

La capacidad institucional es, por ello, un factor limitante más profundo que la disponibilidad tecnológica. Entidades con equipos reducidos pueden beneficiarse de servicios externos, pero también quedar expuestas a asimetrías de conocimiento. La cooperación interinstitucional, estándares comunes, centros de excelencia y mecanismos compartidos de auditoría pueden reducir esta brecha. La OECD (2024, 2025) insiste en que la preparación gubernamental incluye habilidades, datos, infraestructura y reglas; la adopción de IA sin estas condiciones puede convertir innovación en dependencia.

La agenda futura necesita evidencia más comparativa. Muchos casos reportan pilotos o beneficios operativos sin seguimiento suficiente sobre equidad, comportamiento organizacional y confianza. Se requieren estudios que comparen decisiones humanas, asistidas y automatizadas bajo criterios comunes, analicen errores por grupos y midan capacidad de corrección. También resulta necesario estudiar cómo la IA generativa modifica el trabajo cotidiano de funcionarios, no solo servicios visibles para ciudadanos.

El principal resultado de la revisión es que la pregunta por el uso de IA en gestión pública no puede responderse con un catálogo de aplicaciones. El mismo sistema puede crear valor o producir daño según el proceso en que se inserte, la población afectada, la calidad de los datos y la capacidad de supervisión. La unidad de análisis adecuada es el arreglo sociotécnico completo: funcionarios, reglas, datos, proveedores, modelo y canales de reclamación.

Esta lectura también modifica el concepto de eficiencia. En la empresa privada puede ser razonable optimizar tiempo o costos como objetivos dominantes; en la administración, la

eficiencia coexiste con legalidad, igualdad, motivación de los actos, transparencia y derecho a controvertir. La IA pública debe evaluarse por el conjunto de valores que produce o compromete. Una decisión más rápida pero inexplicable puede ser administrativamente peor que una decisión más lenta y revisable.

Para Colombia, el CONPES 4144 ofrece una oportunidad de pasar de experimentos dispersos a una adopción con marco nacional. El riesgo es interpretar la política como invitación a desplegar herramientas antes de fortalecer capacidades. La secuencia debería invertirse: inventariar procesos y datos, clasificar casos por riesgo, formar equipos, establecer estándares contractuales y crear mecanismos de evaluación antes de escalar automatizaciones de alto impacto.

La discusión internacional converge en un punto: la confianza no surge de declarar principios éticos, sino de convertirlos en controles verificables a lo largo del ciclo de vida (OECD, 2024a; OECD & UNESCO, 2024; NIST, 2023). Para la gestión pública latinoamericana, esa operacionalización es el verdadero desafío. La IA será una capacidad estatal solo cuando la administración pueda entenderla, gobernarla, corregirla y responder públicamente por sus efectos.

El énfasis distributivo aporta una precisión adicional: la legitimidad de la IA pública depende no solo de cuánto mejora el promedio, sino de cómo distribuye beneficios, errores y posibilidades de defensa. Una herramienta que reduce tiempos globales mientras concentra fallas en una población vulnerable puede mejorar un indicador operativo y empeorar el valor público. Por ello, las evaluaciones deben reportar desempeño segmentado y consecuencias administrativas, no únicamente exactitud agregada.

Esta exigencia convierte la gestión de incidentes y reclamaciones en fuente de aprendizaje. Los recursos de los ciudadanos, las correcciones de funcionarios y los reportes de fallas permiten identificar problemas que los conjuntos de prueba no anticipan. Una administración que aprende de esas señales desarrolla capacidad de gobernanza; una que las trata como excepciones pierde la oportunidad de corregir sesgos y mejorar procesos.

2.6. Conclusión

La inteligencia artificial ofrece potencialidades relevantes para la gestión pública: automatizar cargas administrativas, apoyar decisiones, detectar patrones, anticipar demandas y personalizar servicios. Estas capacidades pueden ampliar el alcance del Estado y liberar tiempo para tareas de mayor complejidad. Su valor, sin embargo, depende de que la automatización responda a un problema público definido y se integre a procesos organizacionales rediseñados, con datos adecuados y competencias para supervisarla.

Las principales limitaciones no son exclusivamente técnicas. Sesgos de datos, opacidad, fragmentación de responsabilidades, exclusión digital, dependencia de proveedores y automatización de la discrecionalidad pueden afectar legitimidad y derechos. En decisiones de alto impacto, una mejora de precisión o velocidad no compensa por sí sola la ausencia de explicación, revisión o posibilidad de impugnación. La administración conserva responsabilidad por las decisiones que adopta con apoyo algorítmico.

El desafío central es construir gobernanza proporcional al riesgo durante todo el ciclo de vida. La IA pública debe evaluarse mediante una combinación de valor público, legalidad, equidad, seguridad, trazabilidad y contestabilidad. El control humano significativo, la evaluación de impacto, la auditoría y la transparencia contractual son mecanismos concretos para sostener esas exigencias. Bajo este enfoque, la innovación deja de ser una carrera por automatizar más procesos y se convierte en una decisión institucional sobre dónde la IA aporta valor sin debilitar las garantías propias de la acción pública.

Referencias bibliográficas

- Almeida, P. G. R., & dos Santos Júnior, C. D. (2025). Artificial intelligence governance: Understanding how public organizations implement it. *Government Information Quarterly*, 42(1), 102003. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2024.102003>
- Bannister, F., & Connolly, R. (2020). Administration by algorithm: A risk management framework. *Information Polity*, 25(4), 471–490.
- Batool, A., Zowghi, D., & Bano, M. (2025). AI governance: A systematic literature review. *AI and Ethics*, 5, 3265–3279. <https://doi.org/10.1007/s43681-024-00653-w>
- Bovens, M. (2010). Two concepts of accountability: Accountability as a virtue and as a mechanism. *West European Politics*, 33(5), 946–967.
- Bovens, M., & Zouridis, S. (2002). From street-level to system-level bureaucracies: How information and communication technology is transforming administrative discretion and constitutional control. *Public Administration Review*, 62(2), 174–184.
- Busch, P. A., & Henriksen, H. Z. (2018). Digital discretion: A systematic literature review of ICT and street-level discretion. *Information Polity*, 23(1), 3–28.
- Citron, D. K. (2008). Technological due process. *Washington University Law Review*, 85(6), 1249–1313.
- Cobbe, J. (2019). Administrative law and the machines of government: Judicial review of automated public-sector decision-making. *Legal Studies*, 39(4), 636–655.
- Cuéllar, M. F. (2017). Cyberdelegation and the administrative state. In N. Persily (Ed.), *Solutions to political polarization in America*. Cambridge University Press.

- Departamento Nacional de Planeación. (2025). CONPES 4144: Política Nacional de Inteligencia Artificial. DNP.
- Engin, Z., & Treleaven, P. (2019). Algorithmic government: Automating public services and supporting civil servants in using data science technologies. *The Computer Journal*, 62(3), 448–460.
- Eubanks, V. (2018). *Automating inequality: How high-tech tools profile, police, and punish the poor*. St. Martin's Press.
- European Commission. (2020). *White paper on artificial intelligence: A European approach to excellence and trust*. European Commission.
- European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). *Official Journal of the European Union*.
- Fjeld, J., Achten, N., Hilligoss, H., Nagy, A., & Srikumar, M. (2020). *Principled artificial intelligence: Mapping consensus in ethical and rights-based approaches to principles for AI*. Berkman Klein Center Research Publication.
- Fukuyama, F. (2013). What is governance? *Governance*, 26(3), 347–368.
- Gasser, U., & Almeida, V. A. F. (2017). A layered model for AI governance. *IEEE Internet Computing*, 21(6), 58–62.
- Grimmelikhuijsen, S., & Meijer, A. (2022). Legitimacy of algorithmic decision-making: Six threats and the need for a calibrated institutional response. *Perspectives on Public Management and Governance*, 5(3), 232–242.
- Hofisi, C., & Lamidi, K. O. (2026). Artificial intelligence and the transformation of public administration: Towards an algorithmic governance paradigm. *Industrial Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1007/s44244-026-00034-8>
- Hood, C. (1991). A public management for all seasons? *Public Administration*, 69(1), 3–19.
- Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, 1(9), 389–399.
- Jørgensen, T. B., & Bozeman, B. (2007). Public values: An inventory. *Administration & Society*, 39(3), 354–381.
- Kedell, E. (2019). Algorithmic justice in child protection: Statistical fairness, social justice and the implications for practice. *Social Sciences*, 8(10), 281.
- Koulu, R. (2020). Proceduralizing control and discretion: Human oversight in artificial intelligence policy. *Maastricht Journal of European and Comparative Law*, 27(6), 720–735.
- Kuziemski, M., & Misuraca, G. (2020). AI governance in the public sector: Three tales from the frontiers of automated decision-making in democratic settings. *Telecommunications Policy*, 44(6), 101976.

- Lindgren, I., Madsen, C. Ø., Hofmann, S., & Melin, U. (2019). Close encounters of the digital kind: A research agenda for the digitalization of public services. *Government Information Quarterly*, 36(3), 427–436.
- Lipsky, M. (1980). *Street-level bureaucracy: Dilemmas of the individual in public services*. Russell Sage Foundation.
- Lu, Q., Zhu, L., Xu, X., Whittle, J., Zowghi, D., & Jacquet, A. (2024). Responsible AI pattern catalogue: A collection of best practices for AI governance and engineering. *ACM Computing Surveys*, 56, 1–35.
- Mergel, I., Edelmann, N., & Haug, N. (2019). Defining digital transformation: Results from expert interviews. *Government Information Quarterly*, 36(4), 101385.
- Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data & Society*, 3(2).
- Moore, M. H. (1995). *Creating public value: Strategic management in government*. Harvard University Press.
- National Institute of Standards and Technology. (2023). *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*. U.S. Department of Commerce.
- OECD. (2019). *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence*. OECD Legal Instruments.
- OECD. (2024a). *Governing with artificial intelligence: Are governments ready?* OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/26324bc2-en>
- OECD & UNESCO. (2024). *G7 toolkit for artificial intelligence in the public sector*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/421c1244-en>
- OECD. (2025). *Governing with artificial intelligence: The state of play and a way forward*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/795de142-en>
- Oswald, M. (2018). Algorithm-assisted decision-making in the public sector: Framing the issues using administrative law rules governing discretionary power. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 376(2128), 20170359.
- Peeters, R. (2020). The agency of algorithms: Understanding human-algorithm interaction in administrative decision-making. *Information Polity*, 25(4), 507–522.
- Pollitt, C., & Bouckaert, G. (2017). *Public management reform: A comparative analysis—Into the age of austerity* (4th ed.). Oxford University Press.
- Roehl, U. B. U., & Hansen, H. F. (2024). Automated, administrative decision-making and good governance. *Public Administration Review*, 84(6), 1184–1199. <https://doi.org/10.1111/puar.13799>
- Rothstein, B. (2011). *The quality of government: Corruption, social trust, and inequality in international perspective*. University of Chicago Press.

- Rothstein, B., & Teorell, J. (2008). What is quality of government? A theory of impartial government institutions. *Governance*, 21(2), 165–190.
- Selbst, A. D., Boyd, D., Friedler, S. A., Venkatasubramanian, S., & Vertesi, J. (2019). Fairness and abstraction in sociotechnical systems. In *Proceedings of the Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (pp. 59–68). <https://doi.org/10.1145/3287560.3287598>
- Simon, H. A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial Intelligence*, 4(3–4), 181–201.
- Twizeyimana, J. D., & Andersson, A. (2019). The public value of e-government: A literature review. *Government Information Quarterly*, 36(2), 167–178.
- Veale, M., & Brass, I. (2019). Administration by algorithm? Public management meets public sector machine learning. In K. Yeung & M. Lodge (Eds.), *Algorithmic regulation*. Oxford University Press.
- Wang, C., Yin, Y., & Hu, H. (2026). The rise of algorithmic governance and the dual revolution: Applications, challenges, and governance of artificial intelligence in public administration. *Technology in Society*, 86, 103264. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2026.103264>
- Wirtz, B. W., Weyerer, J. C., & Geyer, C. (2019). Artificial intelligence and the public sector—Applications and challenges. *International Journal of Public Administration*, 42(7), 596–615.
- Wirtz, B. W., Weyerer, J. C., & Sturm, B. J. (2020). The dark sides of artificial intelligence: An integrated AI governance framework for public administration. *International Journal of Public Administration*, 43(9), 818–829.
- Young, M. M., Bullock, J. B., & Lecy, J. D. (2019). Artificial discretion as a tool of governance: A framework for understanding the impact of artificial intelligence on public administration. *Perspectives on Public Management and Governance*, 2(4), 301–313.
- Zouridis, S., Van Eck, M., & Bovens, M. (2020). Automated discretion. In T. Evans & P. Hupe (Eds.), *Discretion and the quest for controlled freedom*. Palgrave Macmillan.

Capítulo III

ENTRE LA LENGUA KOREGUAJÚ, EL ESPAÑOL Y EL
INGLÉS: RECONSTRUCCIÓN REFLEXIVA DE UNA
EXPERIENCIA INVESTIGATIVA SOBRE IDENTIDAD EN
LA AMAZONIA COLOMBIANA

3. ENTRE LA LENGUA KOREGUAJÚ, EL ESPAÑOL Y EL INGLÉS: RECONSTRUCCIÓN REFLEXIVA DE UNA EXPERIENCIA INVESTIGATIVA SOBRE IDENTIDAD EN LA AMAZONIA COLOMBIANA

BETWEEN THE KOREGUAJÚ LANGUAGE, SPANISH, AND ENGLISH: A REFLECTIVE RECONSTRUCTION OF A RESEARCH EXPERIENCE ON IDENTITY IN THE COLOMBIAN AMAZON

Lía Cristina Gordillo Triana

Universidad de la Amazonía

l.gordillo@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0009-0000-0125-2443>

Juan David Popov Zanabria

Universidad de la Amazonía

j.popo@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0003-4690-2934>

David Fernando Roa Barrera

Universidad de la Amazonía

dav.roa@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0009-0002-0053-3969>

RESUMEN

El presente capítulo reconstruye de manera reflexiva y sistematizada una experiencia investigativa desarrollada como tesis de maestría alrededor de las identidades de dos estudiantes indígenas Koreguajú en contextos de primera lengua, segunda lengua e inglés como lengua extranjera. La experiencia tuvo su origen en mi práctica como docente de inglés en instituciones públicas de Florencia, Caquetá, donde fue posible observar que la presencia de estudiantes indígenas dentro de los espacios educativos no garantizaba, por sí misma, condiciones de interacción y participación en igualdad. A partir de esta inquietud se desarrolló una investigación cualitativa de tipo narrativo con dos estudiantes Koreguajú: uno vinculado a una institución de educación secundaria y otro a un programa universitario de formación de docentes de inglés. Las narrativas fueron construidas mediante conversaciones múltiples, entrevistas semiestructuradas y materiales visuales, y posteriormente analizadas siguiendo los niveles propuestos por Riessman (1993), con el apoyo de Atlas.ti 8 para la organización y reducción de la información. La reconstrucción presentada en este capítulo conserva las categorías y resultados de la investigación original y vuelve sobre los eventos, relaciones y experiencias que permitieron comprender la identidad como una elaboración múltiple, continua y relacionada con la

interacción. Los hallazgos mostraron la configuración de identidad en primera lengua (L1), identidad en segunda lengua (L2) e identidad en lengua extranjera (LE), articuladas con identidad cultural, grupal y personal, interacción, construcción de conocimiento e identidad y posicionamiento. En esencia, volver sobre esta experiencia permite comprender que el tránsito entre lenguas no representó la sustitución de una identidad por otra, sino procesos recíprocos de construcción y reconstrucción del ser vinculados con la familia, la comunidad, la ciudad, la educación y las formas en que los participantes fueron reconocidos y se reconocieron dentro de diferentes espacios.

Palabras clave: identidad, estudiantes indígenas, Koreguajú, identidades múltiples, construcción de identidad, segunda lengua, lengua extranjera.

ABSTRACT

This chapter presents a reflective and systematized reconstruction of a research experience developed as a master's thesis around the identities of two Koreguajú indigenous students in first-language, second-language, and English-as-a-foreign-language contexts. The experience originated in my practice as an English teacher in public educational institutions in Florencia, Caquetá, where it was possible to observe that the presence of indigenous students within educational spaces did not, by itself, guarantee equal conditions for interaction and participation. From this concern, a qualitative narrative research study was conducted with two Koreguajú students: one attending secondary education and the other enrolled in a university English language teacher education program. Narratives were constructed through multiple conversations, semi-structured interviews, and visual materials, and were later analyzed following the levels proposed by Riessman (1993), with Atlas.ti 8 supporting the organization and reduction of data. The reconstruction presented in this chapter preserves the categories and findings of the original research and revisits the events, relationships, and experiences that made it possible to understand identity as a multiple, continuous elaboration connected to interaction. The findings revealed first-language identity (L1), second-language identity (L2), and foreign-language identity (FL), articulated with cultural, group, and personal identity, interaction, construction of knowledge and identity, and positioning. In essence, revisiting this experience makes it possible to understand that moving across languages did not represent the replacement of one identity by another, but reciprocal processes of construction and reconstruction of the self connected to family, community, the city, education, and the ways in which participants were recognized and recognized themselves within different spaces.

