



**UNIVERSIDAD  
LIBRE®**  
Vigilada Mineducación

# INGENIO LIBRE

Universidad Libre - Facultad de Ingeniería  
Año 15 - ISSN 2322-8415

No. **23**  
VOL. 13



**Con las aulas abiertas a todos,  
se construye la nueva nación**





**UNIVERSIDAD LIBRE®**

Vigilada Mineducación

Jorge Alarcón Niño  
**Presidente Nacional**

Jorge Gaviria Liévano  
**Vicepresidente**

Édgar Ernesto Sandoval  
**Rector Nacional**

César López Meza  
**Rector Seccional**

Nidia María Jirado Tajan  
**Decana de la Facultad de Ingeniería**

Ricardo Santa Quintero  
**Editor Revista Ingenio Libre**



# EDITORIAL

Vol. 13 Núm. 23 (2024): Ingenio Libre No. 23 - 2024-1

*“Con las aulas abiertas a todos, se construye la nueva nación” -  
Tomado del Himno de la Universidad Libre\**

La investigación universitaria presenta sus avances desde la Facultad de Ingeniería para someter al escrutinio público este nuevo número de la revista *Ingenio Libre*, como una forma de llevar las ideas al debate ciudadano en ámbito nacional con lo cual se busca fortalecer el lema *con las aulas abiertas a todos, se construye la nueva nación\**. Convencidos de la importancia de que las ideas se difundan y discutan ampliamente para lograr consensos y concentrar fuerzas en los más altos objetivos de la sociedad, la presente edición incluye disertaciones jurídicas sobre medioambiente, diseños de procesos para la gestión de información en sistemas descentralizados, resultados de la aplicación de modelos predictivos sobre contaminación atmosférica, propuesta de modelos para la visión por computador, modelo de innovación social aplicada al agro y caracterización de sistemas operativos de interfaz tridimensional que favorecen la inclusión y la accesibilidad.

Este número, dedicado completamente a las investigaciones desde el área de ingeniería, publica trabajos realizados por estudiantes de la Universidad Libre y también de otras universidades, con lo cual se guarda fidelidad a los ideales Unilibristas, pues esta revista afirma que *la vida anima a la ciencia y que la ciencia en la vida sí está\**, conscientes de que cuando el saber y el hacer se unen, generan cambios en todos los ámbitos de la sociedad.

*Ingenio Libre* abre una ventana para la difusión de los resultados del quehacer uni-

versitario, con lo cual se da continuidad, con firmeza, a los 7 años de publicaciones y 23 números, incluido el presente, ahora con énfasis en los temas de ingeniería ambiental, ingeniería mecánica, ingeniería industrial e ingeniería de sistemas.

El presente ejemplar es una invitación a docentes, estudiantes y administrativos para que expresen sus ideas, resultados de investigación, trabajos de aula y racionalización de conocimiento en esta, su revista *Ingenio Libre*.

El comité editorial de la revista ha establecido altos niveles de calidad para la aceptación de artículos, incluyendo claridad, precisión, rigor metodológico, objetividad, fundamentación teórica, evidencia empírica sólida, organización lógica, citas y referencias adecuadas, estilo formal y objetivo y contribución al conocimiento que se resumen en rigurosidad investigativa y científica en cada uno de los escritos que se publican. Las revisiones se realizan siguiendo el método de doble ciego, para garantizar imparcialidad. Se entiende que es un proceso que inicia en el aula y continua en el laboratorio, donde se cultivan las mejores prácticas en el devenir científico y que allí se forja el carácter de los ingenieros e ingenieras de la Universidad Libre.

Atentamente,  
Comité editorial *Ingenio Libre*  
Diana Clavijo - José Ignacio Campos -  
Ricardo Santa

\* Himno de la Universidad Libre. Letra: Pedro Medina Avendaño. Tomado de <https://www.unilibre.edu.co/cartagena/index.php/la-universidad/institucional/himno-unilibre>



***Queridos estudiantes, profesores y directivas:***

El vertiginoso avance de las ingenierías y la tecnología, la investigación y la innovación juegan un papel decisivo en el impulso del progreso y la transformación de la nación. Como decana de Ingeniería, soy consciente de que la escritura de artículos científicos, más que un ejercicio académico, es un compromiso con el avance del conocimiento y el desarrollo de soluciones para los desafíos del mundo actual.

Al publicar sus investigaciones en nuestra revista *Ingenio Libre*, no solo contribuyen al prestigio de nuestra Institución, sino que están dando voz a sus investigaciones e ideas, para trascender fronteras y ampliar los horizontes desde el aula, el laboratorio, nuestra comunidad universitaria, hasta la sociedad colombiana. Cada artículo es evidencia de su dedicación y pasión por la excelencia académica, reflejada en sus investigaciones, su ética y su arraigo social; además se constituye en un legado para las generaciones futuras de ingenieros.

Los animo a compartir sus investigaciones, reflexiones y perspectivas sobre los temas de sus áreas de estudio, para que la búsqueda incansable de la verdad, la creatividad y la innovación guíen su apasionante proceso de enseñanza - aprendizaje. La comunidad universitaria forja su futuro a través de la revista *Ingenio Libre*, que expone sus logros y muestra el impacto positivo en la sociedad.

Ing. Nidia María Jirado Taján





# CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA OPERATIVO DE INTERFAZ DE USUARIO TRIDIMENSIONAL CONTROLADO POR OJOS, VOZ Y GESTOS

Features of a three-dimensional user interface operating system controlled by eyes, voice and gestures

**John Fredy Robayo Ramírez**

Universidad Libre de Colombia, Bogotá, Colombia,  
johnf-robayor@unilibre.edu.co

## RESUMEN

*El artículo aborda la revolución tecnológica actual, y destaca la influencia de la inteligencia artificial en empresas líderes como Meta y Apple. Se centra en las innovadoras tecnologías lanzadas recientemente, como las Apple Vision Pro y Oculus Insight, que representan avances significativos en la realidad mixta y la realidad virtual. Detalla las especificaciones de las Apple Vision Pro, y las presenta como una “computadora espacial” que fusiona lo digital y lo físico, con características destacadas como la autenticación biométrica basada en iris y un sistema de seguimiento ocular y manual. Además, se discute la arquitectura del sistema y se resalta la importancia de enfoques multidisciplinarios para garantizar experiencias inmersivas.*

*Se explora también el funcionamiento de estas tecnologías, que incluyen la seguridad de autenticación de las aplicaciones, el seguimiento ocular y manual, y la capacidad de comprender la ubicación y tamaño de objetos del mundo real. Finalmente, se analizan diversos usos prácticos, desde aplicaciones médicas, como cirugías remotas y terapias, hasta su impacto en la industria y la educación, lo cual demuestra su potencial para generar experiencias inéditas y contribuir al bienestar general.*

**Palabras clave:** inteligencia artificial, realidad mixta, realidad virtual, autenticación biométrica, seguimiento ocular, seguimiento manual, tecnologías inmersivas, arquitectura del sistema, aplicaciones médicas, industria, educación.

## ABSTRACT

*The article addresses the current technological revolution, highlighting the influence of artificial intelligence on leading companies such as Meta and Apple. It focuses on recently released innovative technologies, such as Apple Vision Pro and Oculus Insight, which represent significant advances in mixed reality and virtual reality. The article details the specifications of the Apple Vision Pro, presenting it as a “spatial computer” that fuses the digital and the physical, with notable features such as iris-based biometric authentication and an eye and hand tracking system.*

*Furthermore, the system architecture is discussed and the importance of multidisciplinary approaches to ensure immersive experiences is highlighted. The operation of these technologies is also explored, including application-level authentication security, eye and hand tracking, and the ability to understand the location and size of real-world objects. Finally, various practical uses are analyzed, from medical applications, such as remote surgeries and therapies, to its impact on industry and education, demonstrating its potential to generate unprecedented experiences and contribute to general well-being.*

**Keywords:** Artificial intelligence, mixed reality, virtual reality, biometric authentication, eye tracking, hand tracking, immersive technologies, system architecture, medical applications, industry, education.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los seres humanos viven en un mundo marcado por cambios tecnológicos casi diarios. Tras el notable crecimiento de la inteligencia artificial, esta ha establecido pautas que permiten la realización de lo que la mente humana puede imaginar y definir como objetivo. Un ejemplo destacado de este fenómeno se encuentra en algunos gigantes tecnológicos y pioneros en la creación de hardware y software, como son los casos de Meta y de Apple.