Keywords: identity, indigenous students, Koreguajú, multiple identities, identity construction, second language, foreign language.

3.1. Introducción

El origen de esta experiencia investigativa no estuvo inicialmente en una definición teórica de identidad ni en la intención de estudiar las comunidades indígenas desde afuera. Surgió de una situación que observé en mi práctica como docente de inglés en una institución educativa pública de Florencia, Caquetá, y que posteriormente continué observando desde mi trabajo en el programa de formación de docentes de inglés de la Universidad de la Amazonia. En esos espacios encontré estudiantes indígenas que debían participar en procesos educativos mediados por lenguas distintas a su lengua materna y, al mismo tiempo, responder a las mismas dinámicas académicas que el resto de los estudiantes.

El primer encuentro tuvo lugar en el año 2012, mientras trabajaba como docente de inglés en una institución educativa pública. Allí pude conocer estudiantes indígenas que apenas utilizaban el español y que, además, habían sufrido situaciones de desplazamiento, pobreza y exclusión. Luego, más adelante en mi vida profesional, y ya en el contexto de educación superior, siendo yo docente de un programa de formación de profesores de inglés como lengua extranjera en una universidad pública en Florencia, volví a encontrar estudiantes indígenas que aprendían inglés como lengua extranjera y que debían participar en espacios donde sus experiencias lingüísticas y culturales no necesariamente eran consideradas como parte del proceso de formación. De esta manera, la inquietud sobre cómo vivían sus realidades se convirtió en un problema de investigación que se construyó primero desde la observación de una experiencia educativa concreta.

La preocupación no estaba únicamente en que los estudiantes tuvieran dificultades para aprender inglés. Lo que empezó a llamar mi atención fue la manera como las dificultades lingüísticas, las condiciones sociales y las diferencias culturales parecían relacionarse con las posiciones que los estudiantes asumían dentro de los grupos. En algunos momentos se alejaban, permanecían en silencio o evitaban participar; en otros, la lengua se convertía en una posibilidad de acceder a nuevos espacios, relacionarse con otros y continuar su formación. Por esta razón, la pregunta empezó a desplazarse desde el aprendizaje de una lengua hacia la construcción de quien se es cuando una persona participa en contextos mediados por diferentes lenguas y culturas.

Para comprender mejor aquello que estaba observando, la formulación de la investigación incluyó un diagnóstico mediante una escala de Likert y una entrevista semiestructurada. Los resultados iniciales mostraron, por una parte, que un grupo de estudiantes indígenas reconocía condiciones de desigualdad relacionadas con aspectos sociales, culturales y económicos y, por otra, que no identificaban de manera clara la incorporación de su cultura e identidad dentro de

las clases de inglés. Más importante aún, las primeras conversaciones permitieron escuchar experiencias de aislamiento relacionadas directamente con el desconocimiento del español. Uno de los estudiantes narró que, al llegar a Florencia, permanecía en el salón durante los descansos y evitaba hablar con otras personas porque no podía comunicarse en español. Esta situación permitió reconocer que la lengua no aparecía solamente como un contenido académico; intervenía en las posibilidades de participar, relacionarse y asumir una posición dentro de un nuevo espacio.

La investigación se desarrolló en un contexto donde esta situación resultaba especialmente significativa. Colombia reconoce constitucionalmente su diversidad étnica y cultural y, mediante la Ley 21 de 1991, ratifica el Convenio 169 sobre pueblos indígenas y tribales. Estos marcos reconocen a los pueblos indígenas como parte de la nación, así como su derecho a conservar sus tradiciones y lenguas y a acceder a la educación. Desde esta perspectiva, la presencia de estudiantes indígenas dentro de instituciones educativas públicas responde al ejercicio de derechos que han sido reconocidos nacional e internacionalmente. Sin embargo, la experiencia que dio origen al estudio permitió problematizar la distancia que puede existir entre el reconocimiento normativo y aquello que sucede durante la interacción cotidiana dentro de los espacios educativos.

Bajo estas circunstancias, la investigación no buscó evaluar una intervención pedagógica ni medir el aprendizaje de inglés. El interés estuvo dirigido a explorar las identidades de dos estudiantes indígenas Koreguajú y a comprender cómo las experiencias construidas en contextos de primera lengua, segunda lengua y lengua extranjera participaban en la configuración y reconfiguración de sus autopercepciones y posiciones. La pregunta que orientó el estudio fue: ¿Cuáles son las identidades de dos estudiantes indígenas Koreguajú aprendices de lenguas en un contexto de inglés como lengua extranjera? El objetivo general fue analizar las identidades de estudiantes indígenas en el aprendizaje de inglés como lengua extranjera en la Universidad de la Amazonia y la Institución Educativa Juan XXIII. De manera específica, se buscó establecer las bases y cambios en la construcción de identidad y describir el tipo de participación de los estudiantes en grupos sociales mediante el lenguaje y cómo dicha participación determinaba sus posiciones dentro de esos grupos.

Volver sobre esta investigación varios años después no significa aplicar una nueva metodología a los datos ni producir nuevas categorías. La reconstrucción reflexiva y sistematizada que se presenta en este capítulo consiste en reorganizar la experiencia investigativa desde su origen, las decisiones tomadas durante el proceso, las narrativas construidas con los participantes y las comprensiones que fueron emergiendo. Por esta razón, se conservan tanto la metodología narrativa como las categorías y resultados originales. La

reflexión se realiza desde el mismo soporte conceptual de la tesis y no incorpora nuevos referentes teóricos.

3.1.1. Identidad como construcción continua y múltiple

La primera noción necesaria para comprender la experiencia es la identidad. Desde diferentes campos, la identidad ha sido abordada como una característica de la persona, una relación con grupos sociales, una construcción vinculada al lenguaje y una elaboración que se transforma según los contextos y las experiencias. Wetherell (2010) explica que la identidad pasó de ser comprendida como una esencia fija a ser relacionada con la pertenencia, las diferencias, la subjetividad y las relaciones sociales. Esta transición resulta importante para la experiencia reconstruida en este capítulo porque los participantes no aparecen como sujetos con una única identidad definida exclusivamente por su pertenencia a una comunidad indígena.

Para la investigación, la identidad se comprendió desde los planteamientos de Hall (1994), Joseph (1994), Wortham (2006), Soler (2012) y Darvin y Norton (2014). En primer lugar, la identidad se construye socialmente y se comunica mediante el lenguaje. Se relaciona con las características que una persona reconoce en sí misma, con aquellas que los demás le atribuyen y con los grupos a los cuales pertenece. En segundo lugar, no constituye una elaboración terminada. Hall (1994) plantea su carácter continuo, mientras que Darvin y Norton (2014) permiten comprenderla como compleja, múltiple y cambiante. En consecuencia, las experiencias y relaciones que una persona establece con el mundo producen posibilidades permanentes para construir y reconstruir quién es.

Esta comprensión fue central al analizar las experiencias de los participantes. Ser Koreguajú no desaparecía cuando ingresaban a un colegio de la ciudad, aprendían español o estudiaban inglés. Del mismo modo, aprender una nueva lengua no significaba únicamente incorporar un nuevo sistema lingüístico. Cada contexto introducía personas, reglas, formas de comunicación, espacios y expectativas que podían intervenir en la manera como los participantes se veían a sí mismos y eran vistos por otros.

La construcción de identidad, en este sentido, ocurre mediante la interacción. Joseph (1994), Ivanic (2006), Frosh (2010) y Darvin y Norton (2014) permiten comprender que la identidad no es simplemente asignada; se construye en relación con otros, con el contexto, con la sociedad, con el tiempo y con el lenguaje. Frosh (2010) la presenta como una elaboración que responde a fuerzas internas y externas. Por tanto, reconocer quién se es supone también reconocer dónde se está, con quién se interactúa, qué experiencias se han vivido y qué posibilidades de participación ofrece cada contexto.

Esta idea conduce a la existencia de identidades múltiples. En la tesis, la identidad personal, la identidad grupal y la identidad cultural fueron especialmente relevantes. La identidad personal se relaciona con el reconocimiento que una persona hace de sí misma, sus características, experiencias, preferencias, recuerdos y aspiraciones. La identidad grupal aparece en las características compartidas que permiten reconocerse como parte de un colectivo y diferenciarlo de otros. La identidad cultural, por su parte, incluye el vínculo con la lengua, los símbolos, prácticas, lugares y conocimientos que participan en la pertenencia a una cultura.

Kramsch (1998) resultó particularmente importante para interpretar la identidad cultural porque la relaciona con la percepción y aceptación de un individuo por parte de otros, con las percepciones que las personas tienen de sí mismas y con la distribución de roles y derechos dentro de una comunidad discursiva. Esta definición permitió observar que la construcción de identidad de los participantes no dependía únicamente de su voluntad de reconocerse como Koreguajú. También estaba vinculada con las formas en que compañeros, docentes e instituciones los reconocían, aceptaban o posicionaban dentro de diferentes espacios.

Castañeda (2008) complementa esta comprensión al relacionar identidad y posicionamiento. Desde esta mirada, los discursos y las interacciones permiten asumir posiciones y también pueden limitar las posibilidades de acción. Esta relación entre identidad y posición se hizo visible en las experiencias narradas por los participantes cuando hablaron de aislamiento, vergüenza, discriminación, reconocimiento, orgullo, participación y liderazgo.

3.1.2. El estudiante indígena dentro de la experiencia educativa

La segunda noción que orientó la investigación fue la de estudiante indígena. La tesis reconstruyó esta categoría desde el desarrollo histórico de los derechos de los pueblos indígenas y su reconocimiento dentro de las políticas nacionales e internacionales. El Convenio 107 de la Organización Internacional del Trabajo y posteriormente el Convenio 169, junto con la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas, reconocen características relacionadas con la historia, las estructuras sociales, económicas y políticas, las tradiciones, las lenguas y la relación de los pueblos con sus territorios.

En Colombia, la Constitución Política de 1991 y la Ley 21 del mismo año reconocen derechos de los pueblos indígenas y su pertenencia a la nación. En el campo educativo, estas disposiciones se relacionan con el derecho de acceder al sistema educativo y con la conservación de las tradiciones culturales y las lenguas. Bajo este marco, la investigación comprendió al estudiante indígena como una persona perteneciente a una comunidad indígena que, en ejercicio de sus derechos, puede acceder al sistema educativo dentro de su comunidad o en instituciones educativas nacionales.

Esta definición adquiere una dimensión particular cuando el estudiante se desplaza de su comunidad hacia una ciudad y debe participar en espacios donde la lengua de interacción es el español. En la experiencia investigativa, los dos participantes eran hablantes nativos de una lengua indígena, utilizaban el español como segunda lengua y tenían contacto con el inglés como lengua extranjera. Por tanto, la experiencia educativa implicaba más de un tránsito lingüístico y cultural.

3.1.3. Segunda lengua e inglés como lengua extranjera

La distinción entre segunda lengua y lengua extranjera permitió organizar parte importante de las experiencias. Richards y Schmidt (2010) y Van Patten y Benati (2010) aportan a la comprensión de los procesos de adquisición de lenguas; sin embargo, para esta investigación la diferencia fundamental se estableció desde el contexto de uso. La Guía N.º 22 del Ministerio de Educación Nacional (2006) presenta una segunda lengua como aquella necesaria para participar dentro de determinados espacios de una sociedad, mientras que la lengua extranjera tiene una exposición más limitada y no es necesaria para la interacción cotidiana.

Para los participantes, el español funcionaba como segunda lengua porque era necesario para estudiar, interactuar en la ciudad, comunicarse con personas externas a sus comunidades y participar dentro de instituciones educativas. El inglés, en cambio, aparecía principalmente dentro de espacios formales de enseñanza. Esta diferencia resultó determinante porque las experiencias de interacción eran distintas. El español acompañaba la vida cotidiana fuera de la comunidad; el inglés estaba ligado principalmente a la escolarización y, en el caso del participante universitario, a su formación profesional.

El inglés como lengua extranjera también fue comprendido desde su trayectoria histórica y las relaciones entre lengua, cultura y poder. Celce-Murcia (2001) y Hamer (2007) permiten reconocer cómo la enseñanza de lenguas se ha transformado en respuesta a necesidades políticas, religiosas, económicas y educativas. Asimismo, la expansión del inglés ha sido relacionada con procesos de colonización y con discusiones acerca de imperialismo cultural y lingüístico. Dentro de esta investigación, sin embargo, el interés no consistió en determinar si el inglés era positivo o negativo para los participantes. La pregunta estuvo en cómo la interacción con ese contexto lingüístico participaba en la construcción de quienes eran.

Así, identidad, estudiante indígena, segunda lengua e inglés como lengua extranjera no funcionaron como conceptos aislados. Se relacionaron alrededor de una misma experiencia: dos estudiantes Koreguajú que construían formas de reconocerse y posicionarse mientras transitaban por comunidades, instituciones educativas y lenguas diferentes. Esta relación es la

que permite reconstruir en las siguientes secciones la experiencia investigativa desde las voces, los espacios y los eventos que dieron lugar a las categorías originales del estudio.

3.2. Metodología

La reconstrucción presentada en este capítulo parte de la metodología utilizada en la investigación de maestría y no constituye una nueva fase empírica. No se recolectaron nuevos datos ni se modificaron los instrumentos, participantes o procedimientos de análisis. Lo que se realiza es una reorganización reflexiva del proceso de investigación con el propósito de volver sobre la experiencia, hacer visibles las decisiones que la estructuraron y relacionarlas con las comprensiones construidas a partir de las narrativas.

3.2.1. Enfoque cualitativo e investigación narrativa

La investigación original se desarrolló desde un enfoque cualitativo. Esta elección respondió a la necesidad de explorar experiencias personales y comprender los significados que los participantes atribuían a situaciones relacionadas con lengua, cultura, interacción e identidad. Creswell (2014) define la investigación cualitativa como un enfoque orientado a explorar y comprender los significados que individuos o grupos atribuyen a problemas sociales o humanos. Desde esta perspectiva, el interés no estaba en producir generalizaciones estadísticas, sino en comprender cómo dos estudiantes construían explicaciones y significados a partir de sus propias experiencias.

Dentro de este enfoque, la investigación narrativa fue seleccionada como tipo de estudio. La narrativa permitía reconstruir recuerdos y experiencias que mostraban la manera como los participantes se veían a sí mismos y daban sentido a aquello que habían vivido. Macías, Hernández y Sánchez (2020) relacionan las narrativas con procesos de construcción de identidad; Webster y Mertova (2007), por su parte, destacan la capacidad de las historias para organizar acontecimientos importantes y hacer visibles comprensiones que no siempre emergen mediante formas tradicionales de investigación.

Esta posibilidad resultaba coherente con el problema investigado. La identidad no podía observarse como un objeto independiente de la experiencia. Era necesario reconstruir situaciones en diferentes momentos y espacios, escuchar cómo los participantes las recordaban, identificar aquello que consideraban significativo y relacionar esos eventos con las posiciones que asumían. Webster y Mertova (2007) denominan eventos críticos a aquellos acontecimientos que adquieren una importancia particular dentro de una historia de vida. Por esta razón, la investigación narrativa ofreció una vía para conectar experiencias ocurridas en la comunidad, la ciudad, el colegio y la universidad.

Clandinin (2013) contribuyó también a comprender el carácter relacional y temporal de la narrativa. Las experiencias no se encuentran aisladas; se relacionan con el pasado, el presente y las posibilidades futuras, con los sentimientos y con los contextos culturales, institucionales, lingüísticos y familiares. Esta comprensión fue especialmente pertinente para el estudio debido a que las experiencias de los participantes con el español y el inglés se construían sobre conocimientos, vínculos y formas de interpretar el mundo desarrolladas previamente en sus comunidades.

3.2.2. Contexto y participantes

La investigación se llevó a cabo en dos instituciones públicas de Florencia, Caquetá: la Institución Educativa Juan XXIII y la Universidad de la Amazonia. La elección de estos espacios no fue externa a mi experiencia profesional. Durante el desarrollo del estudio trabajaba como docente de inglés en las dos instituciones, condición que me permitió observar inicialmente el fenómeno y posteriormente establecer la relación necesaria para construir las narrativas con los participantes.

Los dos participantes pertenecían al pueblo Koreguajú. El primero era un joven de 19 años procedente de San Antonio de Getuchá, Caquetá, que cursaba noveno grado en la Institución Educativa Juan XXIII. El segundo era un joven de 23 años procedente de Agua Negra, Milán, Caquetá, que cursaba su último año del programa de formación de docentes de inglés de la Universidad de la Amazonia. Ambos tenían afiliación directa a comunidades indígenas por nacimiento y crianza, eran hablantes nativos de una lengua indígena, utilizaban el español como segunda lengua y tenían el inglés como lengua extranjera. Asimismo, las experiencias iniciales permitían reconocer sentimientos relacionados con discriminación debido a su origen cultural.

La selección de los participantes estuvo directamente relacionada con el objeto de investigación. No se buscó representar a todos los estudiantes Koreguajú ni generalizar sus experiencias a otras comunidades indígenas. La investigación se centró en dos trayectorias particulares que permitían explorar de manera narrativa cómo la lengua, la cultura, los espacios y las relaciones participaban en la construcción y reconstrucción de identidad.