A lo largo de su historia, Apple se ha acreditado como líder en el lanzamiento de productos que han revolucionado el mercado tecnológico, y que recientemente lanzó las Apple Vision Pro, y Meta se ha destacado por trabajar en el metaverso aunado al Oculus Insight – Realidad Virtual + Realidad Aumentada + IA -.

Las nuevas tecnologías que Apple ha introducido se definen como un producto innovador que se desmarca de las categorías convencionales en las que ya tiene presencia en el mercado: las Apple Vision Pro, que consiste en un dispositivo desarrollado

durante más de una década, anunciado en junio del año 2023.

Aunque puede ser percibido como una sofisticada diadema de comunicación, Apple ha optado por llamarlo “computadora espacial” debido a su capacidad para fusionar el mundo digital con el físico.

Este dispositivo representa una incursión significativa en la realidad mixta, pues ofrece contenido tanto de realidad aumentada como de realidad virtual inmersiva. Es necesario destacar que todo lo visualizado en el dispositivo es digital, ya que utiliza cámaras para mapear y procesar el entorno circundante. [1]

De otro lado, la tecnología Oculus Insight, privilegió la eficiencia del procesamiento que se logró mediante la optimización de los algoritmos de visión por computadora para funcionar en hardware móvil, proceso en el que utilizó técnicas como la paralelización de operaciones y la optimización del uso de memoria, lo cual implicó un diseño cuidadoso de los algoritmos para minimizar la cantidad de cálculos necesarios sin comprometer la precisión del seguimiento.

Además, estas tecnologías han utilizado técnicas de compresión de datos y transmisión de información entre los diferentes componentes del sistema para optimizar los procesos de transferir y procesar, lo que ha ayudado a reducir la carga computacional y el consumo de energía.

En resumen, estas tecnologías de vanguardia han requerido un enfoque multidisciplinario que ha combinado investigación avanzada en visión por computadora, algoritmos de seguimiento de movimiento, optimización de hardware y técnicas de simulación para garantizar un seguimiento preciso y eficiente en dispositivos de realidad virtual todo en uno.

Esta combinación de tecnologías y enfoques innovadores han permitido ofrecer experiencias de realidad virtual verdaderamente inmersivas, libres de cables y comandada mediante voz, ojos y gestos.

## 2. DISEÑO

En este apartado se dan especificaciones de algunos de los productos mencionados en la introducción de este escrito; sin embargo, debe entenderse que son el estándar de la industria y que diversas empresas distribuirán sus productos en los términos técnicos referenciados.

**Figura 1.**  
*Imagen real de Apple Vision Pro [1]*



**Figura 2.**  
*Meta Quest Pro [2]*

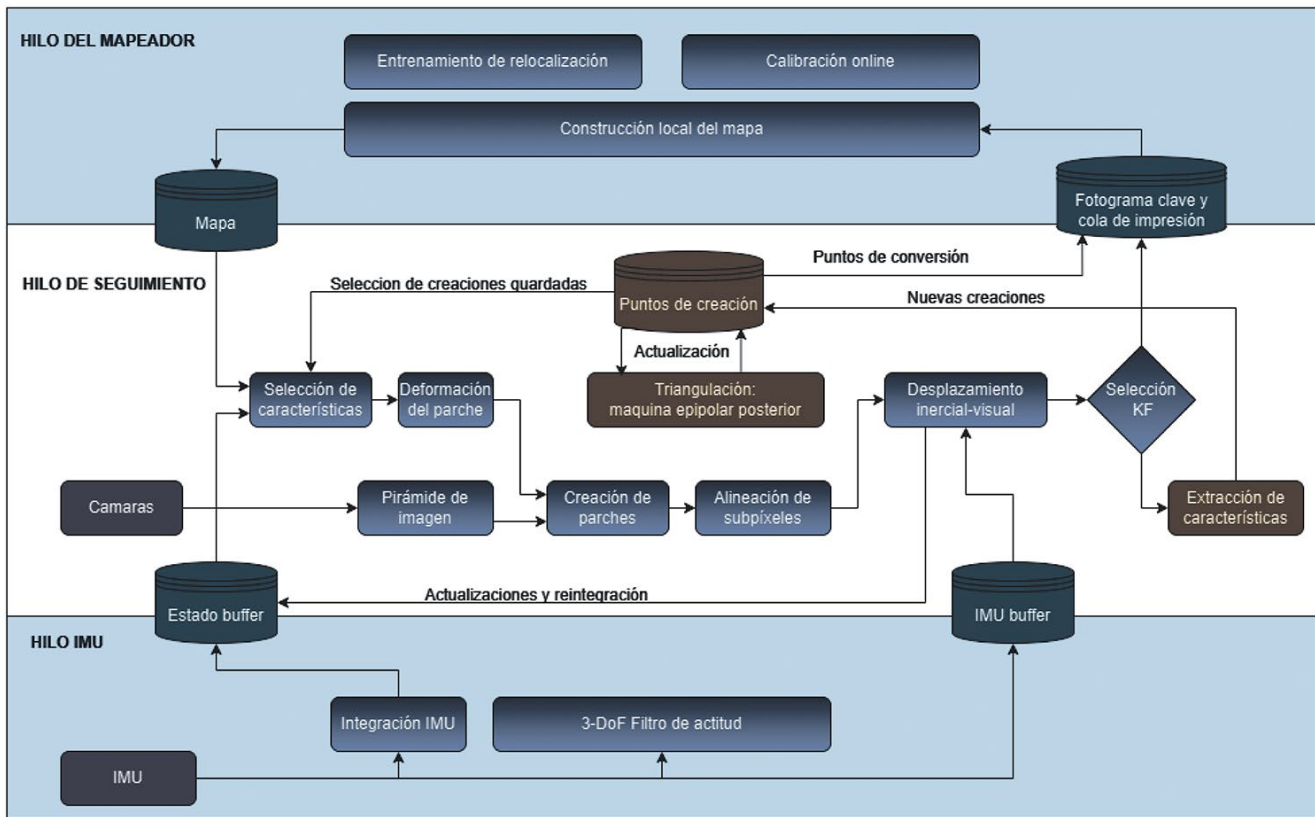


El diseño exterior es centrado en el usuario con un estilo vanguardista y futurista que brinda inmersión completa – realidad mixta - en todas actividades de la vida diaria, gracias al soporte del hardware de última generación que cuenta con especificaciones similares a estas:

Característica	Especificación	Descripción
Capacidad	256GB, 512GB, 1TB.	Necesaria para ejecutar los procesos y aplicaciones.
Display	23 millones de píxeles, sistema de visualización 3D, Micro-OLED	Admite reproducción múltiple de 24 fps. y 30 fps.
Chips	CPU de 8 núcleos con 4 núcleos de rendimiento y 4 núcleos de eficiencia, GPU de 10 núcleos	Memoria unificada de 16GB
RTDP	Procesamiento de datos en tiempo real	Procesadores dedicados a la gestión de imágenes en tiempo real. Latencia de fotón a fotón de 12 milisegundos, ancho de banda de memoria de 256 GB/s
Cámara	Sistema de cámara principal estereoscópica 3D	Captura espacial de fotografías y vídeos, 18 mm, apertura $f/2,00$ , 6,5 megapíxeles estéreo.
Sensores	Cámaras de alta resolución, sensor de parpadeo, sensor de luz ambiental	Dos cámaras principales de alta resolución, seis cámaras de seguimiento orientadas al mundo, cuatro cámaras de seguimiento ocular, sensor de parpadeo, sensor de luz ambiental
Identificación óptica	Autenticación biométrica basada en iris	Generalmente se usa para temas de seguridad cibernética.
Tecnología de audio	Audio espacial con seguimiento dinámico de la cabeza. Matriz de seis micrófonos con formación de haz direccional	Los formatos admitidos incluyen AAC, MP3, Apple Lossless, FLAC, Dolby Digital, Dolby Digital Plus y Dolby Atmos. Los formatos admitidos incluyen HEVC, MV-HEVC, H.264, HDR con Dolby Vision, HDR10 y HLG
Batería	Hasta 2 horas de uso general, visualización de vídeo hasta 2,5 horas	Se puede utilizar mientras se carga la batería
Conectividad e inalámbrico	Wi-Fi 6 (802.11ax) y bluetooth 5.3	Se actualizan según los estándares del mercado para garantizar navegación y funcionamiento
Sistema operativo	SO de interfaz de usuario tridimensional controlado por ojos, voz y gestos	Depende del desarrollo de cada fabricante, se acoplará al dispositivo
Entradas	Manos, ojos y voz	Accesorios de entrada compatibles: Teclados, paneles táctiles y controladores de juego
Peso	600 a 650 g (21,2 a 22,9 onzas)	La batería separada pesa 353 g.