3.2.3. Instrumentos para construir las narrativas

Las narrativas fueron construidas mediante conversaciones múltiples, entrevistas semiestructuradas y materiales visuales. Cada instrumento permitió acercarse a las experiencias desde una forma diferente y, al mismo tiempo, complementar la información que emergía en los otros.

Las conversaciones múltiples surgieron de manera no planificada durante encuentros académicos y actividades en las cuales participaba uno de los estudiantes, entre ellas un congreso relacionado con lenguas ancestrales en la Universidad de Antioquia. Estas conversaciones fueron especialmente valiosas porque no respondían inicialmente a una estructura de entrevista. El participante decidió compartir acontecimientos de su experiencia universitaria, su relación con su cultura, sus dificultades, sus aprendizajes y las posiciones que había asumido durante su formación. Con su autorización, estas conversaciones fueron registradas y posteriormente incorporadas al análisis.

Las entrevistas semiestructuradas permitieron profundizar en experiencias y eventos que necesitaban mayor detalle. Creswell (2014) y Kumar (2011) reconocen las entrevistas como instrumentos que permiten obtener información directamente de los participantes. En esta investigación, las preguntas se mantuvieron abiertas para favorecer la construcción de historias y no limitar las respuestas a categorías establecidas previamente.

Los materiales visuales fueron incorporados especialmente porque uno de los participantes tenía dificultades para construir narraciones extensas en español o inglés y no fue posible contar con un intérprete de Koreguajú. Por acuerdo entre investigador y participante, parte de la información se expresó mediante textos cortos e ilustraciones. Creswell (2014) reconoce que los datos cualitativos pueden adoptar formas visuales diversas y que estas representaciones ofrecen alternativas para comunicar experiencias que no siempre pueden ser expresadas con facilidad mediante una entrevista convencional.

3.2.4. Procedimiento de análisis

El análisis comenzó desde la misma construcción de los datos y siguió los niveles propuestos por Riessman (1993). En una primera fase se desarrollaron los procesos de attending, telling y transcribing, vinculados con la atención a los eventos, la construcción de las historias y la elaboración de las transcripciones. Posteriormente se avanzó hacia analyzing y reading, donde se examinaron recurrencias, conexiones y temas sobresalientes dentro de los diferentes instrumentos.

Las transcripciones permitieron identificar ideas repetidas, situaciones semejantes y eventos que aparecían de manera significativa en las narrativas. A partir de estas recurrencias se fueron estableciendo relaciones entre segmentos de información que posteriormente constituyeron las categorías y subcategorías de análisis. Atlas.ti 8 fue utilizado como herramienta para organizar los documentos, codificar segmentos y visualizar relaciones. Friese (2019) explica que el software apoya procesos de visualización, integración, exploración y manejo de información cualitativa; en

el estudio sirvió como soporte para la reducción y organización de los datos, no como sustituto de la interpretación de la investigadora.

El proceso dio lugar a tres categorías principales: identidad en primera lengua (L1), identidad en segunda lengua (L2) e identidad en lengua extranjera (LE). De manera articulada emergieron identidad cultural, identidad grupal, identidad personal, interacción, construcción de conocimiento e identidad y posicionamiento. Estas categorías corresponden a los resultados de la investigación original y constituyen también la base desde la cual se reconstruye la experiencia en el presente capítulo.

3.3. Resultados

Reconstruir la experiencia investigativa desde sus resultados implica volver a las trayectorias narradas por los participantes y reconocer que las categorías no aparecieron como compartimentos independientes. L1, L2 y LE fueron formas de organizar relaciones complejas entre lengua, personas, lugares, conocimientos, emociones y posiciones. La lengua Koreguajú, el español y el inglés se vincularon con espacios distintos, pero las identidades construidas en esos espacios se relacionaban entre sí.

3.3.1. Identidad en primera lengua: la comunidad como primer espacio de reconocimiento

La identidad en primera lengua fue la primera categoría que permitió organizar las autopercepciones de los participantes. Su construcción estuvo estrechamente relacionada con la lengua Koreguajú, los lugares de origen, las relaciones familiares y comunitarias y las actividades que los participantes reconocían como parte de su cultura.

En los materiales visuales, uno de los participantes representó su comunidad como su lugar favorito y se ubicó dentro de ese espacio. En sus representaciones aparecieron la comunidad, la naturaleza y elementos vinculados con la vida cotidiana. Esta forma de ubicarse en un espacio físico y simbólico permitió reconocer una relación de pertenencia que iba más allá de la descripción geográfica. El lugar se encontraba asociado con recuerdos, prácticas y conocimientos que contribuían a responder quién era.

El segundo participante, al reconstruir experiencias con su familia, hizo visible la importancia de los abuelos y de las actividades compartidas. En una de las conversaciones expresó: “Una de las cosas en la que uno se sienta orgulloso viene de la familia. Por lo menos todo lo que yo sé es de mi cultura”. Posteriormente recordó los mitos narrados por su padre, las experiencias de pesca y el aprendizaje del tejido con su abuela y sus tíos. Estos recuerdos no aparecieron como

información separada de su identidad; representaban formas de conocimiento construidas dentro de relaciones familiares y comunitarias.

La lengua materna era también parte fundamental de esta configuración. El reconocimiento de la lengua Koreguajú se relacionaba con la pertenencia al grupo y con la posibilidad de comunicar conocimientos propios de la comunidad. En la experiencia del participante universitario, hablar la lengua dentro de la comunidad no era simplemente una preferencia comunicativa. Durante una conversación explicó que podía resultar incómodo o incluso irrespetuoso hablar español con alguien que comprendía la lengua propia. De esta forma, la elección de una lengua estaba ligada a la relación con otros y al reconocimiento de pertenencia.

La construcción de L1 también se hizo visible mediante comparaciones con los nuevos contextos. Al recordar su llegada a Florencia, uno de los participantes universitarios habló del agua, el ruido, los carros, las motocicletas y la comida. La diferencia entre estos elementos y aquellos de su comunidad produjo inicialmente incomodidad. El agua de Florencia tenía un olor distinto al agua natural a la que estaba acostumbrado; la ciudad era ruidosa y la comida era diferente. Estas comparaciones permitieron reconocer que la identidad construida en la comunidad funcionaba como un marco desde el cual interpretaba el nuevo espacio.

Por esta razón, L1 no se limitó al dominio de una primera lengua. La categoría integró el reconocimiento de la cultura, el grupo, la familia, los lugares, los recuerdos y los conocimientos construidos antes de la entrada a otros contextos. La investigación mostró que estas elaboraciones continuaban presentes cuando los participantes utilizaban español o inglés. Lo construido en la primera lengua no desaparecía al utilizar otra; se convertía en una base desde la cual podían interpretar nuevas experiencias.

3.3.2. Identidad en segunda lengua: aprender español para participar en nuevos espacios

La segunda categoría apareció alrededor del español y de las experiencias que acompañaron la entrada a espacios donde esta lengua era necesaria. Para ambos participantes, aprender español estuvo directamente relacionado con la educación, la ciudad y la interacción con personas externas a sus comunidades.

En uno de los casos, la llegada a Florencia estuvo asociada con desplazamiento y con un cambio abrupto de contexto. El participante narró que al llegar prácticamente no hablaba español y que durante un periodo no asistió al colegio. Una vez matriculado, su dificultad para comunicarse afectó de manera directa la interacción: permanecía en el salón durante los descansos, no hablaba con otras personas y realizaba únicamente las actividades que lograba

comprender. El tránsito hacia la segunda lengua estuvo entonces acompañado por aislamiento y por una posición limitada dentro del nuevo grupo.

Posteriormente, los compañeros tuvieron un papel importante en la adquisición del español. En los materiales visuales, el participante explicó que cuando llegó a Florencia no podía hablar la lengua castellana y que fueron algunos compañeros quienes, poco a poco, le enseñaron palabras y formas de comunicarse. De esta manera, aprender la lengua estuvo vinculado con el ingreso progresivo a nuevas relaciones.

El participante universitario reconstruyó su aprendizaje del español de manera semejante. En una de las conversaciones explicó: “El español fue en el colegio, como por la necesidad y cuando salía al pueblo, para comprar cosas, cierta manera para comunicarse”. Además, señaló que lo fue adquiriendo mediante la interacción con compañeros, profesores y lecturas. Estas experiencias mostraron que el español se encontraba presente en actividades concretas: estudiar, comprar, conversar, presentar trabajos y relacionarse con personas que no hablaban Koreguajú.

En los dos casos, la segunda lengua se convirtió en una posibilidad para ampliar los espacios de participación. Sin embargo, esta ampliación no ocurrió sin conflictos. Las dificultades para encontrar palabras, expresarse oralmente o utilizar formas consideradas adecuadas podían producir vergüenza o inseguridad. Uno de los participantes expresó que comprendía muchas cosas, pero dudaba antes de hablar y que solo con el tiempo empezó a ser más expresivo verbalmente.

La ciudad también formó parte de esta experiencia lingüística. Aprender español no sucedió únicamente en el aula. Estuvo acompañado por la necesidad de comprender nuevos sonidos, alimentos, formas de relación y ritmos de vida. En este sentido, L2 reunía la lengua y el espacio social en el cual esta era utilizada. La construcción de identidad en segunda lengua estaba relacionada con la posibilidad de ingresar a la educación formal, establecer amistades, participar en actividades sociales y proyectarse hacia formas de vida que los participantes asociaban con su desarrollo personal y académico.

Al mismo tiempo, los participantes no presentaron el aprendizaje del español como un abandono de la primera lengua. La experiencia mostraba una negociación permanente. En determinados espacios el español era necesario, mientras que dentro de la comunidad la lengua Koreguajú conservaba un valor relacionado con pertenencia, respeto e identidad cultural. La segunda lengua ampliaba las posibilidades de interacción, pero coexistía con la lengua materna y con los conocimientos contruidos a través de ella.

3.3.3. Identidad en lengua extranjera: entre el aislamiento, la exigencia académica y el reconocimiento

La identidad en lengua extranjera correspondió a las experiencias construidas alrededor del inglés. Esta categoría presentó diferencias importantes entre los dos participantes debido a que sus trayectorias educativas y sus niveles de contacto con la lengua eran diferentes.

Para el participante de educación secundaria, el inglés apareció de manera limitada dentro de su trayectoria. Sus materiales visuales permitieron reconstruir las lenguas presentes durante diferentes etapas de escolarización. La primera educación había ocurrido principalmente en su lengua materna; posteriormente el español fue incorporado como lengua de instrucción y asignatura, y el inglés apareció durante la educación secundaria. Al recordar su primer contacto con una clase de inglés señaló que “solo entendí good morning”. La expresión sintetizaba el lugar que ocupaba la lengua extranjera en ese momento: una lengua presente en la institución educativa, pero todavía distante de las actividades cotidianas y de los espacios habituales de interacción.

La experiencia del participante universitario fue distinta porque el inglés se convirtió en el área central de su formación profesional. Su ingreso al programa de formación de docentes de inglés implicó aprender la lengua y, al mismo tiempo, participar en un grupo donde otros estudiantes contaban con experiencias previas diferentes. Durante las conversaciones recordó que algunos compañeros habían realizado cursos de inglés antes de ingresar, mientras que él llegaba principalmente con las bases obtenidas en el colegio. Esto convirtió el inicio de la carrera en una experiencia exigente.

La dificultad no estuvo exclusivamente en el inglés. El participante continuaba construyendo su dominio del español mientras estudiaba la lengua extranjera. En una conversación lo resumió diciendo que terminó aprendiendo “los dos al mismo tiempo”. Esta situación permitió comprender que las categorías L2 y LE no podían separarse completamente. El español era la lengua principal de interacción universitaria y, al mismo tiempo, el inglés era objeto de formación académica y profesional.

El ingreso a la universidad también produjo experiencias relacionadas con posicionamiento. El participante relató: “cuando recién entré me sentí eh, cómo digo, como bicho raro”. Relacionó esta sensación con sus dificultades para hablar español, olvidar palabras o utilizarlas de maneras diferentes, y con la percepción de que algunas personas se alejaban. En otro momento de la conversación expresó una idea que muestra con claridad la relación entre identidad y participación: “uno entra como estigmatizado, como con miedo de mostrar lo que uno es”. Las experiencias previas de burla o diferencia podían conducir a ocultar prácticas culturales y a limitar la expresión de la propia identidad.

Sin embargo, la experiencia universitaria no fue narrada únicamente desde el rechazo o la dificultad. También aparecieron momentos en los cuales el participante percibió reconocimiento de sus conocimientos y de su cultura. Al recordar algunas asignaturas y docentes, explicó que determinadas actividades le permitieron relacionar los contenidos de la carrera con sus propias experiencias. En investigación, por ejemplo, señaló que podía utilizar conocimientos construidos en su contexto; en literatura establecía comparaciones entre historias estudiadas y mitos de su comunidad. En sus palabras, estas experiencias representaban “el reconocimiento del profesor de acuerdo con mi pensamiento”.

De igual forma, recordó una asignatura en la cual pudo trabajar asuntos relacionados con legislación indígena y una experiencia en la que fue animado a participar en un simposio. La posibilidad de hablar públicamente desde su experiencia produjo una relación distinta con el programa. El participante expresó que se iba sintiendo “más acorde a que uno es y la carrera también”, porque empezaba a percibir que podía compartir quién era y, al mismo tiempo, continuar dentro de la misma línea de formación.

Estas experiencias muestran que la identidad en lengua extranjera no puede reducirse al nivel de dominio del inglés. En el caso universitario, el inglés se encontraba dentro de un contexto institucional donde el participante negociaba reconocimiento, pertenencia, conocimiento cultural y proyecto profesional. La lengua extranjera podía representar dificultad y distancia, pero también una posibilidad para comunicar elementos de la cultura Koreguajú en nuevos espacios.

Un aspecto relevante apareció cuando el participante habló de su propia relación con la identidad cultural durante la formación universitaria. Frente a la pregunta por el momento en que empezó a sentirse cómodo y orgulloso de su cultura, no atribuyó este proceso exclusivamente a la universidad. Relacionó su posición con la figura de su padre, el liderazgo dentro de la comunidad y la necesidad de reconocer su propia historia. No obstante, también mencionó la influencia de compañeros que lo motivaban a vivir y mostrar aquello que le pertenecía culturalmente. La identidad, por tanto, no fue reconstruida por una única institución ni por una lengua específica; surgía de relaciones entre familia, comunidad, compañeros, docentes y experiencias académicas.

3.3.4. Identidad cultural, grupal y personal: dimensiones que atraviesan las tres lenguas

El análisis de las tres categorías principales permitió reconocer dimensiones que se encontraban presentes en más de un contexto. La identidad cultural apareció en el reconocimiento de la lengua, la comunidad, los mitos, el tejido, la pesca, la familia y los conocimientos propios de la cultura Koreguajú. También apareció cuando los participantes

comparaban estas prácticas con aquellas encontradas en la ciudad y cuando decidían qué elementos conservar, comunicar o proteger.

La identidad grupal se hizo visible en las relaciones con la familia, la comunidad, los compañeros de colegio, los grupos universitarios y las organizaciones indígenas. Cada espacio ofrecía formas diferentes de pertenecer. En algunos casos la pertenencia era construida desde el nacimiento y la vida comunitaria; en otros debía negociarse mediante la participación, la lengua y el reconocimiento de los demás.

La identidad personal atravesó recuerdos, preferencias, aspiraciones, decisiones y proyectos. Los participantes no fueron presentados únicamente como integrantes de un grupo étnico. Las narrativas mostraron gustos, metas académicas, formas de relacionarse, experiencias de liderazgo, dudas y decisiones que permitían reconocerlos como individuos. En el caso universitario, por ejemplo, la elección de estudiar inglés estuvo relacionada con diferentes posibilidades profesionales, con una motivación recibida durante la educación secundaria y con la necesidad de contar con docentes indígenas en las escuelas de la comunidad.

3.3.5. Interacción y construcción de conocimiento e identidad

La interacción fue una subcategoría central porque las transformaciones descritas en las narrativas ocurrían en relación con otros. Los compañeros que enseñaron español, los docentes que permitieron o limitaron determinadas formas de expresión, los familiares que transmitieron conocimientos, los grupos universitarios, las organizaciones indígenas y las personas de la ciudad participaron en las experiencias desde las cuales los estudiantes construían interpretaciones sobre sí mismos.

La construcción de conocimiento e identidad se relacionó especialmente con la capacidad de los participantes para comunicar lo que sabían sobre su cultura utilizando otras lenguas. El hecho de expresar en español conocimientos aprendidos dentro de la comunidad mostraba que la segunda lengua no reemplazaba necesariamente el conocimiento construido en L1. Servía también como medio para llevarlo a otros espacios. En el caso del participante universitario, esta posibilidad se amplió hacia la lengua extranjera y hacia actividades académicas en las cuales podía relacionar contenidos del programa con conocimientos, historias y problemas de su comunidad.

3.3.6. Posicionamiento: entre poder y reducción de la participación

El posicionamiento permitió comprender los cambios en las posibilidades de participar dentro de cada contexto. Las narrativas mostraron posiciones de menor poder cuando los participantes no comprendían la lengua, sentían vergüenza, percibían discriminación o consideraban que sus

conocimientos no eran reconocidos. El aislamiento en el salón, el miedo a hablar o la sensación de ser un “bicho raro” constituyen ejemplos de estas posiciones.

En contraste, el aprendizaje de nuevas lenguas, la aceptación dentro de un grupo y el reconocimiento de los conocimientos propios podían ampliar las posibilidades de participación. El participante universitario pasó de relatar experiencias de extrañamiento y deseo de abandonar el programa a describir espacios donde podía expresarse, participar en eventos, relacionar la formación académica con su cultura y asumir roles dentro de organizaciones indígenas universitarias.

Estos movimientos no permiten hablar de una progresión lineal desde una identidad negativa hacia una positiva. Las posiciones podían modificarse según el espacio, las personas y las actividades. Un mismo participante podía sentirse seguro en relación con su cultura y, al mismo tiempo, experimentar dificultad para expresarla dentro de determinado contexto. De esta manera, los resultados mostraron identidades dinámicas que se configuraban y reconfiguraban en procesos de interacción recíproca.

3.4. Discusión

La reconstrucción de la experiencia permite volver sobre una idea central de la tesis: las identidades de los participantes no pueden entenderse como elaboraciones aisladas ni estáticas. Las categorías L1, L2 y LE organizan contextos lingüísticos distintos, pero las narrativas muestran una relación permanente entre ellos. Aquello que los participantes habían construido en la comunidad intervenía en la forma como interpretaban la ciudad; las experiencias con el español modificaban sus posibilidades de participación; y el inglés introducía nuevos espacios académicos y profesionales donde las identidades volvían a ser negociadas.

En primera instancia, los resultados reafirman la comprensión de identidad como una elaboración continua. Hall (1994) plantea que la identidad permanece en proceso y Darwin y Norton (2014) resaltan su carácter múltiple y cambiante. En las narrativas de los participantes no aparece una única respuesta a la pregunta sobre quiénes son. Ser parte de una comunidad Koreguajú, ser estudiante de una institución pública, utilizar español, aprender inglés, pertenecer a una familia o proyectarse profesionalmente son elaboraciones que coexisten y se transforman a lo largo de la experiencia.

Esta multiplicidad no significa que las identidades se encuentren completamente separadas. Por el contrario, la experiencia muestra relaciones recíprocas. La identidad en primera lengua proporciona conocimientos, recuerdos, vínculos y formas de interpretar el mundo que continúan presentes cuando los participantes utilizan español o inglés. La segunda lengua permite ampliar la interacción y acceder a espacios educativos y sociales, pero también puede introducir

tensiones relacionadas con la adaptación y el reconocimiento. La lengua extranjera, finalmente, se incorpora sobre estas experiencias previas y puede generar tanto posiciones de dificultad como oportunidades para proyectar conocimientos culturales hacia otros espacios.

En este punto, la relación entre identidad individual y grupal propuesta por Joseph (1994) resulta significativa. Los participantes se reconocen mediante nombres, preferencias, recuerdos, aspiraciones y decisiones personales; sin embargo, estas elaboraciones se encuentran permanentemente relacionadas con grupos. La familia, la comunidad Koreguajú, los compañeros del colegio, el programa universitario y las organizaciones indígenas ofrecen referencias desde las cuales los participantes pueden construir pertenencia o diferencia.

La identidad cultural permite comprender con mayor profundidad esta relación. Kramsch (1998) señala que la adscripción de identidad cultural es sensible a la percepción y aceptación de una persona por parte de otros y a la distribución de roles y derechos dentro de una comunidad discursiva. Las experiencias reconstruidas muestran esta doble dimensión. Los participantes se reconocen como Koreguajú a partir de la lengua, los conocimientos, los vínculos familiares y las prácticas culturales, pero la manera como pueden expresar esa identidad cambia según el espacio y según la respuesta de quienes interactúan con ellos.

Esto se hizo particularmente visible en las experiencias relacionadas con el español. Para el participante que llegó a Florencia con un dominio muy limitado de la lengua, la imposibilidad de comunicarse produjo aislamiento. La posición dentro del grupo estaba estrechamente relacionada con la capacidad de comprender y ser comprendido. A medida que la interacción con compañeros y docentes le permitió ampliar el uso del español, también se ampliaron sus posibilidades de participación. La lengua, entonces, funcionó como medio de comunicación y como condición para ocupar determinadas posiciones dentro del espacio escolar.

La experiencia universitaria permite observar una relación semejante, pero más compleja. El participante no solo estaba aprendiendo inglés; continuaba fortaleciendo el español y, al mismo tiempo, negociaba la visibilidad de su cultura dentro de un programa de formación docente. Castañeda (2008) permite comprender la identidad como una cuestión de posicionamiento. Desde esta perspectiva, sentirse un "bicho raro", percibir que las personas se alejaban o tener miedo de mostrar quién se es corresponden a posiciones construidas dentro de determinadas relaciones. No representan una condición permanente del individuo.

Las narrativas muestran también que estas posiciones podían transformarse. Cuando el participante encontró espacios donde sus conocimientos eran reconocidos y podía relacionar contenidos académicos con experiencias de su comunidad, su participación cambió. La posibilidad de hablar sobre mitos Koreguajú en una clase de literatura, incorporar conocimientos propios en actividades de investigación o trabajar asuntos indígenas en otras asignaturas no

convirtió automáticamente el programa en un espacio completamente inclusivo. Sin embargo, para el participante estos momentos fueron interpretados como reconocimiento y le permitieron articular aquello que era con aquello que estaba estudiando.

Esta relación permite comprender la construcción de conocimiento e identidad como procesos conectados. Wortham (2006) plantea vínculos entre identificación social y aprendizaje, y las experiencias de los participantes muestran que aprender una lengua o participar en una actividad académica puede estar relacionado con formas de reconocerse y ser reconocido. En la investigación, el conocimiento construido dentro de la cultura Koreguajú no permanecía encerrado en la primera lengua. Los participantes podían comunicarlo en español y, en algunos casos, incorporarlo dentro de experiencias relacionadas con el inglés.

De esta manera, la experiencia cuestiona una comprensión del tránsito lingüístico como sustitución. Aprender español no significó dejar de ser hablante de Koreguajú; aprender inglés tampoco implicó abandonar las identidades previamente construidas. Las nuevas lenguas ofrecieron medios diferentes para participar y comunicar conocimientos, aunque cada una estuviera asociada con posibilidades y tensiones específicas.

Este aspecto también permite volver sobre los estudios relacionados que orientaron la investigación. Guerrero (2011) mostró las posibilidades de la narrativa para comprender construcciones del ser y posiciones sociales. Ortiz (2017) destacó la relación entre experiencias previas, características individuales, interacción y posicionamiento dentro del aprendizaje de inglés. Rivas (2013), desde experiencias construidas entre dos contextos culturales, evidenció tensiones de pertenencia y procesos de identidad vinculados con lengua y cultura. Estos trabajos contribuyeron a comprender que las experiencias lingüísticas no son externas a la construcción del ser.

En relación con estudiantes indígenas, Usma, Ortiz y Gutiérrez (2018) permitieron reconocer desafíos particulares cuando las políticas de lengua extranjera se encuentran con trayectorias multilingües en las cuales una lengua indígena constituye la primera lengua y el español la segunda. Este referente fue especialmente cercano a la experiencia reconstruida debido a que los participantes no entraban al inglés desde una trayectoria monolingüe español-inglés. Su experiencia incluía una lengua indígena y conocimientos culturales construidos desde ella.

Escobar y Gómez (2009), por su parte, resaltaron la relación entre lengua, cultura, territorio e identidad en contextos indígenas. Esta relación aparece con claridad en las narrativas analizadas. La comunidad no era solamente el lugar donde se hablaba una lengua. Era el espacio de los abuelos, los mitos, el tejido, la pesca, los alimentos, el agua y las formas de relación. Por eso, cuando los participantes llegaban a la ciudad, las diferencias físicas y culturales eran

interpretadas desde una experiencia previa que ya había configurado formas de conocer y reconocerse.

La reconstrucción permite también volver sobre la tensión entre los derechos formalmente reconocidos y las experiencias concretas de participación. La Constitución Política de Colombia y la Ley 21 de 1991 reconocen la diversidad y los derechos de los pueblos indígenas. No obstante, la presencia de un estudiante indígena dentro de una institución no garantiza que sus diferencias lingüísticas y culturales sean comprendidas por quienes participan en el espacio educativo. La tesis no evaluó políticas de inclusión ni desarrolló una intervención para transformarlas; sin embargo, las narrativas hicieron visible que las condiciones de interacción podían ampliar o reducir las posibilidades de participación.

En este sentido, el aporte de la experiencia no consiste en proponer una estrategia didáctica universal para estudiantes indígenas. Tampoco permite generalizar las trayectorias de dos participantes a todas las comunidades. Lo que hace visible es la necesidad de comprender que una persona llega al aula con historias lingüísticas y culturales que participan en la manera como aprende, interactúa y se posiciona. En el caso de los participantes, estas historias estaban relacionadas con una primera lengua indígena, con el español como segunda lengua y con el inglés como lengua extranjera.

Volver sobre esta experiencia como docente-investigadora permite reconocer además que la pregunta por identidad emergió porque el aprendizaje de la lengua, por sí solo, no explicaba aquello que sucedía. Un estudiante podía conocer contenidos y, aun así, limitar su participación por miedo, vergüenza o sensación de no pertenecer. También podía encontrar en una nueva lengua posibilidades para estudiar, interactuar, representar a su comunidad o proyectarse profesionalmente. Esta complejidad llevó a comprender la identidad como una elaboración que se produce en la relación entre dimensiones internas y externas del ser.

En esencia, los resultados mantienen la respuesta construida en la tesis: identidad en primera lengua, identidad en segunda lengua e identidad en lengua extranjera se encuentran, a su vez, constituidas por dimensiones personales, grupales y culturales. La interacción, la construcción de conocimiento e identidad y el posicionamiento permiten comprender los movimientos entre estas dimensiones. Así, el tránsito por diferentes lenguas y espacios no genera una secuencia en la cual una identidad reemplaza a la anterior; produce encuentros, tensiones, negociaciones y nuevas posibilidades de reconocimiento.

3.5. Conclusiones

La reconstrucción reflexiva de esta experiencia investigativa permite regresar al origen de una pregunta que surgió dentro de la práctica docente y que posteriormente encontró en la

investigación narrativa una posibilidad para ser comprendida. La inquietud inicial estaba relacionada con las dificultades que algunos estudiantes indígenas enfrentaban dentro de los contextos de aprendizaje de inglés. Sin embargo, al escuchar sus historias y reconstruir experiencias ocurridas en la comunidad, la ciudad, el colegio y la universidad, el problema dejó de estar centrado únicamente en el aprendizaje de una lengua y se desplazó hacia la manera como las personas construyen y reconstruyen quiénes son durante la interacción con diferentes contextos lingüísticos y culturales.

La primera conclusión se mantiene en la existencia de múltiples identidades. Los participantes se reconocieron como individuos mediante sus nombres, preferencias, recuerdos, relaciones, posiciones y aspiraciones. Estas autopercepciones se construyeron dentro de espacios sociales y estuvieron relacionadas con los grupos a los cuales pertenecían. Por esta razón, la identidad individual no apareció separada de la identidad grupal y cultural. La familia, la comunidad Koreguajú, las instituciones educativas y los grupos de compañeros participaron de diferentes maneras en la configuración del ser.

La segunda conclusión corresponde a la existencia de identidad en primera lengua, identidad en segunda lengua e identidad en lengua extranjera. Estas categorías no describen únicamente el conocimiento de tres lenguas. Representan contextos de interacción dentro de los cuales los participantes construyeron experiencias diferentes. L1 se relacionó con la comunidad, la familia, la pertenencia cultural, los conocimientos y los primeros espacios de reconocimiento. L2 estuvo vinculada con la ciudad, la educación formal, la necesidad de comunicarse y el acceso a nuevos grupos. LE apareció dentro de contextos escolares y universitarios de aprendizaje del inglés y, de manera especial para el participante universitario, dentro de un proyecto de formación profesional.

La tercera conclusión está relacionada con el carácter recíproco de estas construcciones. Las identidades no avanzaron de una lengua a otra mediante sustituciones. Los conocimientos construidos en la primera lengua continuaron presentes en los otros contextos y podían ser comunicados mediante el español o el inglés. De la misma manera, las experiencias construidas en la ciudad, el colegio y la universidad regresaban sobre las autopercepciones anteriores y podían modificarlas. Esto permite comprender la construcción de identidad como un proceso permanente de figuración y refiguración del ser.

La cuarta conclusión corresponde al posicionamiento. Las posibilidades de participar cambiaron según el dominio de la lengua, la respuesta de los grupos y el reconocimiento de los conocimientos de los participantes. El aislamiento, la vergüenza, la percepción de discriminación y el miedo a mostrar quién se es estuvieron asociados con posiciones de participación limitada. En contraste, la aceptación, el aprendizaje de la lengua, el reconocimiento cultural y la

posibilidad de expresar conocimientos propios ampliaron las posiciones disponibles dentro de determinados espacios.

La experiencia también reafirma el valor de la investigación narrativa para estudiar construcciones humanas difíciles de reducir a datos aislados. Las conversaciones, entrevistas y materiales visuales permitieron conectar acontecimientos ocurridos en diferentes momentos y reconocer relaciones que no hubieran sido visibles mediante una observación limitada al aula. Los eventos considerados significativos por los propios participantes mostraron que las experiencias lingüísticas estaban acompañadas por recuerdos, sentimientos, conocimientos culturales y relaciones sociales.

De igual forma, volver sobre la tesis permite conservar una precisión importante de la investigación original: no existió una intervención pedagógica y, por tanto, los resultados no permiten afirmar que una estrategia de enseñanza determinada produzca cambios en la identidad de estudiantes indígenas. Lo que la investigación describe son experiencias de dos participantes y las maneras como estas experiencias estuvieron relacionadas con la configuración de sus identidades. Esta delimitación continúa siendo necesaria para no atribuir al estudio alcances que no tuvo.

Finalmente, la reconstrucción de esta experiencia mantiene la respuesta central a la pregunta de investigación: las identidades de los estudiantes indígenas en el contexto estudiado se configuraron como identidad en primera lengua, identidad en segunda lengua e identidad en lengua extranjera, articuladas con identidades individuales, grupales y culturales. La interacción, el conocimiento y el posicionamiento participan en la construcción y reconstrucción de esas identidades.

Volver sobre el proceso permite observar también que la experiencia investigativa nació de una situación concreta de la Amazonia colombiana: estudiantes Koreguajú participando en instituciones educativas de Florencia y transitando entre su lengua materna, el español y el inglés. En ese recorrido, las lenguas no aparecen solamente como sistemas para comunicar mensajes. Se relacionan con lugares, personas, derechos, recuerdos, conocimientos, posibilidades de participación y formas de comprender quién se es. Es precisamente allí donde la experiencia adquiere su sentido: en reconocer que aprender y utilizar otras lenguas puede ampliar los espacios de interacción sin borrar necesariamente aquello que una persona ha construido desde su propia lengua y cultura.

Referencias bibliográficas

- Castañeda, J. (2008). 'I said it!' 'I am first!' Gender and language-learners identities. *Colombian Applies Linguistic Journal*, 10, 112-125.
- Celce-Murcia, M. (2001). Language teaching approaches: An overview. In M. Celce-Murcia (Ed.), *Teaching English as a second or foreign language* (pp. 3-11). Heinle & Heinle Thompson Learning.
- Clandinin, D. J. (2013). Developing qualitative inquiry (Vol. 9). In J. M. Morse (Ed.), *Engaging in narrative inquiry*. Left Coast Press, inc.
- Congreso de Colombia. (1991). Convenio número 169 sobre pueblos tribales y en países independientes (Ley 21 del 4 de marzo de 1991). https://www.mininterior.gov.co/sites/default/files/5_ley_21_de_1991.pdf
- Constitución Política de Colombia [Const.]. Art. 67. 4 de julio de 1991 (Colombia).
- Creswell, J. W. (2014). *Research design*. SAGE Publications, inc.
- Darvin, R., & Norton, B. (2014). *Transnational identity and migrant language learners: The promise of digital storytelling*. <https://core.ac.uk/download/pdf/236151508.pdf>
- Escobar, W. Y., & Gómez, J. C. (2009). Silenced fighters: Identity, language and thought of the Nasa people in bilingual contexts of Colombia. *PROFILE: Issues in Teacher's Professional Development*, 12(2), 125-140. <http://www.scielo.org.co/pdf/prf/v12n1/v12n1a09.pdf>
- Friese, S. (2019). *Atlas.ti.8 windows user manual*. Atlas.ti scientific software. <https://atlasti.com/2017/07/25/atlas-ti-8-windows-user-manual/>
- Frosh, S. (2010). Psychianalitic pesrpectives on identity: From ego to ethics. In M. Wetherell & C. T. Mohanty (Eds.), *The SAGE handbook of identities* (pp. 29-44). SAGE publications Ltd.
- Guerrero, J. M. (2011). Narrative as resource for the display of self and identity: The narrative construction of an oppositional identity. *Colombian Applies Linguistic Journal*, 13(2), 88-99. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So123-46412011000200007
- Hall, S. (1994). Cultural Identity and Diaspora. In P. Williams & L. Chrisman (Eds.), *Colonial discourse and post-colonial theory* (pp. 222-237). Columbia University Press.
- Hamer, J. (2007). *The practice of English language teaching*. Pearson Education Limited.
- International Labor Organization [ILO]. (1957). *C 107 Indigenous and tribal population convention*. https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C107
- Ivanic, R. (2006). Language, learning and identification. In R. Kiely, P. Rea-Dickins, H. Woodfield & G. Clibbon (Eds.), *British studies in applied linguistics: Vol. 2. Language, culture and identity in applied linguistics* (pp. 7-29).
- Joseph, J. E. (1994). *Language and identity: National, ethnic, religious*. Palgraven, Macmillan.