Este conjunto de características técnicas del dispositivo que utiliza el usuario se in-

serta en una arquitectura del sistema que se refleja en el siguiente diagrama:



### 3. FUNCIONAMIENTO

Este tipo de dispositivos proveen al usuario la autenticación mediante el reconocimiento de iris, de tal forma que solo funcionan cuando el usuario registrado las utiliza. Estas cámaras infrarrojas escanean el iris, a cambio del escaneo de cara o escaneo de huella, a lo cual se denomina capa de seguridad de autenticación en el nivel de aplicaciones y es válido en todo el ecosistema (VisionOS [1]). La seguridad usa un cifrado de primer nivel y todo lo que se realiza en el dispositivo solo se almacena allí y no se transmite a internet o a la nube ni a otros dispositivos sin autorización del usuario, es decir: los datos que se recopilan siempre están procesándose en el mismo dispositivo, y la información que se envía a las aplicacio-

nes o sitios web es solo la que elige el usuario final [4].

Las cámaras del iris también están encargadas de realizar un seguimiento ocular que rastrea el movimiento del ojo y detectar qué objeto se mira; es posible navegar en menús, abrir aplicaciones y controlar objetos con los ojos [1].

Otra gran función es el seguimiento manual que permite detectar cuando el usuario está realizando determinados movimientos de las manos, lo cual se hace a través de las cámaras; con esto se puede mover objetos, rotarlos y cambiar el tamaño (Figura 2). A la vez que va detectando el movimiento de las manos rastrea rotación de cabeza y desplazamiento para mostrar la actividad en pantalla [3].

**Figura 3.**

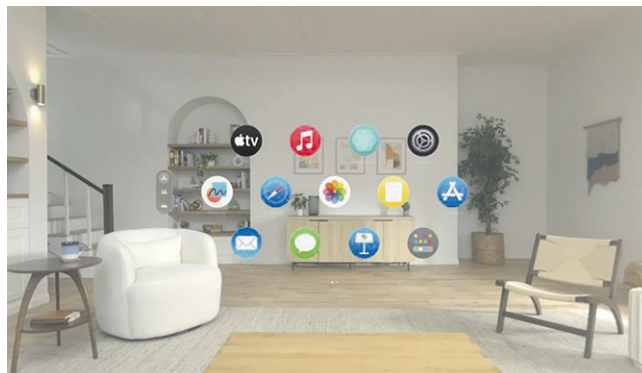
*Gestos de la mano para navegación [3].*



Por último, al considerarlo como un computador espacial, se entiende que cuenta con la capacidad de comprender la ubicación y el tamaño de los objetos del mundo real, lo que permite experimentar la realidad mixta que combina lo real con lo virtual y hacerlo uno solo para lograr la experiencia total (Figura 3). [3].

**Figura 4.**

*Así veríamos la experiencia [5].  
Tomado de Apple Visión Pro.*



#### 4. USOS

Actualmente, el alcance de toda nueva tecnología lanzada es amplio e imaginativo, ya que al introducirse como novedad puede generar experiencias inéditas que, en ocasiones, contribuyen al bienestar gene-

ral, reducción de costos, mejoras en la salud, fortalecimiento de la seguridad, entre otros aspectos.

En medicina se usa para cirugías de forma remota, y también para el entrenamiento de médicos y para brindar terapias [6]. Adicionalmente, se habla de poder mejorar la agudeza visual de la población, gracias a que la población que está localizada en zonas apartadas podrá acceder fácilmente a exámenes rutinarios o especializados que permitirán detectar de forma temprana enfermedades que causan pérdida de la visión [7].

En la industria, el uso de visores con interfaz de usuario tridimensional se ha extendido a diversas aplicaciones, como el diseño de productos, pruebas de prototipos, capacitación de trabajadores e incluso la visualización de datos para la toma de decisiones. Por ejemplo, el dispositivo Apple Vision Pro incluye una demostración que simula el funcionamiento de una turbina [3], lo cual permite a los usuarios interactuar y desmontar piezas (Figura 4).

**Fig. 4**

*Imagen de una turbina [8].  
Tomado de Apple Visión Pro*



En educación se está usando para crear experiencia de aprendizaje inmersivo, recrear eventos históricos, actividades colaborativas interactivas, educación a distancia [6]; como ejemplo, la Universidad Libre tiene planteado crear la visualización de datos captados por satélites en un cuarto de realidad virtual [9], que permitirá su análisis e interacción.

## 5. CONCLUSIONES

En conclusión, la introducción de tecnologías innovadoras como las Apple Vision Pro y Oculus Insight en el campo de la realidad virtual y mixta representa un hito significativo en la evolución tecnológica. Estos dispositivos no solo han logrado fusionar de manera impresionante lo digital y lo físico, sino que también han demostrado un enfoque multidisciplinario al combinar avanzadas investigaciones en visión por computadora, algoritmos de seguimiento de movimiento, optimización de hard-

ware y técnicas de simulación. La autonomía, autenticación biométrica basada en iris, seguimiento ocular y manual, junto con la capacidad de comprender el entorno real, han catapultado estas tecnologías hacia experiencias de realidad virtual inmersivas y libres de cables, controladas mediante voz, ojos y gestos.

Estas gafas de RV no solo se destacan en el ámbito del entretenimiento, pues también tienen aplicaciones prácticas en medicina, industria y educación, lo cual abre nuevas posibilidades para cirugías remotas, entrenamiento médico, mejoras en la agudeza visual, diseño de productos, simulación de procesos industriales y experiencias de aprendizaje inmersivas. La realidad virtual está cada vez más arraigada en nuestro día a día, debido a que promueve innovaciones que trascienden los límites tradicionales y mejoran significativamente diversas áreas de la vida.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Staff, «MacRumors,» 2024. [En línea]. Available: [https://www.macrumors.com/roundup/apple-vision-pro/#apple\\_vision\\_pro](https://www.macrumors.com/roundup/apple-vision-pro/#apple_vision_pro).
- [2] «insight,» [En línea]. Available: <https://www.insight.com/>.
- [3] «Apple,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.apple.com/apple-vision-pro/specs/>.
- [4] E. Feo, «Apple Vision Pro: The Future of Tech with a Wink and a Nod» 2024. [En línea]. Available: <https://bootcamp.uxdesign.cc/apple-vision-pro-the-future-of-tech-with-a-wink-and-a-nod-56c6a07a5153>.
- [5] Apple, «Support Apple» 2024. [En línea]. Available: <https://support.apple.com/guide/apple-vision-pro/apple-vision-pro-and-visionos-overview-tan39b6ba-b8f/1.0/visionos/1.0>.
- [6] ismail, «Apple Vision Pro: A Portal to a New Reality,» 2024. [En línea]. Available: <https://medium.com/@ismailsaleem/apple-vision-pro-a-portal-to-a-new-reality-b16a2050c2fd>.
- [7] E. Waisberg, J. Ong, M. Masalkhi, N. Zaman, P. Sarker, A. G. Lee y A. Tavakkoli, «The future of ophthalmology and vision science with the Apple Vision Pro,» Eye, vol. 38, pp. 242-243, 2023.
- [8] A. Talk, «Bootcamp,» 2024. [En línea]. Available: <https://bootcamp.uxdesign.cc/discover-the-best-apple-vision-pro-apps-a-starter-kit-6e946826545e>.
- [9] J. F. Robayo Ramirez, F. A. Simanca Herrera y R. A. Santa Quintero, «Visualización de datos captados por satélites en un showroom de realidad virtual,» Revista Avenir, vol. 7, pp. 1-9, 2023.



# DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA DAPP BASADA EN BLOCKCHAIN PARA LA PROTECCIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL EN LA UNIVERSIDAD LIBRE

Conceptual design of a DApp based on Blockchain for the protection of Intellectual Property at Universidad Libre

**Danna Sofía Marín Chaparro**

Estudiante de Ingeniería de Sistemas, Universidad Libre sede Bogotá.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8253-057X> Correo electrónico: [dannas-marinc@unilibre.edu.co](mailto:dannas-marinc@unilibre.edu.co)

## RESUMEN

*La protección de los derechos de propiedad intelectual en instituciones representa hoy día un desafío debido a la constante evolución de la tecnología, las complejidades legales y la necesidad de equilibrar la innovación con la preservación de los derechos creativos. Este artículo se centra en la Universidad Libre, para explorar el potencial de una DApp basada en blockchain para resguardar la propiedad intelectual de investigadores, profesores y estudiantes. Considerando el marco normativo del Reglamento de propiedad intelectual y acceso abierto de la universidad, se propone un modelo conceptual para la DApp. La propuesta abarca el diseño de una arquitectura robusta y segura, y un análisis detallado de las necesidades específicas de la comunidad universitaria. Así mismo, sugiere un catálogo de servicios y se destaca la viabilidad de agilizar procesos administrativos, fomentar la colaboración académica y gestionar activos intelectuales. El artículo también examina cómo el uso de la tecnología blockchain podría mejorar la transparencia, confianza y participación en la protección de la propiedad intelectual universitaria.*

**Palabras clave:** Blockchain, DApp, propiedad intelectual, universidad, gobernanza, arquitectura en capas, modelo conceptual.