- Kramersch, C. (1998). *Language and culture. Language and cultural identity. A primer* (H. G. Widdowson, Ed.). Oxford University Press.
- Kumar. (2011). *Research methodology: A step-by-step guide for beginner*. SAGE Publication Ltd.
- Macías, D. F., Hernández, W., & Sánchez, A. (2020). Student teachers' identity construction: A socially-constructed narrative in a second language teacher education program. *Teaching and Teacher Educator*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103055>
- Ministerio de Educación Nacional. (2006). *Guía N.º 22 Estándares Básicos de Competencias en Lenguas Extranjeras: Inglés*. https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-115174.html?_noredirect=1
- Ortiz, J. M. (2017). Shaping your identity as a speaker of English: The struggles of a beginner language learner. *Colombian Applies Linguistic Journal*, 19(2), 250-262.
- Richards, J. C., & Schmidt, R. (2010). *Longman dictionary of language teaching and applied linguistics*. Pearson Education Limited.
- Riessman, C. K. (1993). *Narrative analysis: Vol. 30. Qualitative research series*. SAGE publications, inc.
- Rivas, L. (2013). Returnees' identity construction at a BA TESOL Program in Mexico. *PROFILE: Issues in Teachers' Professional Development*, 15(2), 185-197. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-07902013000200012
- Soler, S. (2012). Between dark black and light brown: Discourses and ethnic identities among afrodescendant boys and girls in school context in Bogotá. *Colombian Applied Linguistics Journal*, 4(1), 146-162.
- United Nations. (2008). *United Nations Declaration of Rights of Indigenous Peoples*. https://www.un.org/esa/socdev/unpfii/documents/DRIPS_en.pdf
- Usma, J., Ortiz, M. J., & Gutierrez, C. (2018). Indigenous students learning English in higher education: Challenges and hopes. *Ikala*, 23(2), 229-254. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ikala/article/view/330989>
- Van Patten, B., & Benati, A. G. (2010). *Key terms in second language acquisition*. Continuum international publishing group.
- Webster, L., & Mertova, P. (2007). *Using narrative inquiry as a research method*. Routledge.
- Wetherell, M., & Mohanty, C. T. (Eds.). (2010). *The SAGE handbook of identities*. https://books.google.com.co/books?id=BAncvcmzylQC&printsec=frontcover&hl=es&authuser=0&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Wortham, S. (2006). *Learning identity: The joint emergence of social identification and academic learning*. Cambridge University Press.

Capítulo IV

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO REFUERZO SOSTENIBLE DE MATRICES TERMOPLÁSTICAS

4. VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO REFUERZO SOSTENIBLE DE MATRICES TERMOPLÁSTICAS

VALORIZATION OF AGRICULTURAL RESIDUES AS SUSTAINABLE REINFORCEMENT OF THERMOPLASTIC MATRICES

Mauricio Espitia-Sibaja

*Químico, Magíster en Ciencias Químicas, Doctorando en Ciencias Naturales y Desarrollo Sustentable
Docente Investigador de la Universidad de la Amazonía*

h.espitia@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0009-0002-8635-9307>

Paola Villegas-Guzman

*Química, Magíster en Ciencias Químicas, Doctora en Ciencias Químicas
Docente Investigador de la Universidad de la Amazonía*

p.villegas@udla.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-3849-8209>

Carlos Andrés García-Negrete

*Químico, Magíster en Ciencias Químicas, Doctor en Ciencia y Tecnología de Nuevos Materiales
Docente Investigador de la Universidad del Sinú*

carlosgarcian@unisnu.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0001-7985-7995>

RESUMEN

Los residuos agroindustriales lignocelulósicos constituyen una fuente renovable de celulosa con potencial para la obtención de refuerzos nanométricos destinados a matrices poliméricas. En este estudio se aislaron nanofibras de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar y residuos sólidos de fique, mediante extracción de compuestos grasos, deslignificación con clorito de sodio a pH controlado, tratamiento alcalino, sonicación, liofilización y molienda mecánica. La composición de las materias primas y la evolución estructural, morfológica y térmica de las fibras se evaluaron mediante análisis bromatológico, espectroscopia infrarroja, difracción de rayos X, microscopías SEM y TEM y análisis termogravimétrico. Las nanofibras presentaron diámetros entre 25 y 60 nm y conservaron regiones cristalinas características de la celulosa. El bagazo de caña mostró mayor contenido de celulosa y menor proporción de lignina que el residuo de fique, lo que favoreció un rendimiento de aislamiento superior. Las nanofibras derivadas del bagazo se incorporaron en polipropileno mediante mezclado en fundido, utilizando oligómeros funcionalizados con anhídrido maleico o ácido itacónico, y en polietileno mediante polimerización in situ con catalizador metalocénico. En polipropileno, una carga del 5 % p/p elevó el módulo elástico hasta 30 % y la resistencia a la tracción hasta 15 %, además de desplazar la temperatura máxima de degradación aproximadamente 6 °C. En polietileno no se observaron mejoras mecánicas consistentes, atribuibles a la baja compatibilidad interfacial. Los resultados

demuestran que el desempeño de la nanocelulosa depende tanto de su morfología como del control de la interfase con la matriz.

Palabras clave: nanocelulosa; residuos agroindustriales; bagazo de caña de azúcar; fique; nanocompuestos; polipropileno; polietileno.

ABSTRACT

Lignocellulosic agro-industrial residues are a renewable source of cellulose with potential for obtaining nanometric reinforcements for polymer matrices. In this study, cellulose nanofibers were isolated from sugarcane bagasse and solid fique residues through extraction of fatty compounds, delignification with sodium chlorite at controlled pH, alkaline treatment, sonication, freeze-drying, and mechanical milling. The composition of the raw materials and the structural, morphological, and thermal evolution of the fibers were evaluated through bromatological analysis, infrared spectroscopy, X-ray diffraction, SEM and TEM microscopy, and thermogravimetric analysis. The nanofibers had diameters between 25 and 60 nm and retained the crystalline regions characteristic of cellulose. Sugarcane bagasse showed a higher cellulose content and a lower lignin proportion than fique residue, which favored a higher isolation yield. The bagasse-derived nanofibers were incorporated into polypropylene by melt blending, using oligomers functionalized with maleic anhydride or itaconic acid, and into polyethylene by in situ polymerization with a metallocene catalyst. In polypropylene, a 5 wt% loading increased the elastic modulus by up to 30% and the tensile strength by up to 15%, in addition to shifting the maximum degradation temperature by approximately 6 °C. In polyethylene, no consistent mechanical improvements were observed, attributable to low interfacial compatibility. The results show that nanocellulose performance depends both on its morphology and on control of the interface with the matrix.

Keywords: nanocellulose; agro-industrial residues; sugarcane bagasse; fique; nanocomposites; polypropylene; polyethylene.

4.1. Introducción

Los materiales con al menos una dimensión inferior a 100 nm pueden exhibir propiedades diferentes de sus equivalentes micrométricos debido a su elevada relación superficie volumen y a los cambios en los mecanismos de interacción entre fases (Buzea et al., 2007; Zhang y Webster, 2009). En el campo de los compósitos, esta característica permite emplear cantidades reducidas de una fase dispersa para modificar la rigidez, la resistencia, la estabilidad térmica o las propiedades de barrera de una matriz polimérica (Ajayan y Schadler, 2003; Manias, 2007).

La celulosa es un homopolisacárido lineal de unidades de D glucosa enlazadas mediante enlaces β 1,4 glucosídicos. La extensa red de enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares organiza segmentos altamente ordenados y confiere a las microfibrillas vegetales elevada rigidez específica. Las paredes celulares contienen, además, hemicelulosa, lignina, pectinas, ceras y sustancias extractivas, cuya proporción depende de la especie y condiciona el aislamiento de la fracción celulósica (Eichhorn y Baillie, 2001; Maya y Sabu, 2008).

La valorización de residuos de fique y de bagazo de caña de azúcar resulta particularmente atractiva en contextos agrícolas donde estos subproductos se generan de manera continua. Su transformación en nanofibras no solo reduce la carga de residuos, sino que ofrece un refuerzo ligero, renovable y potencialmente biodegradable. Se han aislado estructuras celulósicas a partir de rutabaga, trigo, soya, sisal, maíz y otras fuentes vegetales mediante combinaciones de deslignificación, hidrólisis alcalina y desintegración mecánica (Bhatnagar y Sain, 2005; Reddy y Yang, 2005; Wang y Sain, 2007; Morán et al., 2008; Sain y Alemdar, 2008).

En el departamento del Caquetá, perteneciente a la región amazónica colombiana, la caña panelera constituye un componente importante de la economía campesina y de los sistemas productivos rurales. La información institucional del departamento registra 3998 ha sembradas con caña panelera y reconoce la panela como el principal producto transformado de la economía campesina. Esta actividad sostiene a familias productoras y participa en la dinámica económica de varios municipios; por ejemplo, en Belén de los Andaquíes numerosas unidades rurales se dedican a la siembra de caña panelera y cultivos de pancoger (Gobernación del Caquetá, s. f.; Gobernación del Caquetá, 2025). El volumen de cultivo y transformación genera cantidades apreciables de bagazo y otros residuos lignocelulósicos. Sin embargo, una parte importante de estos materiales no se aprovecha mediante procesos de transformación con valor agregado y suele acumularse, quemarse o destinarse a usos de baja eficiencia. Su conversión en nanofibras de celulosa ofrece una alternativa para vincular la gestión de residuos con el desarrollo de materiales de mayor valor tecnológico.

La incorporación de nanocelulosa en termoplásticos presenta, sin embargo, un problema interfacial. La superficie rica en grupos hidroxilo es polar e hidrofílica, mientras que poliolefinas como el polipropileno y el polietileno son predominantemente apolares. Sin una estrategia de compatibilización, las nanofibras tienden a agregarse y la transferencia de carga desde la matriz se vuelve ineficiente. Los polímeros funcionalizados con grupos polares pueden actuar como puentes entre ambas fases y mejorar la dispersión y la adhesión interfacial (Mohanty et al., 2002; Salas y Mondragón, 2005; Moncada et al., 2006).

Este capítulo analiza de forma integrada el aislamiento de nanofibras de celulosa desde residuos de fique y caña de azúcar, su caracterización fisicoquímica y su aplicación en matrices de

polipropileno y polietileno. La discusión se centra en la relación entre composición de la biomasa, eficiencia del tratamiento, morfología de las nanofibras, compatibilidad interfacial y respuesta mecánica y térmica de los nanocompuestos.

4.2. Metodología

4.2.1. Materias primas y reactivos

Se emplearon residuos de bagazo de caña de azúcar *Saccharum officinarum* y residuos sólidos de fique *Furcraea bedinghausii*. Las muestras se transportaron en bolsas selladas y se conservaron a 5 °C. Para el aislamiento se utilizaron tolueno, etanol absoluto, hidróxido de sodio, tetraborato de sodio decahidratado y clorito de sodio. Para los compósitos se emplearon polipropileno isotáctico comercial, oligómeros de PP funcionalizados con anhídrido maleico o ácido itacónico y, en la síntesis de polietileno, etileno, metilaluminoxano y bis n butilciclopentadienil dicloruro de circonio.

4.2.2. Caracterización inicial y aislamiento de nanofibras

La composición de las materias primas se determinó mediante fibra detergente ácido, fibra detergente neutro y lignina por métodos de Van Soest basados en AOAC 973.18 y AOAC 2002.04. El contenido graso se obtuvo por extracción Soxhlet. Para el aislamiento, los residuos se cortaron en fragmentos de 7 a 10 cm, se lavaron, se secaron a 80 °C durante 24 h y se desgrasaron durante 6 h con una mezcla tolueno etanol 2 a 1 v v.

La deslignificación se efectuó con NaClO₂ al 1 % v v en medio tamponado a pH 4 y agitación de 700 rpm durante 4 h. La hemicelulosa se removió mediante NaOH al 17,5 % p v, a 700 rpm durante 72 h, de acuerdo con una adaptación de Bhatnagar y Sain (2005). Después de cada etapa, las muestras se neutralizaron, se lavaron con agua destilada, se sonicaron durante 15 min a 60 Hz y se liofilizaron a 10⁻³ torr. La fracción celulósica seca se criocongeló con nitrógeno líquido y se sometió a molienda planetaria a 300 rpm durante 3 h.

4.2.3. Preparación de nanocompuestos de polipropileno

Las nanofibras obtenidas del bagazo de caña se incorporaron en polipropileno por mezclado en fundido. Primero se preparó un concentrado maestro de nanofibras y compatibilizante en relación 1 a 3. El compatibilizante se fundió a 185 °C y 90 rpm durante 3 min; después se adicionaron las nanofibras y se mezclaron durante 5 min. A partir del concentrado se formularon compósitos con 1, 3 y 5 % p p de nanofibras. El procedimiento se realizó por separado con PP funcionalizado con anhídrido maleico y con ácido itacónico.

4.2.4. Preparación de nanocompuestos de polietileno

El polietileno patrón se sintetizó en un reactor Parr de 400 mL con 3×10^{-6} mol de catalizador metalocénico y metilaluminoxano en relación molar Al Zr de 1500. La reacción se desarrolló a 60 °C, 1000 rpm y 2 bar de etileno durante 30 min. Para la polimerización in situ, las nanofibras se dispersaron en tolueno mediante sonicación durante 45 min y se incorporaron en proporciones de 1, 3 y 5 % p p antes de alimentar el etileno. El producto se precipitó con HCl etanólico, se filtró, lavó y secó.

4.2.5. Técnicas de caracterización

Los cambios químicos se siguieron por FTIR y la organización estructural mediante difracción de rayos X. La morfología se examinó por SEM y TEM; para TEM se utilizó acetato de uranilo como contraste. La estabilidad térmica se evaluó por TGA. Las propiedades mecánicas se determinaron mediante ensayos de tracción sobre probetas de PP de 80 mm de longitud y 1,5 mm de espesor, con adaptación de ASTM D638, y probetas de PE de 30 mm de longitud y 0,4 mm de espesor. Se reportaron módulo de elasticidad y resistencia a la tracción con sus desviaciones estándar.

4.3. Resultados y discusión

4.3.1. Composición de los residuos y eficiencia del aislamiento

La Tabla 1 presenta la composición química de las materias primas evaluadas, específicamente el bagazo de caña y los residuos de fique, a partir de los contenidos de fibra detergente ácido, fibra detergente neutro, lignina y celulosa. Los resultados muestran que ambas materias primas poseen una proporción importante de componentes lignocelulósicos. El bagazo de caña presentó 42,7 % de celulosa y 8,06 % de lignina, mientras que el residuo de fique contenía 38,1 % de celulosa y 13,3 % de lignina. Aunque ambas materias primas mostraron una fracción celulósica suficientemente alta para su valorización, la menor concentración de lignina del bagazo redujo la severidad práctica de la deslignificación. El contenido graso fue de 0,50 % para el bagazo y 4,80 % para el fique, por lo que la extracción de compuestos solubles fue especialmente relevante para este último. Estas diferencias evidencian una variación en la estructura y composición de los residuos, aspecto relevante para determinar su comportamiento durante los procesos de transformación, aprovechamiento o valorización. En este sentido, la Tabla 1 permite establecer una base comparativa para interpretar la reactividad, la disponibilidad de fracciones estructurales y el potencial de uso de ambas materias primas.

La diferencia composicional se reflejó en el rendimiento global: cerca de 8 % para bagazo y 2 % para fique. Estas cifras corresponden al material recuperado después de una secuencia de

extracción, oxidación, hidrólisis, lavados y separación mecánica, y no deben confundirse con el contenido inicial de celulosa. La pérdida de finos durante los lavados, la mayor resistencia estructural del fique y su contenido superior de lignina contribuyeron al menor rendimiento. Desde una perspectiva de escalado, el bagazo representa la materia prima más favorable de las dos, aunque el bajo rendimiento global indica que deben optimizarse la recuperación de sólidos y el consumo de reactivos.

Tabla 1. Composición química de las materias primas.

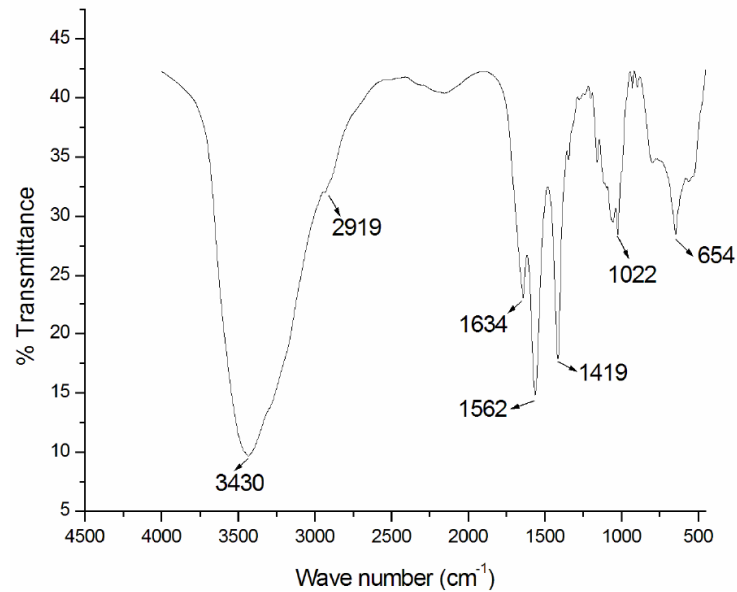
Análisis	Bagazo de caña (%)	Residuos de fique (%)
Fibra detergente ácido	50,8	51,4
Fibra detergente neutro	73,7	48,4
Lignina	8,06	13,3
Celulosa	42,7	38,1

4.3.2. Evidencia estructural y morfológica del aislamiento

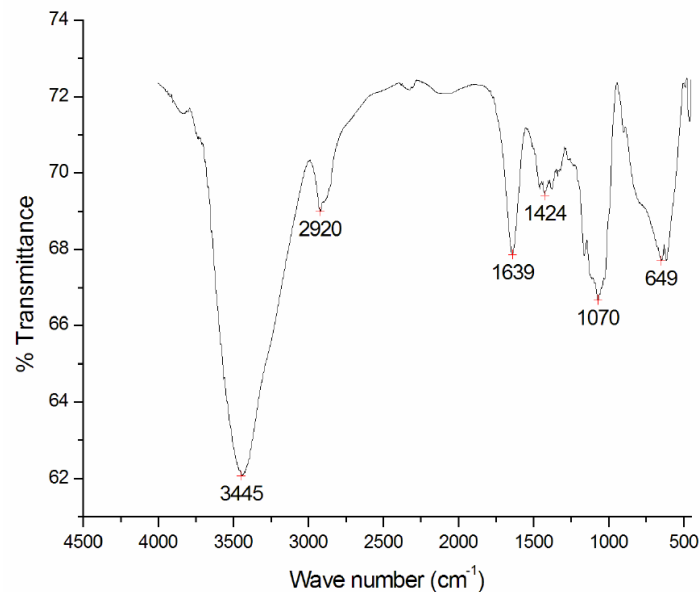
En los espectros FTIR de las materias primas aparecieron señales asociadas con la lignina: tensión C=C del esqueleto aromático alrededor de 1562 cm^{-1} en bagazo y una banda intensa próxima a 1420 cm^{-1} atribuida a grupos metoxi. La desaparición o marcada reducción de estas señales después del tratamiento con NaClO_2 y NaOH confirmó la remoción de estructuras fenólicas. Las bandas cercanas a 1632 a 1639 cm^{-1} se asociaron con flexión O H de agua adsorbida, mientras que la señal en torno a 2920 cm^{-1} correspondió a enlaces C H alifáticos de los polisacáridos. La similitud química entre celulosa y hemicelulosa limita la capacidad del FTIR para cuantificar por sí solo la eliminación de hemicelulosa; por ello, la interpretación se apoyó en la composición y en la observación microscópica (Reddy y Yang, 2005; Morán et al., 2008).

La comparación de los espectros de la Figura 1 permite seguir directamente la selectividad del tratamiento. En el bagazo sin tratar, las señales a 1562 y 1419 cm^{-1} evidencian la contribución aromática y metoxilada de la lignina. Después de la oxidación y la hidrólisis alcalina estas bandas dejan de ser claramente distinguibles, mientras se conservan la banda ancha de estiramiento O H alrededor de 3445 cm^{-1} , la tensión C H próxima a 2920 cm^{-1} y la región de 1070 cm^{-1} asociada con enlaces C O de los polisacáridos. La conservación de estas últimas señales indica que el proceso eliminó preferentemente componentes no celulósicos sin suprimir la estructura glucosídica principal. No obstante, FTIR aporta evidencia cualitativa; la ausencia de una banda no equivale por sí sola a una remoción total, porque la superposición de señales y los cambios de línea base pueden disminuir su intensidad.

Figura 1. Espectros FTIR del bagazo de caña antes del tratamiento y de la fracción obtenida después de la oxidación y el tratamiento alcalino.



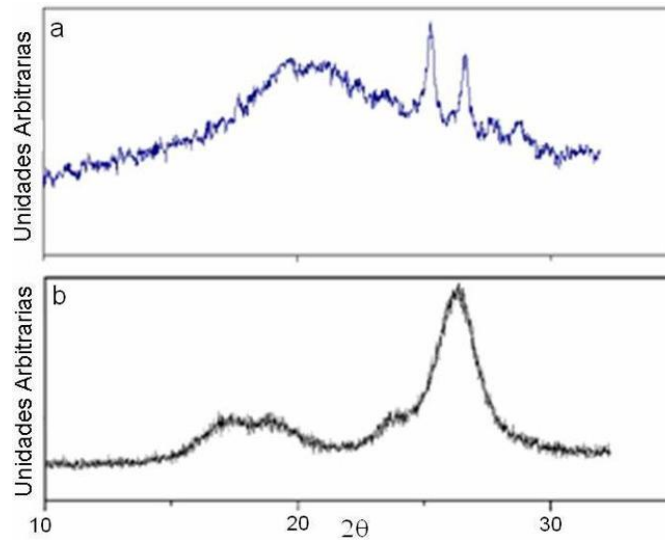
a. Bagazo de caña de azúcar sin tratamiento químico.



b. Bagazo de caña de azúcar tratado con oxidante fuerte y con solución alcalina

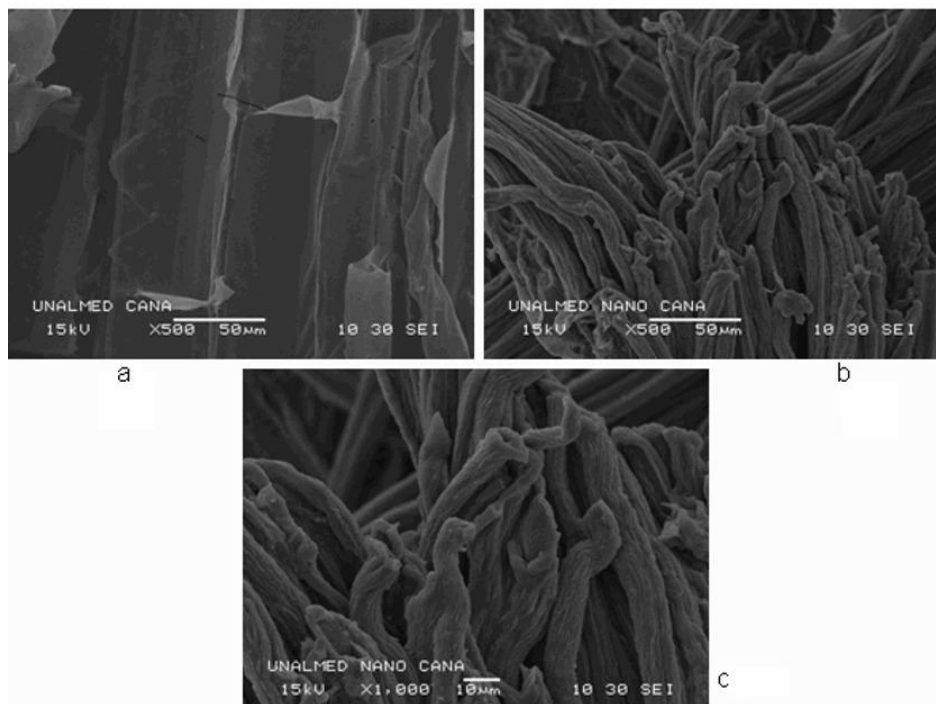
Por otra parte, el patrón de difracción de las nanofibras de bagazo mostró una contribución amorfa entre 18° y 20° y máximos definidos alrededor de 26° y 27° , relacionados con regiones ordenadas de la celulosa. La persistencia de estas reflexiones después del tratamiento indica que la eliminación de lignina y hemicelulosa no destruyó por completo la organización cristalina. Este aspecto es determinante porque las regiones cristalinas contribuyen a la rigidez intrínseca del refuerzo (Kolpak y Blackwell, 1976; Takahashi y Matsuda, 1991; Takahashi et al., 2004).

Figura 2. Difractogramas de las nanofibras obtenidas del bagazo de caña y de una celulosa comercial de referencia reportada por Morán et al. (2008).



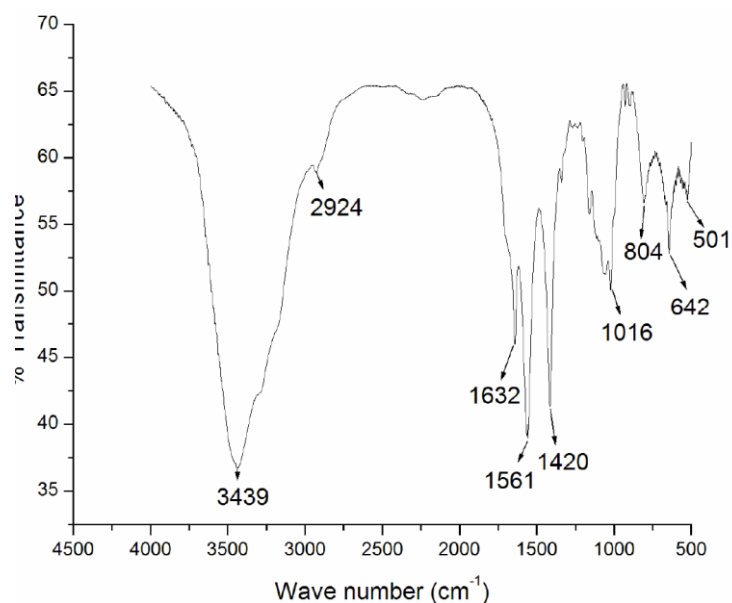
La Figura 2 muestra que la muestra aislada conserva simultáneamente dominios desordenados y regiones con mayor empaquetamiento. La contribución amplia entre 18° y 20° se relaciona con la fracción amorfa, mientras que los máximos próximos a 26° y 27° se asignaron en la tesis a dominios cristalinos de celulosa. La semejanza general con el patrón de referencia respalda la naturaleza celulósica del sólido. Sin embargo, debido a que no se calculó un índice de cristalinidad ni se realizó refinamiento estructural, el resultado debe interpretarse como confirmación cualitativa de orden estructural y no como una medida cuantitativa del aumento de cristalinidad.

Figura 3. Evolución morfológica del bagazo de caña: material sin tratar y microfibrillas individualizadas después de la deslignificación y el tratamiento alcalino.

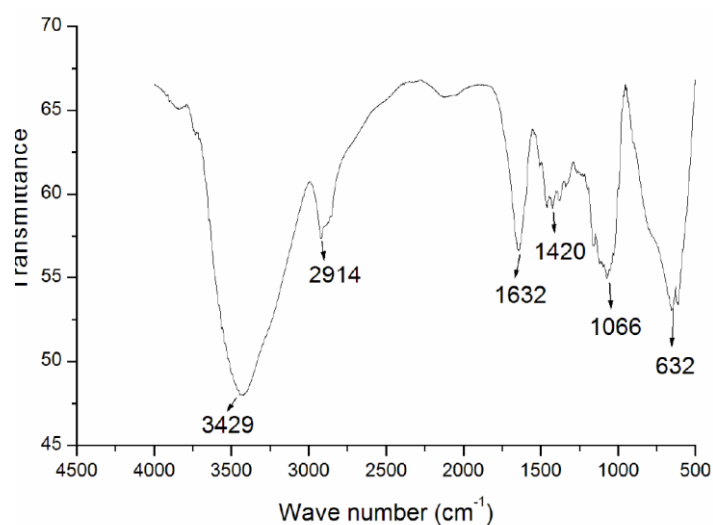


Las micrografías SEM evidenciaron el paso desde una estructura compacta, con capas asociadas a la pared celular, hacia haces de microfibrillas progresivamente separados. La TEM confirmó que el tratamiento químico seguido de molienda produjo fibras con diámetros heterogéneos entre 25 y 60 nm y longitudes en la escala micrométrica. Por tanto, la estructura obtenida corresponde a nanofibras por su diámetro, con una relación de aspecto elevada que favorece la formación de una red de refuerzo cuando existe suficiente dispersión. La Figura 3 evidencia esta evolución morfológica del bagazo de caña. La Figura 4 confirma mediante TEM el diámetro nanométrico de las fibras obtenidas.

Figura 5. Espectros FTIR de los residuos de fique antes y después del tratamiento con oxidante y solución alcalina.

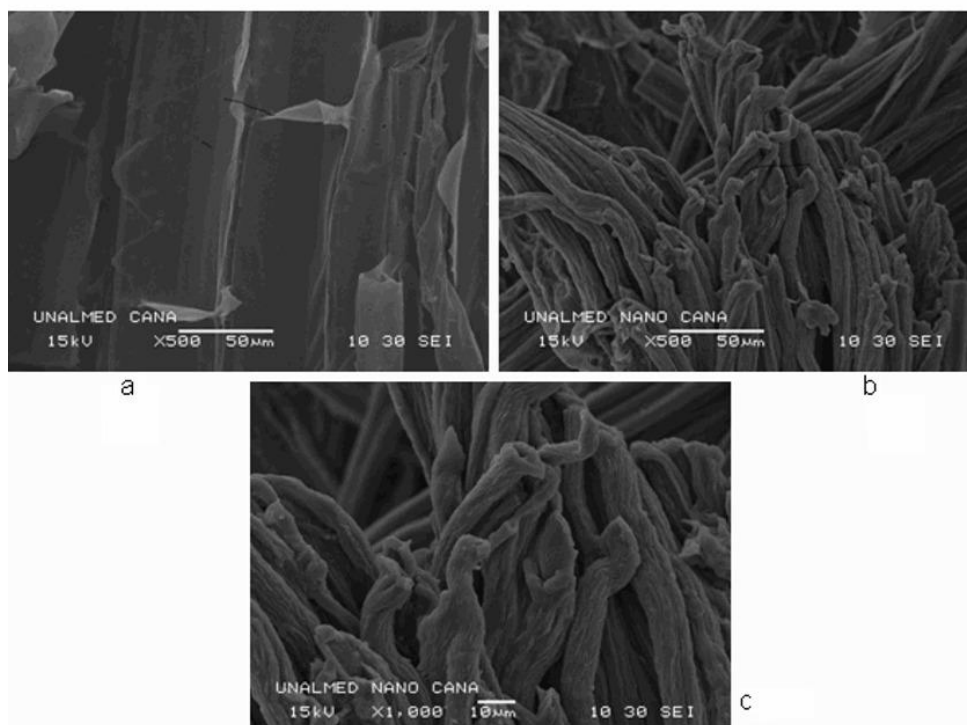


a. Residuos sólidos de fique sin tratamiento químico



El fique mostró una evolución morfológica análoga: la oxidación de la lignina y la hidrólisis alcalina liberaron microfibrillas antes embebidas en la matriz vegetal. También se observaron diámetros entre 25 y 60 nm. La similitud del producto final contrasta con la diferencia de rendimiento y demuestra que la composición inicial determina principalmente la eficiencia del proceso, mientras que el protocolo aplicado puede conducir a morfologías nanométricas comparables. La concordancia entre FTIR y SEM fortalece esta interpretación: la disminución de señales de lignina coincide con la apertura física de la matriz vegetal y la exposición de haces celulósicos. La secuencia morfológica del tratamiento del fique se presenta en la Figura 6.

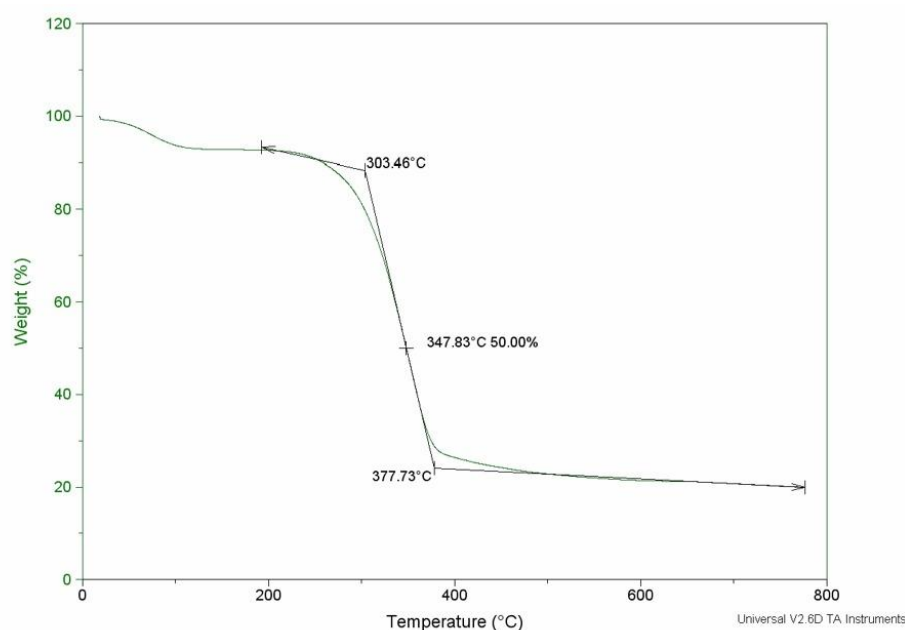
Figura 6. Evolución morfológica de los residuos de fique antes y después de los tratamientos químico y mecánico.