## ABSTRACT

*Currently, protecting intellectual property rights in institutions is challenging due to the constant evolution of technology, legal complexities, and the need to balance innovation with the preservation of creative rights. This article focuses on the Universidad Libre, exploring the potential of a blockchain-based DApp to safeguard the intellectual property of researchers, professors, and students. Considering the regulatory framework of the university's Intellectual Property and Open Access Regulations, a conceptual model for the DApp is proposed. The proposal covers the design of a robust and secure architecture, a detailed analysis of the specific needs of the university community, also suggests a catalog of services and highlights the viability of streamlining administrative processes, promoting academic collaboration and managing intellectual assets. The article also examines how the use of blockchain technology could improve transparency, trust and participation in the protection of university intellectual property.*

**Keywords:** Blockchain, DApp, intellectual property, university, governance, layered architecture, conceptual model.

## 1. INTRODUCCIÓN

En un mundo caracterizado por la rápida evolución tecnológica y las complejidades legales, la protección efectiva de los derechos de propiedad intelectual en instituciones educativas, como la Universidad Libre, se ha convertido en un desafío apremiante. En este contexto, la adopción de tecnologías innovadoras se presenta como una solución potencial para salvaguardar la creatividad y la investigación de profesores, investigadores y estudiantes.

La propiedad intelectual, que engloba una amplia variedad de creaciones resultantes del ingenio humano en campos como la industria, la ciencia, la literatura y el arte, [1] se ha visto considerablemente impactada por la creciente influencia de la internet y el rápido avance tecnológico.

La facilidad de distribución y copia en línea, sumada a prácticas como la piratería y la falsificación, ha debilitado los métodos convencionales de protección, lo cual ha generado desafíos significativos tanto para los creadores como para las instituciones encargadas de preservar estos activos [2].

Al considerar el marco normativo del Reglamento de propiedad intelectual y acceso abierto de la Universidad Libre, este artículo propone un modelo conceptual que busca no solo cumplir con los requisitos legales, sino también fortalecer la seguridad y eficacia en la gestión de derechos creativos. Este modelo se destaca por su enfoque integral, que aborda las necesidades específicas de investigadores, profesores y estudiantes, y propone una arquitectura que busque identificar el funcionamiento de la aplicación, así como de sus principales actores.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales

El enfoque estratégico para implementar la DApp basada en blockchain en la Universidad Libre abarca diversas áreas críticas. Inicialmente, se llevará a cabo un exhaustivo análisis del Reglamento de propiedad intelectual y acceso abierto de la institución para comprender a fondo los requisitos legales y las restricciones existentes.

Simultáneamente, se llevará a cabo una investigación detallada para seleccionar las tecnologías necesarias, como es el caso de plataformas blockchain de código abierto reconocidas y la adopción de Contratos Inteligentes, así como estructuras back-end y front-end [3] para la comunicación cliente - servidor. Asimismo, es fundamental la adquisición o implementación de la infraestructura tecnológica, que incluye servidores, nodos de blockchain y otros recursos informáticos necesarios para la creación y operación efectiva de la DApp. Lo anterior priorizando aspectos como seguridad, escalabilidad y eficiencia.

### 2.2. Métodos

Este estudio adopta un enfoque combinado de investigación cualitativa y exploratoria, centrado en una revisión bibliográfica exhaustiva que examina el panorama del blockchain y su implementación en entornos académicos. A través de esta revisión, se busca exponer tanto las ventajas como los desafíos asociados con la salvaguardia de la propiedad intelectual en este ámbito particular. Esta exploración no solo pretende arrojar luz sobre la aplicación práctica de la tecnología blockchain en circunstancias similares, sino también comprender las necesidades específicas de la comunidad académica en cuanto a la protección de la propiedad intelectual, y revisar los reglamentos existentes que rigen este ámbito.

### 3. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA DAPP PARA LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA

#### 3.1. Marco legal y directrices institucionales

Para implementar la Dapp, la Universidad debe contar con lineamientos y regulaciones que establezcan cómo se gestiona la propiedad intelectual. El Acuerdo N.º 5 de 2021, “Reglamento de propiedad intelectual (PI) y de Acceso Abierto” [4] representa la base fundamental que sienta las directrices para esta gestión.

Dicho acuerdo aborda tanto los derechos morales como los patrimoniales, que garantizan que los creadores sean reconocidos y protegidos adecuadamente. Además, el acuerdo introduce la promoción del acceso abierto, lo que refleja el compromiso de la universidad con la difusión y colaboración académica al fomentar la visibilidad de la producción científica y académica.

La implementación de la tecnología blockchain por parte de la universidad se justifica al proporcionar un registro inalterable y transparente de la propiedad intelectual, con lo cual garantiza la autenticidad y originalidad de las creaciones. La utilización de contratos inteligentes basados en blockchain tiene el potencial de automatizar la gestión de derechos patrimoniales y morales, lo que asegura que los creadores reciban la compensación correspondiente de manera eficiente. Además, la aplicación de la tecnología blockchain podría simplificar y agilizar la distribución de regalías mediante contratos inteligentes que mejoran significativamente el proceso de remuneración para los creadores [5].

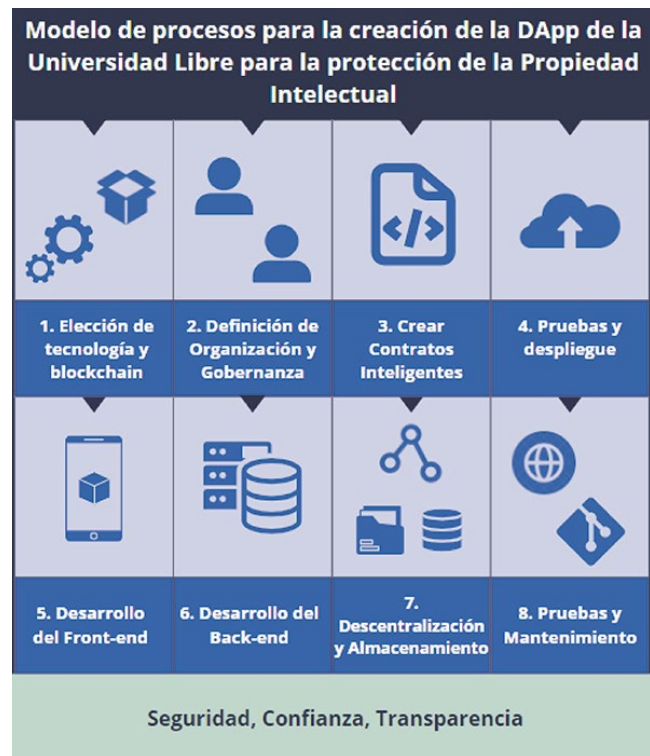
##### 3.1.1 Modelo de procesos para la creación de la DApp

Teniendo en cuenta el contexto institucional, se proponen los siguientes pasos para

crear la DApp para la protección de la propiedad intelectual en la Universidad Libre, a partir del modelo de Jaramillo & Piedra (2021) [6].

**Figura 1.**

*Modelo de procesos para la elaboración de la DApp, según el marco legal de la Universidad Libre.*



Como se observa, se ha adicionado el paso “2. Definición de Organización y Gobernanza” en el que se incluyen tanto las políticas y normas nacionales como los acuerdos propios de la Universidad que exponen el contexto legal, los derechos y las responsabilidades de todos los actores (ver Acuerdo N.º 5 de 2021 de la Universidad Libre).

También se ha adicionado un paso transversal relacionado con “Seguridad, Confianza, Transparencia”, que permite establecer en cada paso, las mejores características que permitan asegurar la seguridad, confianza y transparencia necesaria para la DApp.

### 3.2. Arquitectura básica

En el contexto de blockchain, las DApp se ejecutan en la parte frontal (front-end) y se comunican con el backend para acceder a datos, realizar transacciones y gestionar la lógica del negocio. Por ende, a continuación, se muestra la arquitectura con las tecnologías necesarias:

**Figura 2.**

*Arquitectura básica para la DApp.*



*Elaboración propia.*

El front-end de una DApp se compone de la interfaz de usuario que los usuarios ven y manipulan. Utilizando tecnologías fundamentales como HTML, CSS y JavaScript, se estructura y diseña la interfaz. Para simplificar el desarrollo, se emplea un framework de JavaScript como React.

Además, para interactuar con la blockchain Ethereum, se integran bibliotecas como Web3.js [7] pues permite la comunicación fluida entre la interfaz de usuario y los contratos inteligentes que facilitan la realización de transacciones y la gestión de cuentas.

En el contexto del back-end, este es basado en Ethereum, cuyo componente esencial es la lógica de los contratos inteligentes escritos en Solidity. Estos contratos definen las reglas y operaciones que gobiernan la aplicación descentralizada. Además, la presencia de un nodo Ethereum, es crucial para la conexión a la red Ethereum, ya que actúa como un puente que permite la interacción entre la DApp y la blockchain [7]. La infraestructura descentralizada proporcionada por IPFS puede ser utilizada para almacenar y recuperar datos de manera distribuida, para contribuir a la descentralización de la aplicación y a la reducción de la dependencia de un servidor centralizado. (Figura 2).

### 3.3. Gestión de la propiedad intelectual

En el sistema de gestión de propiedad intelectual basado en tecnología blockchain y contratos inteligentes, el proceso de inicio de sesión en la DApp comienza con la autenticación del estudiante, quien puede registrar una cuenta si es la primera vez. La Universidad juega un papel fundamental al validar y respaldar los trabajos antes de su registro en la plataforma blockchain. Los estudiantes siguen directrices institucionales al proporcionar detalles sobre su trabajo y cargar el archivo a través de la DApp. Utilizando el protocolo IPFS, la DApp sube el documento, genera un hash único y crea un contrato inteligente en Ethereum que representa el trabajo, que incluye título, hash IPFS y derechos de autor definidos por el estudiante. Tras revisar y confirmar los detalles, el estudiante firma digitalmente el contrato, que se registra en la blockchain, para garantizar la inmutabilidad y transparencia sin depender de un servidor centralizado.

Cuando los usuarios buscan activos digitales en la DApp, encuentran una interfaz de búsqueda que consulta directamente la blockchain Ethereum a través de nodos con web3.js. La DApp recupera contratos

inteligentes que coinciden con los criterios especificados, para presentar información organizada en la interfaz de búsqueda, que incluye título, hash IPFS y detalles de derechos de autor [8]. Al verificar la autenticidad del trabajo mediante el hash IPFS en el protocolo IPFS, los usuarios pueden acceder y descargar obras respaldadas por la Universidad [9].

En la gestión de derechos y remuneración, los estudiantes definen derechos de autor durante el registro, registrándolos de manera inmutable en la blockchain para garantizar trazabilidad y transparencia. Cuando otros usuarios desean utilizar un

trabajo, la DApp consulta el contrato inteligente para verificar los derechos de uso. Si cumple con los términos, la transacción se registra en la blockchain, lo que permite un seguimiento transparente del uso de la obra. Además, los contratos inteligentes pueden incluir reglas de distribución de regalías, automatizando el cálculo y distribución justa sin depender de un servidor centralizado.

### 3.4. Catálogo de servicios

Desde el punto de vista de interacción de las diversas capas entre sí y con los usuarios, el sistema propuesto expone diversos servicios que se tabulan a continuación:

**Tabla 1.** Catálogo de servicios.

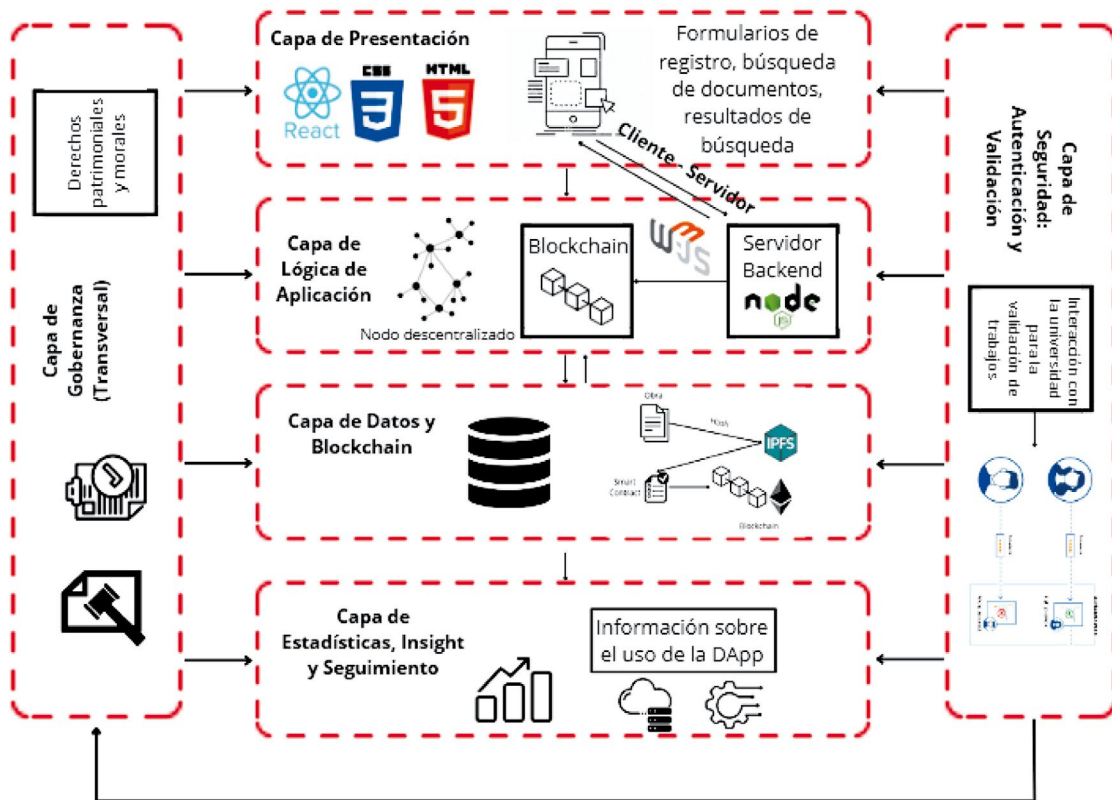
Servicio	Proveedor	Consumidor	Descripción
Registro	Interno	Externo	Crear una transacción en la DApp
Consultar por autor	Interno	Externo	Consultar mis transacciones y sus respectivos estados
Consulta por atributo	Interno	Externo	Consultar transacciones por algún atributo
Actualización	Interno	Interno	Una nueva transacción para cambiar el valor de algún atributo de una transacción ya procesada y agregada a la cadena de bloques
Eliminación	Interno	Interno	Dar de baja una transacción, de tal forma que no se pueda utilizar como base de nuevas transacciones.
			Saldo Cero
Compartir con un usuario	Interno	Externo	Transacción donde se entrega el Contenido de la transacción a un tercero específico por un tiempo determinado.
Compartir con todo usuario	Interno	Externo	Transacción donde se entrega el contenido de la transacción al público por un tiempo determinado.
Endosar los derechos patrimoniales a un tercero	Interno	Externo	Transacción que permite que un tercero reciba los derechos patrimoniales de forma temporal o permanente.
Ceder la propiedad y los derechos patrimoniales	Interno	Externo	Transacción que permite que un tercero sea el titular de los derechos patrimoniales
Vender la propiedad y los derechos patrimoniales	Externo	Externo	Transacción que permite que un tercero sea el titular de los derechos patrimoniales a cambio de una recompensa.
Asignar licencia de uso	Interno	Externo	Transacción que establece la licencia de uso de un activo digital firmado
Asignar CopyRight	Interno	Externo	Transacción que establece la licencia de uso de un activo digital firmado

Servicio	Proveedor	Consumidor	Descripción
Asignar CopyLeft	Interno	Externo	Transacción que establece la licencia de uso de un activo digital firmado
Consultar transacciones sobre un activo digital firmado	Interno	Externo	Consultar transacciones y sus respectivos estados
Ver detalle transacción	Interno	Externo	Consultar el detalle de una transacción y sus respectivos estados
Proponer transacción	Interno	Interno	Asignar el estado 1, inicial, a una transacción
Validar transacción	Interno	Interno	Asignar el estado 2 a una transacción
Adicionar transacción a un bloque	Interno	Interno	Asignar el estado 3 a una transacción
Sincronizar bloque	Interno	Interno	Asignar el estado 4 a una transacción

Gran parte de estos servicios son ofrecidos por la plataforma blockchain seleccionada; sin embargo, el sistema debe garantizar que todos se ofrezcan, para garantizar transparencia, seguridad y confianza.