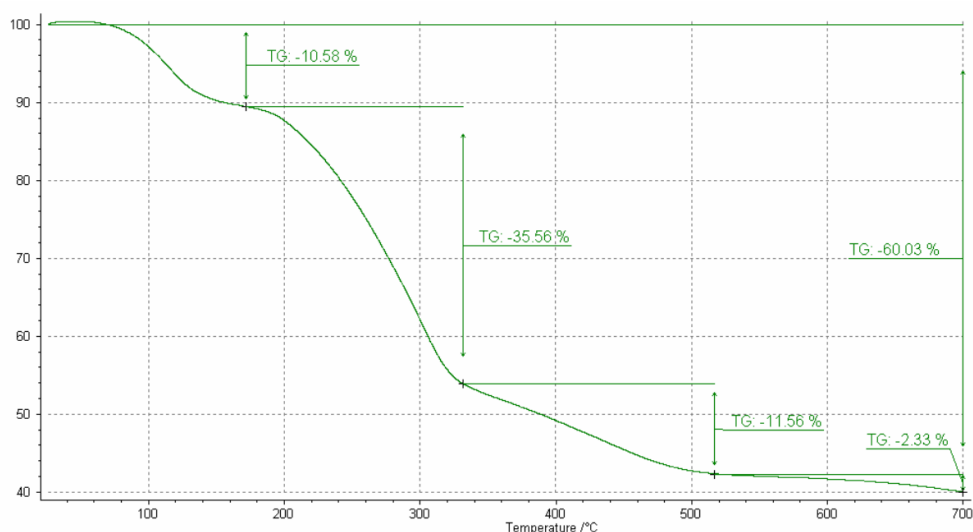
4.3.3. Comportamiento térmico de las nanofibras

Las nanofibras derivadas del bagazo presentaron una pérdida cercana al 7 % por debajo de 100 °C, atribuida a agua adsorbida. La principal etapa de descomposición ocurrió entre 303,5 y 377,7 °C, con una pérdida aproximada de 68 %, y quedó un residuo del orden de 20 % asociado con cenizas y componentes inorgánicos. El inicio de la degradación por encima de 300 °C proporciona una ventana térmica suficiente para el mezclado con PP a 185 °C, aunque la humedad debe controlarse para evitar defectos y reacciones no deseadas durante el procesamiento.

La Figura 7 permite distinguir la desorción de humedad de la descomposición del esqueleto celulósico. La pérdida inicial relativamente pequeña confirma el carácter higroscópico del material, mientras que el descenso principal, concentrado por encima de 300 °C, indica que la mayor parte de la muestra responde como una fase celulósica. El residuo elevado respecto de una celulosa purificada sugiere la presencia de minerales procedentes de la biomasa y posibles residuos inorgánicos del procesamiento; por ello, una etapa de lavado y control de cenizas sería necesaria si el material se destinara a formulaciones donde el color o la pureza fueran críticos.

Figura 7. Curva termogravimétrica de las nanofibras de celulosa obtenidas del bagazo de caña.

El residuo de fique sin tratar exhibió tres regiones: pérdida de humedad de 10,58 % por debajo de 100 °C; una pérdida de 35,56 % entre 180 y 340 °C, asociada principalmente con hemicelulosa y lignina; y una tercera etapa entre 340 y 520 °C relacionada con celulosa y material inorgánico. La diferencia frente a las nanofibras aisladas confirma que la purificación simplificó la respuesta térmica al remover componentes que se degradan en intervalos más amplios.

Figura 8. Curva termogravimétrica del residuo agroindustrial de fique sin tratamiento.

En la Figura 8, la pérdida de 10,58 % asociada con humedad es seguida por una disminución de 35,56 % entre aproximadamente 180 y 340 °C. La amplitud de esta segunda región es coherente con la superposición de procesos de degradación de hemicelulosa y lignina, componentes con distribuciones estructurales heterogéneas. La pérdida adicional de 11,56 %

hasta cerca de 520 °C y el residuo final alto muestran que el fique sin tratar conserva una fracción térmicamente resistente y material inorgánico. Frente a la curva de las nanofibras de bagazo, la respuesta del fique inicial es más escalonada, lo cual evidencia por qué la purificación previa es indispensable antes de emplearlo como refuerzo termoplástico.

4.3.4. Nanocompuestos de polipropileno

4.3.4.1. Respuesta mecánica y efecto del compatibilizante

La incorporación de nanofibras compatibilizadas modificó la respuesta del PP de manera dependiente de la concentración. Con PP funcionalizado con anhídrido maleico, una carga de 1 % produjo cambios pequeños; a 3 %, el módulo aumentó de 1330 a 1522 MPa y la resistencia de 34,8 a 37,1 MPa; a 5 %, alcanzó 1708 MPa y 40,1 MPa. Estos valores representan incrementos aproximados de 30 % en módulo y 15 % en resistencia respecto al polímero sin refuerzo.

Con ácido itacónico se observó una respuesta más marcada a baja concentración: con 1 % de nanofibras el módulo alcanzó 1507 MPa. A 5 %, el módulo llegó a 1642 MPa y la resistencia a 40,1 MPa. La ventaja del ácido itacónico a 1 % sugiere una interacción interfacial eficiente a baja carga, mientras que el anhídrido maleico produjo el mayor módulo a 5 %. En ambos sistemas, el aumento de rigidez y resistencia es coherente con una transferencia de esfuerzos favorecida por los grupos polares del compatibilizante y la superficie hidroxilada de la celulosa. En términos mecanísticos, no basta con atribuir la mejora al tamaño nanométrico: la adhesión interfacial y la ausencia de aglomerados son condiciones necesarias para aprovechar la elevada relación de aspecto del refuerzo (Mohanty et al., 2002; Moncada et al., 2006). La Tabla 2 resume las propiedades mecánicas de las formulaciones de PP evaluadas.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de PP y nanocompuestos compatibilizados.

Compatibilizante	Nanofibras (%)	Módulo elástico (MPa)	Resistencia (MPa)
PP sin Refuerzo	0	1330 ± 20,1	34,8 ± 0,2
Anhídrido maleico	1	1359 ± 45,2	35,9 ± 0,6
Anhídrido maleico	3	1522 ± 55,4	37,1 ± 0,5
Anhídrido maleico	5	1708 ± 90,6	40,1 ± 0,7
Ácido itacónico	1	1507 ± 88,5	35,9 ± 0,6
Ácido itacónico	3	1578 ± 81,7	37,1 ± 0,5
Ácido itacónico	5	1642 ± 52,0	40,1 ± 0,7

4.3.4.2. Morfología y estabilidad térmica

Las superficies de fractura de los compósitos con anhídrido maleico mostraron una fase relativamente homogénea y sin aglomerados evidentes en las escalas examinadas. En los materiales compatibilizados con ácido itacónico se distinguieron estructuras fibrosas embebidas en la matriz, con una distribución semejante para 1, 3 y 5 %. Estas observaciones respaldan la

relación entre dispersión, adhesión y mejora mecánica, aunque la microscopía de superficie de fractura no permite cuantificar por sí sola la fuerza de adhesión ni descartar agregados por debajo del área observada. La Figura 9 muestra la morfología del sistema compatibilizado con anhídrido maleico, mientras que la Figura 10 presenta el sistema compatibilizado con ácido itacónico.

Figura 9. Micrografías SEM de nanocompuestos de PP con 1, 3 y 5 % de nanofibras compatibilizadas con anhídrido maleico.

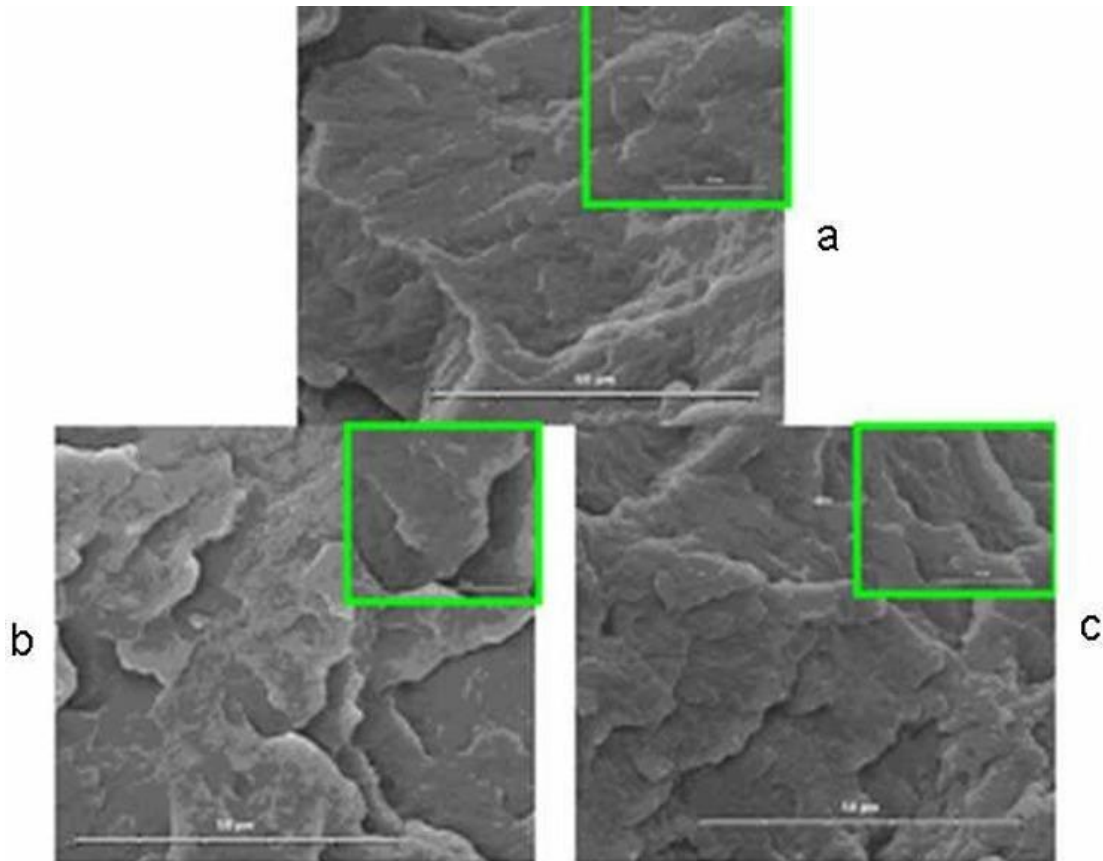
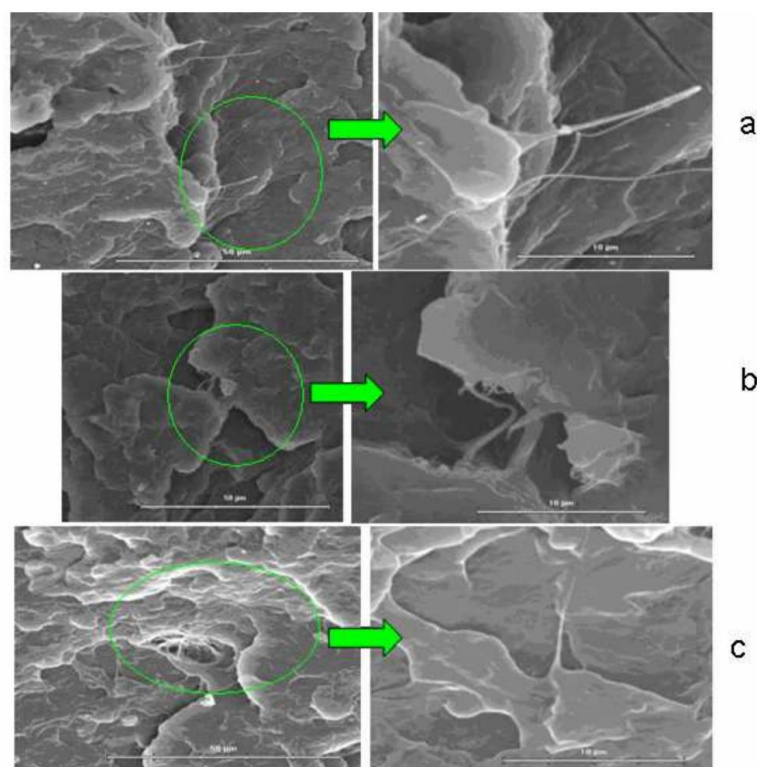


Figura 10. Micrografías SEM de nanocompuestos de PP con nanofibras compatibilizadas con ácido itacónico.



El PP puro inició su degradación cerca de 444 °C y presentó la máxima velocidad de pérdida de masa alrededor de 470 °C. En los nanocompuestos con 1 y 5 % de nanofibras, el inicio se desplazó aproximadamente a 457 °C y la temperatura de máxima degradación a 476 °C. El aumento de unos 6 °C es modesto pero consistente con un efecto de barrera y con restricciones al movimiento de cadenas promovidas por la fase dispersa. La mejora térmica, sumada a la respuesta mecánica, confirma que la interfase funcionalizada produce un efecto distinto al de una simple mezcla física. La comparación termogravimétrica de estos materiales se presenta en la Figura 11.

La derivada de la pérdida de masa permite observar con mayor precisión este desplazamiento. El PP sin refuerzo presentó su máximo a 469,90 °C, mientras que los compósitos con 1 y 5 % alcanzaron 476,23 y 475,31 °C, respectivamente. La cercanía entre ambos compósitos indica que el efecto de estabilización térmica aparece desde 1 % y no aumenta proporcionalmente con la carga. A su vez, la nanocelulosa mostró un máximo independiente alrededor de 351,54 °C. La ausencia de un pico celulósico intenso en los compósitos se explica por su baja proporción y por la superposición con la matriz, no por la desaparición del refuerzo. Los máximos de velocidad de degradación se distinguen con mayor claridad en la Figura 12.

Figura 11. Análisis termogravimétrico comparativo de PP, nanofibras y nanocompuestos con 1 y 5 % de refuerzo.

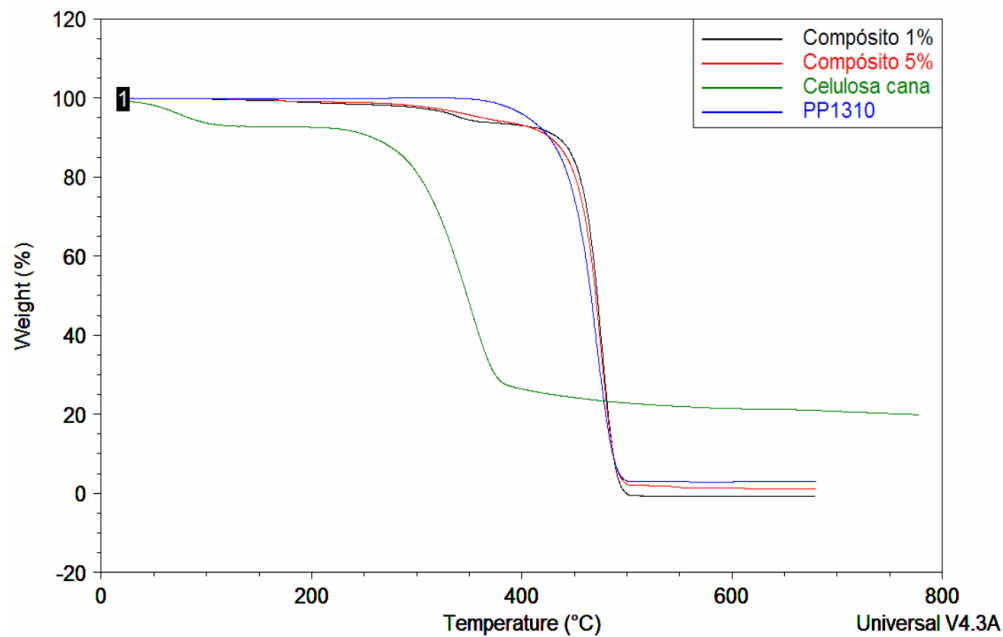
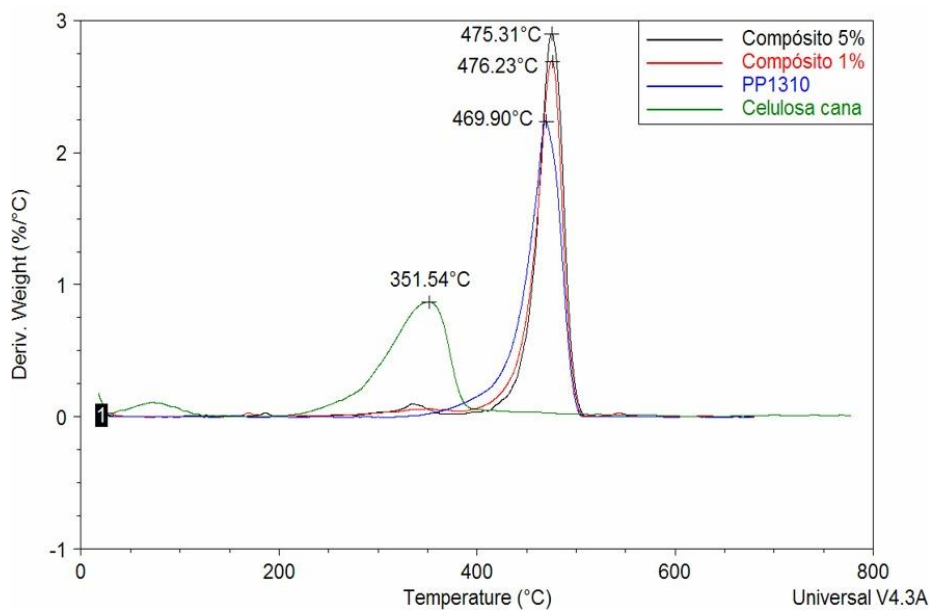


Figura 12. Curvas DTG de PP, nanofibras de celulosa y nanocompuestos con 1 y 5 % de refuerzo.