### 3.5. Esquema: Arquitectura en capas

**Figura 3.** Diagrama de la arquitectura en capas para la DApp.



Elaboración propia.

### **3.5.1 Capa de presentación**

En la capa de presentación, se desarrolla la interfaz de usuario utilizando tecnologías web estándar. La elección de React como framework contribuye a crear una interfaz atractiva y permite la gestión eficiente del estado del lado del cliente. Aquí, los estudiantes interactúan con la DApp para autenticarse, registrar sus proyectos, consultar obras de otros usuarios y revisar información sobre propiedad intelectual (véase el catálogo de servicios).

### **3.5.2 Capa de lógica de aplicación**

La capa de Lógica de aplicación abarca tanto el front-end como el back-end y es responsable de la lógica empresarial que coordina las interacciones de los usuarios. JavaScript se utiliza en ambas partes, gestionando la interacción del usuario en el lado del cliente y actuando como servidor de aplicaciones con Node.js. Node.js en lugar de ser un servidor de aplicaciones centralizado, se utilizará para gestionar nodos descentralizados que ejecutan la lógica de la aplicación. A su vez, se comunicará con la blockchain Ethereum a través de la biblioteca web3.js, para permitir la creación y ejecución de contratos inteligentes [10]. Esta capa coordina el flujo de información y acciones entre el usuario, la interfaz, y la blockchain, con lo cual se asegura la coherencia en el manejo de la propiedad intelectual.

### **3.5.3 Capa de datos y blockchain**

La capa de datos y blockchain se encarga del almacenamiento de información relacionada con los proyectos de los estudiantes y los contratos inteligentes. Los archivos de trabajo se almacenan de manera descentralizada utilizando el protocolo IPFS, lo que garantiza la disponibilidad y resistencia a la censura [11]. La blockchain Ethereum re-

gistra los contratos inteligentes asociados con los trabajos y los derechos de autor.

### **3.5.4 Capa de gobernanza (transversal)**

La capa de gobernanza se superpone a las demás capas y coordina las políticas, normativas y reglamentos relacionados con la propiedad intelectual. Aquí, se establecen y hacen cumplir las decisiones que afectan a diversas partes interesadas, para asegurar que todas las acciones estén alineadas con las políticas institucionales y éticas tomando como referencia al Acuerdo N.º 5 de 2021 de la Universidad Libre. La participación de la universidad en la validación y aprobación de proyectos también se coordina a través de esta capa, lo que garantiza un enfoque colaborativo y democrático en la gestión de la propiedad intelectual.

### **3.5.5 Capa de seguridad: autenticación y validación (Transversal)**

La capa de seguridad, específicamente la autenticación y validación, es transversal y garantiza la identidad segura de los usuarios durante el proceso de autenticación y validación de proyectos. Colabora con la capa de gobernanza para establecer políticas de seguridad efectivas, para garantizar la integridad de la propiedad intelectual y para evitar accesos no autorizados. La validación por parte de la Universidad asegura que solo proyectos académicamente válidos y éticamente aceptables se registren en la blockchain.

### **3.5.6 Capa de estadísticas, insight y seguimiento**

La capa de estadísticas, insight y seguimiento proporciona herramientas analíticas para evaluar el rendimiento y la eficacia de la plataforma. Utilizando tecnologías de análisis de datos, esta capa recopila infor-

mación sobre el uso de la DApp, la autenticidad de los proyectos y las interacciones de los usuarios.

## **DISCUSIÓN**

La implementación de una DApp basada en blockchain para optimizar la protección de propiedad intelectual en la Universidad Libre conlleva una serie de beneficios significativos. En primer lugar, proporciona un mecanismo transparente e inmutable para el registro de proyectos creativos que eliminan la posibilidad de alteraciones o disputas sobre la autoría. La descentralización del almacenamiento de archivos a través de IPFS garantiza la disponibilidad continua y la resistencia a la censura. La introducción de contratos inteligentes en la blockchain Ethereum no solo facilita la automatización de la gestión de derechos y regalías, sino que también establece un marco seguro para definir y hacer cumplir políticas de acceso y uso [12].

Al integrar capas de seguridad y autenticación respaldadas por normativas como el Acuerdo N.º 5 de 2021, se refuerza la integridad de la propiedad intelectual, pues se evitan accesos no autorizados y garantiza que se registren solo proyectos académicamente válidos y éticamente aceptables.

## **CONCLUSIONES**

En conclusión, la implementación de una DApp basada en blockchain para optimi-

zar la protección de propiedad intelectual en la Universidad Libre emerge como una respuesta integral a los desafíos contemporáneos que enfrenta la preservación de la creatividad y la investigación en un entorno académico.

La estructura de capas, desde la presentación hasta la gobernanza, ofrece una solución bien orquestada que aborda los aspectos legales, tecnológicos y de seguridad. La transparencia y la inmutabilidad proporcionadas por la blockchain, junto con la descentralización del almacenamiento a través de IPFS, fortalecen la autenticidad de los proyectos registrados. La automatización de la gestión de derechos a través de contratos inteligentes mejora la eficacia y la justa compensación para los creadores.

Además, al considerar el catálogo de servicios ofrecidos por la DApp, se destaca la facilidad de registro de proyectos, la consulta transparente de información y la posibilidad de gestionar los derechos de autor de manera eficiente.

La integración de un sistema de búsqueda que aprovecha la blockchain facilita la exploración y verificación de la autenticidad de los proyectos. La inclusión de una capa de estadísticas, insight y seguimiento proporciona herramientas analíticas para evaluar el rendimiento y la eficacia de la plataforma, lo cual permite ajustes continuos para optimizar la gestión de la propiedad intelectual.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Minciencias. "Propiedad intelectual". 2023. [Online]. Disponible en: <https://minciencias.gov.co/glosario/propiedad-intelectual>
- [2] E. Ganne. "¿Pueden las cadenas de bloques revolucionar el comercio internacional?" WTO, 2019. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.30875/77daeaf7-es>
- [3] M. Suárez Taboada, "Desarrollo de una aplicación descentralizada con blockchain: DApp para el acceso y modificación de información sensible", Univ. Oberta Catalunya (UOC), 2020. [En línea]. Disponible: <https://openaccess.uoc.edu/handle/10609/106746>
- [4] Universidad Libre. (2021). Acuerdo n.º 5 de 2021: Reglamento de Propiedad Intelectual (PI) y de Acceso Abierto.
- [5] N. H. Shahidan, A. S. Abdul Latif y S. Abdul Wahab, "The Need for a University Start-up Framework for Commercialisation of Intellectual Property Rights (IPR): A Malaysia Perspective", *Sustain. Bus. Soc. Emerg. Economies*, vol. 1, n.º 2, pp. 123–134, diciembre de 2019. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.26710/sbsee.v1i2.1112>
- [6] M. P. Jaramillo y N. Piedra, "Un marco de trabajo basado en tecnología blockchain para mejorar la trazabilidad y la confianza en el intercambio de información entre Instituciones de Educación Superior", *RISTI - Revista Ibérica de Sist. e Tecnologías de Informação*, n.º 41, pp. 97–111, marzo de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.17013/risti.41.97-111>
- [7] S. A. Renu y B. G. Banik, "Implementation of a Secure Ride-Sharing DApp Using Smart Contracts on Ethereum Blockchain", *Int. J. Saf. Secur. Eng.*, vol. 11, n.º 2, pp. 167–173, abril de 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18280/ijssse.110205>
- [8] S. M. Hosseini Bamakan, N. Nezhadsistani, O. Bodaghi y Q. Qu, "A Decentralized Framework for Patents and Intellectual Property as NFT in Blockchain Networks", *Res. Square*, 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-951089/v1>
- [9] J.-H. Nam, S.-J. Lee, S.-P. Park y I.-G. Lee, "IP dLedger - Decentralized ledger for intellectual property administration", *Technol. Forecasting Social Change*, vol. 186, p. 122105, enero de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122105>
- [10] M. Darabseh and J. Martins, "Protecting BIM Design Intellectual Property with Blockchain: Review and Framework," 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/355195615>
- [11] P. Khandelwal, "Storing Student Records Using Blockchain and IPFS," 2021 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE), Shillong, India, 2021, pp. 188-192, doi: 10.1109/ComPE53109.2021.9751947.
- [12] T. Nurhaeni, L. . Nirmalasari, A. . Faturahman, and S. . Avionita, "Transformation Framework Design on Digital Copyright Entities Using Blockchain Technology", *B-Front*, vol. 1, no. 01, pp. 35–43, Jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.34306/bfront.v1i01.5>



# DISEÑO DE UN MODELO DE INNOVACIÓN SOCIAL TRANSFORMATIVA PARA LAS AGROINDUSTRIAS: CASO SOLANUM TUBEROSUM EN SIBATÉ, CUNDINAMARCA

Design of a transformative social innovation model for agroindustries: Solanum tuberosum case in Sibaté Cundinamarca

**Óscar Juandiego Silva Arias**

Universidad Libre, Bogotá D.C, Colombia, oscarj-silvaa@unilibre.edu.co

**Carlos Felipe Prieto Rosario**

Universidad Libre, Bogotá D.C, Colombia, carlosf-prietor@unilibre.edu.co

## RESUMEN

*Contexto: la cadena de valor en el cambio de un bien requiere una interacción estratégica entre los actores y de agentes en la generación de valor. La papa es un producto de relevancia nacional en la producción y comercialización de muchas organizaciones, por lo que es muy necesario entender la obtención, la gestión y cómo ocurren las transferencias del conocimiento para intervenir en el mercado de la papa competitivamente.*

*Metodología: se mostró un instrumento de caracterización compuesto de 27 preguntas que tuvieron en cuenta 3 dimensiones que son el paisaje, régimen y nicho. Con base en lo anterior, se aplicó el instrumento a productores de la papa para la recolección de información.*

*Resultados: con base en los resultados, se deduce que hay falta de comunicación en ciertos sectores donde se produce y se comercializa la papa; además la presencia de la transferencia del conocimiento juega un papel fundamental dentro del proceso en Sibaté.*

*Conclusiones: la transferencia del conocimiento es un elemento fundamental en la implementación del modelo de innovación social transformativa en todos los actores relacionados con la comercialización de la papa (ya sean comerciales o no comerciales).*

**Palabras clave:** Cadena de valor, productividad, transferencia del conocimiento.

## ABSTRACT

*Context: The value chain in the exchange of a good requires a strategic interaction between actors and agents of the generation of value. The potato is a product of national relevance in the production and marketing of many organizations. Therefore, it is very important to understand obtaining, management and how knowledge transfers occur to intervene in the potato market competitively.*

*Methodology: A characterization instrument composed of 27 questions was shown that took into account 3 dimensions: landscape, regime and niche. Based on the above, the instrument was applied to potato producers to collect information.*

*Results: Based on the results, it is deduced that there is a lack of communication in certain sectors where potatoes are produced and marketed, in addition the presence of knowledge transfer plays a fundamental role within the process in Sibaté.*

*Conclusions: Knowledge transfer is a fundamental element in the implementation of the transformative social innovation model in all actors related to potato marketing (whether commercial or non-commercial).*

**Keywords:** Value chain, productivity, knowledge transfer.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

### Marco teórico

#### Cultivo de papa en Colombia

La papa es un alimento indispensable en la canasta familiar; para la mayoría de habitantes del territorio colombiano juega un importante papel como alimento que contiene una gran variedad de nutrientes necesarios para el funcionamiento y desarrollo del cuerpo humano, además de todos los empleos directos e indirectos que genera su cultivo y distribución por el país; es un producto muy consumido y, por ende, es sujeto a constantes estudios con la finalidad de observar su calidad.

A lo largo del territorio colombiano se encuentran miles de hectáreas sembradas de papa, dispuestas para ser distribuidas hacia las grandes superficies, como los mercados de abastos, surtiferuvers y las cadenas de supermercados de barrio para llegar hasta el consumidor final.

Estas grandes cadenas por donde pasa el producto están sujetas a miles de procesos con el fin de garantizar su calidad. Para ese propósito se utilizan semillas certificadas por parte de los agricultores, con el fin de brindar cosechas de alta calidad; cabe aclarar que en los últimos años la producción de papa ha tenido cierto declive, debido a que

su precio y el costo de mantener estas cosechas son muy elevados.

#### Producción y transporte

El Proyecto de cadena de suministro de papa en Cundinamarca es parte del campo de la logística, que utiliza una variedad de métodos de evaluación: el más notable de ellos pero raramente utilizado es el Modelo de Sistemas Factibles FSM desarrollado por el académico e investigador británico Stafford Burr.

El campo de la cibernética; En su cuarto libro, *The Corporate Brain* (1972), los definió como un sistema de equilibrio homeostático interno y externo, mecanismos y oportunidades de crecimiento, aprendizaje, evolución y adaptación. MSV proporciona una visión diferente de la organización mediante el uso de un nuevo lenguaje de optimización o metalenguaje para representar sistemas complejos que analizan los patrones de interacción de la organización. Al explorar las diferencias entre los modelos, los observadores pueden mapear los elementos estructurales de una organización y luego evaluar cómo los sistemas viables manejan el cambio a medida que cambia el entorno.

Para un buen desarrollo teórico del proyecto, es necesario definir la cadena de suministro y aclarar su importancia en la logísti-

ca. Según el diccionario APICS, una cadena de suministro se puede definir como: “El conjunto de todos los procesos que involucran a los proveedores y sus clientes y que conectan a una empresa desde la fuente original de materias primas hasta el punto de consumo de los productos terminados”. Para las semillas, la evaluación de la cadena de suministro de papa es importante ya que contribuye significativamente a un modelo de innovación social transformador para la comercialización de papa con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los agricultores que prefieren papas importadas [3].

### Innovaciones

En cuanto a la propuesta de optimización del cultivo de papa con tecnología brasileña, la agricultura de precisión no es solo una tecnología, es un concepto orientado al manejo de campos para operaciones de siembra. Como tal, se puede considerar un proceso de manejo dirigido principalmente a controlar la variabilidad agrícola. “La agricultura de precisión comenzó en la década de 1970, cuando el Departamento de Defensa de EE. UU. lanzó Satélites de Posicionamiento Global (GPS) con fines bélicos, y más tarde, a fines de la década de 1980, el sistema se lanzó para uso civil, lo que permitió el desarrollo de dispositivos capaces de determinar la ubicación de áreas agrícolas donde se implementaría esta práctica”.

Los primeros resultados obtenidos con la tecnología son excelentes, pues se demostró un menor impacto ambiental y menores costos de producción. Una de las principales características de la agricultura de precisión es dar soluciones adecuadas a los problemas agrícolas actuales: competitividad, impacto ambiental, optimización de recursos, uso racional de la tierra y el agua, trabajo en equipo, alta demanda de alimentos, etc. Gracias a la integración directa de la gestión de cultivos y la tecnología de la información,

“los administradores de cultivos básicos buscan una inspección y un seguimiento frecuentes, lo que respalda la toma de decisiones en función de su conocimiento de las temporadas de cultivo anteriores y la experiencia pasada e histórica”. En agricultura de precisión, existe un consenso general sobre los métodos y elementos utilizados que pertenecen a la disciplina del Feng Shui, o sea, la recopilación, análisis, interpretación, difusión y uso de la información geográfica. Estos métodos y elementos se describen a continuación:

- **Sistemas de posicionamiento:** “Claves para el control del tráfico agrícola, ya que proporcionan datos en tiempo real sobre su ubicación, facilitan su gestión y control, y aseguran un enrutamiento óptimo. Entre estos sistemas destacan GPS, GLONASS, Galileo y Beidou”<sup>12</sup>
- **Sensores remotos:** encargados de capturar datos sobre cultivos, suelo, humedad, precipitación, etc. utilizando tecnologías inalámbricas como Wi-Fi, Bluetooth y redes celulares. La detección se realiza para obtener información sobre las condiciones del suelo, el crecimiento de las plantas, los ataques de plagas, los niveles de agua y la fertilización.
- **Sistemas de recomendación utilizados para cultivos:** realizan predicciones a partir de datos de entrada con la utilización de algoritmos de aprendizaje automático (aprendizaje automático). Especialmente para temas agrícolas, estos sistemas muestran mapas de rendimiento y mapas de productividad de cultivos basados en información de cosechas anteriores, facilitando y optimizando así el manejo de los cultivos.
- **Vehículos aéreos pilotados remotamente** RPA, también conocidos como UAV, ofrecen soluciones innovadoras y rentables para ob-

tener imágenes de áreas inaccesibles, evaluar las variables climáticas en la agricultura y monitorear a distancia los cultivos agrícolas. Aunque su uso puede requerir permisos y licencias gubernamentales que varían de un país a otro, su uso se ha incrementado en los últimos años debido a la caída de los precios y al fácil acceso.

- **Sistemas de Apoyo a la Decisión DSS:** se refiere a un conjunto de sistemas de información que complementan los componentes anteriores, con el fin de facilitar la toma de decisiones por parte de los actores de las AP. DSS recibe información de sistemas de posicionamiento, sensores remotos, elementos que utilizan VRT y drones para el procesamiento posterior y el despliegue al personal relacionado con la cultura.