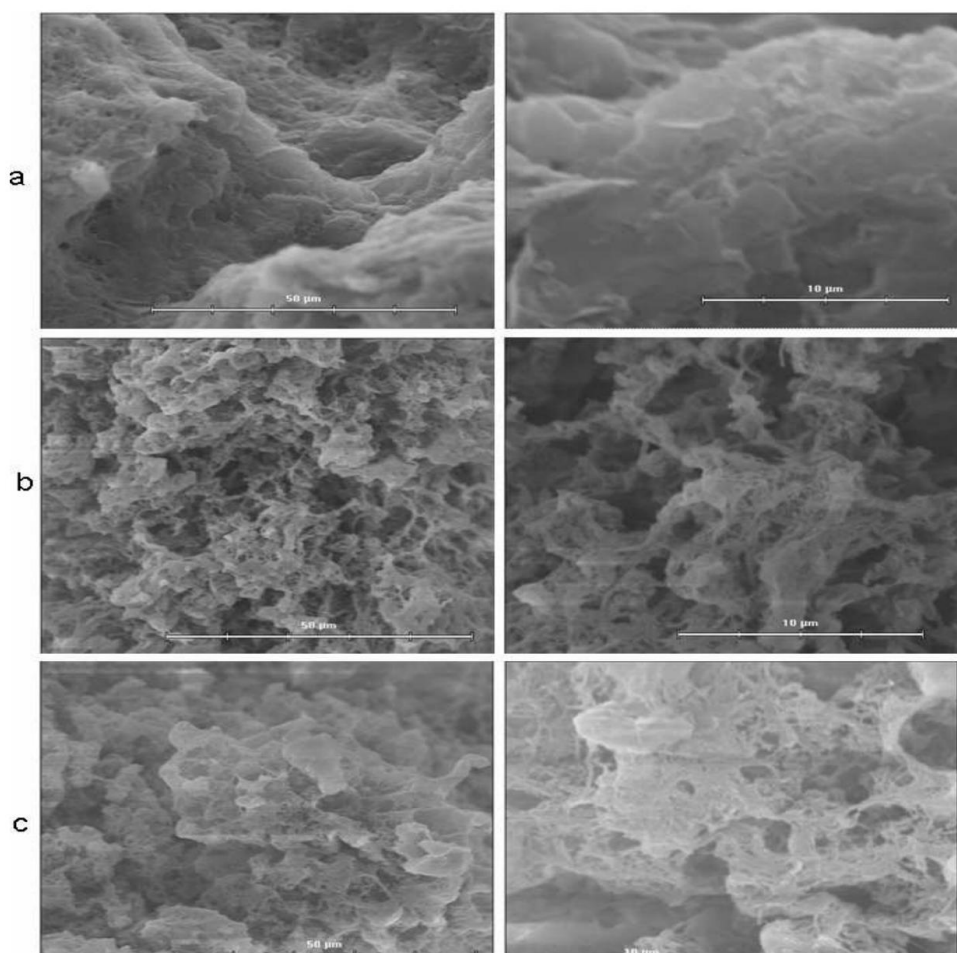
4.3.5. Nanocompuestos de polietileno obtenidos por polimerización *in situ*

La polimerización *in situ* produjo materiales con cambios morfológicos visibles, pero sin una mejora mecánica concluyente. El módulo pasó de 612 MPa para PE a 642, 754 y 666 MPa con 1, 3 y 5 % de nanofibras, respectivamente. Aunque el valor medio a 3 % fue superior, la ausencia de una tendencia monótona y la dispersión experimental impiden interpretarlo como un reforzamiento sostenido. La resistencia se mantuvo entre 24 y 25 MPa en todas las formulaciones. Los resultados mecánicos de todas las formulaciones se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de PE y nanocompuestos obtenidos por polimerización in situ.

Nanofibras (%)	Módulo elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
0	612 ± 13	$24 \pm 0,8$
1	642 ± 35	$25 \pm 0,4$
3	754 ± 41	$25 \pm 0,4$
5	666 ± 53	$24 \pm 0,3$

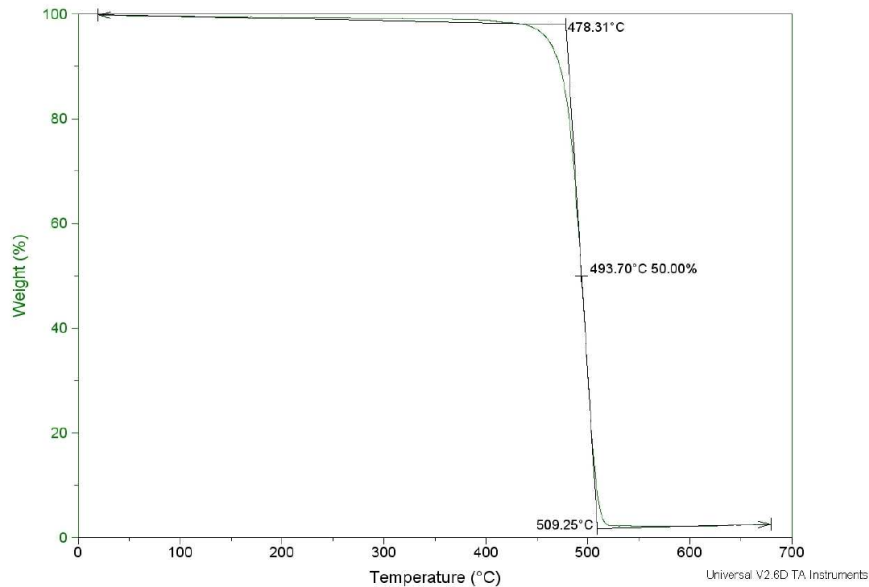
La ausencia de compatibilizante explica la diferencia frente al PP. Aunque la formación de la matriz en presencia de nanofibras favoreció la distribución física, la superficie polar de la celulosa permaneció poco compatible con el PE apolar. Las micrografías mostraron una transición desde una matriz compacta hacia una textura más disgregada a medida que aumentó el contenido de nanofibras. Esta modificación morfológica no se tradujo en transferencia de carga eficiente y, por tanto, dispersión física y adhesión interfacial deben considerarse variables independientes. La evolución de la morfología con el contenido de nanofibras se observa en la Figura 13.

Figura 13. Micrografías SEM de nanocompuestos de PE con 1, 3 y 5 % de nanofibras preparados por polimerización in situ.

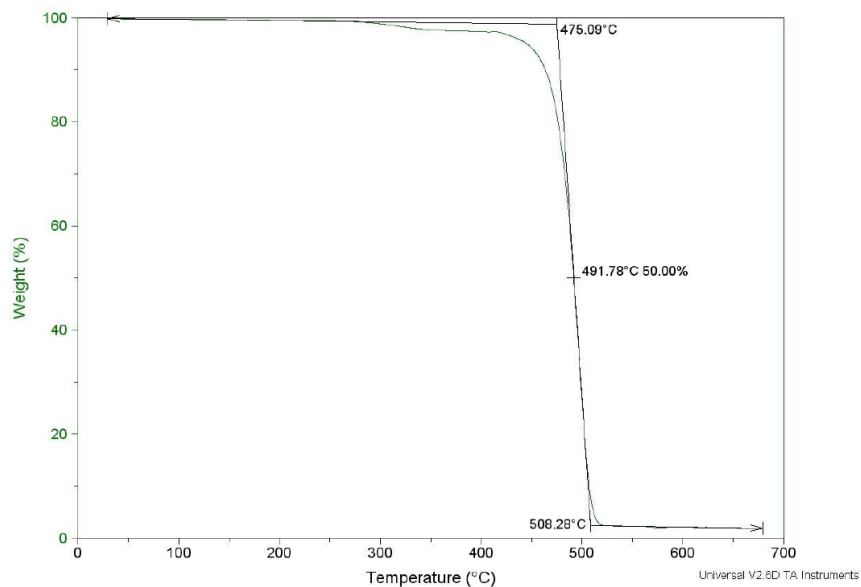
En el TGA, el compuesto con 1 % se degradó principalmente en una sola etapa entre 478 y 509 °C, con una temperatura de 50 % de pérdida cercana a 493 °C. Con 5 % apareció una pérdida pequeña entre 303 y 340 °C, atribuible a la fracción celulósica, pero no hubo un desplazamiento

claro de la degradación principal del PE. Esto refuerza la interpretación de una interfase débil: la nanocelulosa se detecta como fase térmicamente diferenciada, sin modificar de forma sustancial la estabilidad de la matriz.

Figura 14. Curvas TGA de nanocompuestos de PE con 1 y 5 % de nanofibras de celulosa.



a) TGA de nanocompuesto PE-nanofibras de celulosa al 1% p/p



b) TGA de Compósito PE-nanofibras de celulosa al 5% p/p

La comparación de la Figura 14 muestra temperaturas de 50 % de pérdida de 493,70 °C para el compuesto con 1 % y 491,78 °C para el de 5 %. La diferencia de menos de 2 °C no constituye una mejora térmica sistemática y, por el contrario, confirma que aumentar el contenido de nanofibras no generó un efecto de barrera comparable con el observado en PP compatibilizado. La señal

temprana del material con 5 % corresponde a la degradación de la celulosa y hace visible la coexistencia de fases con escaso acoplamiento. Este resultado térmico es consistente con la ausencia de una tendencia mecánica monotónica.

4.3.6. Implicaciones del estudio

En conjunto, los resultados permiten establecer una secuencia causal. La composición de la biomasa controla la eficiencia de purificación; el tratamiento químico mecánico determina la individualización y el diámetro de las fibras; la estabilidad térmica define la compatibilidad con la ventana de procesamiento; y la química interfacial decide si la morfología nanométrica se convierte efectivamente en reforzamiento. El bagazo de caña fue la fuente más eficiente, pero el contraste entre PP compatibilizado y PE sin compatibilizar constituye el hallazgo más relevante: una nanofibra bien aislada no garantiza por sí sola un nanocompósito con mejores propiedades.

La comparación también identifica limitaciones. El estudio empleó rendimientos globales bajos, tamaños de muestra mecánica restringidos y caracterización interfacial principalmente cualitativa. Para avanzar hacia escalado sería necesario optimizar el balance de masa, recuperar finos, reducir la concentración o el tiempo de los tratamientos, cuantificar cristalinidad e índice de dispersión, y evaluar tratamientos superficiales de la nanocelulosa o compatibilizantes reactivos específicos para PE.

4.4. Conclusiones

Se aislaron nanofibras de celulosa con diámetros entre 25 y 60 nm a partir de bagazo de caña de azúcar y residuos sólidos de fique mediante deslignificación oxidativa, tratamiento alcalino y desintegración mecánica. FTIR, difracción de rayos X y microscopía confirmaron la remoción de componentes no celulósicos, la conservación de regiones ordenadas y la individualización de estructuras nanométricas.

El bagazo de caña fue la materia prima más favorable: presentó mayor contenido de celulosa, menor proporción de lignina y un rendimiento de aislamiento aproximado de 8 %, frente a 2 % para el fique. La diferencia demuestra que la selección de la biomasa y la recuperación de sólidos son determinantes para la viabilidad del proceso.

Las nanofibras conservaron estabilidad térmica suficiente para su incorporación en PP por mezclado a 185 °C. En PP compatibilizado, 5 % de nanofibras incrementó el módulo elástico hasta 30 % y la resistencia a la tracción hasta 15 %, además de desplazar la temperatura máxima de degradación cerca de 6 °C. Los resultados se asociaron con una dispersión adecuada y con interacciones entre los grupos polares del compatibilizante y la superficie de celulosa.

La polimerización in situ de PE en presencia de nanofibras no produjo mejoras mecánicas consistentes ni cambios térmicos sustanciales. La distribución física del refuerzo no compensó la incompatibilidad química entre el PE apolar y la celulosa polar. En consecuencia, el control de la interfase es el factor que transforma la nanocelulosa de una fase dispersa en un refuerzo eficaz.

Referencias bibliográficas

- Ajayan, P. M., & Schadler, L. S. (2003). *Nanocomposite science and technology*. Wiley.
- Bhatnagar, A., & Sain, M. (2005). Processing of cellulose nanofiber reinforced composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 24, 1259–1268.
- Buzea, C., Pacheco, I. I., & Robbie, K. (2007). Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*, 2(4), MR17–MR172.
- Eichhorn, S. J., & Baillie, C. A. (2001). Review: Current international research into cellulosic fibres and composites. *Journal of Materials Science*, 36, 2107–2131.
- Gobernación del Caquetá. (s. f.). *Historia del Caquetá*. <https://www.caqueta.gov.co/>
- Gobernación del Caquetá. (2025, 4 de mayo). *Gobernación del Caquetá impulsa la producción de panela en Belén de los Andaquíes con maquinaria agrícola*. <https://www.caqueta.gov.co/>
- Kolpak, F. J., & Blackwell, J. (1976). Determination of the structure of cellulose II. *Macromolecules*, 9, 273–278.
- Manias, E. (2007). Nanocomposites: Stiffer by design. *Nature Materials*, 6, 9.
- Maya, J. J., & Sabu, T. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71, 343–364.
- Mohanty, A. K., Drzal, L. T., & Misra, M. (2002). Engineered natural fiber reinforced polypropylene composites: Influence of surface modifications and novel powder impregnation processing. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 16, 999–1015.
- Moncada, E., Quijada, R., Lieberwirth, I., & Yazdani-Pedram, M. (2006). Use of polypropylene grafted with itaconic acid as a new compatibilizer for polypropylene clay nanocomposites. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 207, 1376–1386.
- Morán, J. I., Álvarez, V. A., Cyras, V. P., & Vázquez, A. (2008). Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. *Cellulose*, 15, 149–159.
- Reddy, N., & Yang, Y. (2005). Structure and properties of high-quality natural cellulose fibers from cornstalks. *Polymer*, 46, 5494–5500.
- Sain, M., & Alemdar, A. (2008). Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues: Wheat straw and soy hulls. *Bioresource Technology*, 99, 1664–1671.
- Salas, P., & Mondragón, I. (2005). Influencia del compatibilizante sobre las propiedades mecánicas en aleaciones de PA/PP. *Anales de Mecánica de la Fractura*, 22, 459–463.

- Suhara, P., & Sain, M. (2007). Agro-residue-reinforced high-density polyethylene composites: Fiber characterization and analysis of composite properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38, 1445–1454.
- Takahashi, N., Matsuo, M., & Kondo, T. (2004). All-cellulose composite. *Macromolecules*, 37, 7683–7687.
- Takahashi, Y., & Matsuda, H. (1991). Crystal structure of native cellulose. *Macromolecules*, 24, 3968–3969.
- Wang, B., & Sain, M. (2007). Isolation of nanofibers from soybean source and their reinforcing capability on synthetic polymers. *Composites Science and Technology*, 67, 2521–2527.
- Zhang, L., & Webster, T. J. (2009). Nanotechnology and nanomaterials: Promises for improved tissue regeneration. *Nano Today*, 4, 66–80.

CICI

CENTRO DE INVESTIGACIONES
Y CAPACITACIONES
INTERDISCIPLINARES

CIENCIA Y SOCIEDAD EN TRANSFORMACIÓN:

INVESTIGACIONES SOBRE
ECONOMÍA, TECNOLOGÍA,
CULTURA Y SOSTENIBILIDAD

Compilador:

Alain Fitzgerald Castro Alfaro

Autores:

Alexandra Forero Mendoza
Dora Lilia Garrido Hurtado
Enna Alexandra Valderrama Cardona
Libardo Ramón Polanía
Nadia Viviana Parra Joven
Verenice Sánchez Castillo
Lia Cristina Gordillo Triana
Juan David Popov Zanabria
David Fernando Roa Barrera
Mauricio Espitia-Sibaja
Paola Villegas-Guzman
Carlos Andrés García-Negrete



ISBN: 978-628-97948-2-3