La propuesta aporta en mayor medida a lo que se quiere llegar con la problemática actual porque aporta tecnologías, las cuales servirán para ser implementadas tanto en las transferencias del conocimiento como de la tecnología; esto es con el fin de dar mayor solidez en la construcción del modelo al que quiere llegar el semillero con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los campesinos y de solucionar los problemas que afectan a la importación de la papa en el ámbito nacional.

En cuanto a la propuesta de plan ambiental del Departamento de Mercado de la Papa de CORABASTOS, se ha creado un marco legal que establece un objetivo ambiental general para promover modelos regionales sustentables y el uso óptimo y manejo adecuado de los recursos naturales. El desarrollo sustentable incluye programas para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad, cuyo propósito es prevenir, reducir y controlar los factores que deterioran la calidad ambiental, respetando el derecho constitucional de todo ciudadano a un am-

biente sano. Por otra parte, la Ley Nacional de Recursos Naturales y Renovables. En la Protección Ambiental; 1974 Ley No. 2811 El artículo 1 establece claramente que el medio ambiente es un patrimonio común que debe ser protegido por el Estado y los particulares, por lo que Corabastos, como entidad pública, debe hacer todo lo posible para lograrlo. La Sección III de la Parte Cuarta del citado Decreto Ejecutivo, en cuanto a residuos y desperdicios, establece: "Residuos, desperdicios, desperdicios y desperdicios en general de cualquier clase".

Lo mismo que en el artículo 36, en cuanto a la disposición final o tratamiento final de los residuos, evitando el deterioro del medio ambiente y la salud humana, reciclando sus componentes, elaborando nuevos productos y restaurando o mejorando el suelo.

En cuanto al sitio de investigación, este marco teórico ayuda a lograr el objetivo, ya que los modelos sostenibles servirán de base para validar la viabilidad de los modelos de innovación social transformadora con el objetivo de mejorar la gestión de los recursos, teniendo en cuenta los decretos y resoluciones del gobierno nacional [5].

### **Ambiental**

Un estudio realizado en Venezuela demostró que el uso de biofertilizantes es otra alternativa para el mantenimiento de las plantas, pues mediante el uso y la adaptación de fertilizantes sin químicos se registró un aumento en la productividad de la cosecha y en el crecimiento de la planta, y la hizo más sana y sostenible en el transcurso del tiempo que dura la cosecha.

Esta alternativa de fertilizante demuestra que se puede mejorar considerablemente el rendimiento de un cultivo con el simple hecho de cambiar el fertilizante, haciendo

que prevalezca la fertilidad del suelo y del medio en donde está la cosecha.

Existe gran variedad de alternativas para lograr mejorar las condiciones en las que se siembra la papa; una de ellas es hacer cultivos de papa de forma hidropónica, que consiste en utilizar líquidos con los minerales necesarios para el crecimiento de la planta; dichos minerales son disueltos en agua y son reposados debajo de la planta con el fin de brindarles las propiedades de forma directa a la planta. Este método reemplaza la tierra agrícola y ayuda a tener un mejor control de las plantas [6].

## 2. METODOLOGÍA

Un primer paso para el análisis del modelo de transferencia del conocimiento consiste

en identificar los agentes que conforman el sector papero en Colombia. En este caso se identifican dos tipos de agentes: los comerciales, quienes buscan beneficios económicos, y los no comerciales, que interactúan en el sector sin ánimo de lucro.

En este sentido, los primeros son un grupo conformado por papicultores pequeños, medianos y grandes, los cuales realizan oferta y demanda en el mercado a través de la comunicación y cooperación en relación con la papa. Por el otro lado, los no comerciales son conjuntos de entidades públicas y privadas cuyas funciones están enfocadas en aspectos académicos y científicos que tienen como un objetivo fortalecer el sector a través de actividades de investigación, de desarrollo e innovación de bienes y servicios. Estos agentes se presentan en la tabla 1 [2].

**Tabla 1.** Agentes no comerciales

Universidades	Espacio donde la labor intelectual se orienta a la comunicación, investigación, descubrimiento y creación [11].
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje oferta programas técnicos, tecnológicos y complementarios dirigidos al desarrollo económico, científico y social en Colombia [10].
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario, es una entidad pública del orden nacional que tiene la responsabilidad de garantizar la calidad de los insumos agrícolas y semillas que se utilizan en Colombia para el sector agropecuario [12].
Agrosavia	La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria es una entidad pública descentralizada que genera conocimiento científico y desarrollo tecnológico agropecuario a partir de la investigación científica, adaptación de tecnologías, transferencia de conocimientos y asesoría para mejorar la competitividad agrícola [13].

Estos agentes comerciales forman parte de la caracterización de los problemas que afectan a los comercializadores de papa.

Con base en la situación actual de la papa y teniendo en cuenta los agentes que forman parte de los problemas principales de los campesinos, se construyó un instrumento para caracterizar el sector agroindustrial de la papa en el municipio de Sibaté, que identifique las variables críticas que intervienen en los procesos de innovación social transformativa, para identificar las brechas sociales, económicas y ambientales que afectan a los papicultores. El instrumento de caracterización se diseñó con preguntas basadas en las tres dimensiones en las cuales se fundamenta el proyecto de innovación social transformativa que se formulan desde la perspectiva multinivel MLP que ha surgido para analizar la transición sociotécnica hacia la sostenibilidad, las cuales son:

1. Paisaje: “pone de relieve no solo el telón de fondo técnico y material que sustenta la sociedad, sino que también incluye las tendencias demográficas, las ideologías políticas, los valores sociales y las pautas macroeconómicas.” [1]

Como lo expone el autor Geels, el nicho básicamente son las variables del entorno en el que se desarrollan las actividades económicas, sociales y ambientales, por lo que a su vez se tiene en cuenta para esta parte de paisaje factores de suma importancia como lo es la infraestructura, la conexión a internet del sector papicultor, creencias y choques exógenos como lo son el impacto por el conflicto armado, enfermedades, acontecimientos naturales, entre otros.

2. Nicho: Los nichos son “espacios protegidos”, como laboratorios de I+D, proyectos de demostración subvencionados o pequeños nichos de mercado donde los usuarios tienen demandas especiales y están dispuestos a apoyar las innovaciones

emergentes. Los actores de los nichos (como los empresarios, las startups, las empresas derivadas) trabajan en innovaciones radicales que se desvían de los regímenes existentes [1].

En la variable de nicho para el proyecto de innovación se estudian factores de transferencia de conocimiento, procesos de comercialización, ingresos, acceso a educación, acceso a salud, capacitación. Factores propios de espacios protegidos.

3. Régimen: el régimen sociotécnico constituye la “estructura profunda” que da cuenta de la estabilidad de un sistema sociotécnico existente. Se refiere al conjunto semicoherente de reglas que orientan y coordinan las actividades de los grupos sociales que reproducen los distintos elementos de los sistemas sociotécnicos [1].

El régimen implica tener en cuenta las redes industriales, en lo que concierne a la cadena de valor, el abastecimiento de la producción y los indicadores de producción; por otra parte, la ciencia en tanto a los agentes comerciales, agentes no comerciales y la transferencia de conocimiento. También teniendo en cuenta el mercado en cuanto a los canales de comercialización, histórico de precios tanto de insumos como de la papa en sí. A su vez implica a la tecnología, en donde se analiza las tecnologías para la producción de la semilla. Y por último la política con la cadena productiva de la papa y la industria que se desarrolla en torno a dicho producto.

Las variables presentan cierta relación, ya que régimen y nicho conducen a consolidar el paisaje. El nicho y el régimen son variables que permiten conocer cómo está funcionando el sector de una fuente primaria, ya que se refiere al desarrollo cotidiano de



las labores agrícolas presentes en el cultivo de la papa. Por su parte, el paisaje consiste en factores externos que de una u otra forma se ven implicados en el desarrollo de actividades.

En cuanto a la relación de importancia se tiene el paisaje como la primera variable por analizar porque permite contrastar la información secundaria con lo que está presente de forma externa en el sector. Luego están las variables de régimen que permiten conocer de primera mano cómo funciona el sector y por último está el nicho que indica los procesos de aprendizaje y transferencia del conocimiento. Con estas tres variables se consolida una red de trabajo que inicia por contextualizar de fuentes secundarias y contrastar lo que está sucediendo en el sector actualmente [1].

Con base en los agentes comerciales, los problemas que afectan a la caracterización de los problemas relacionados con el cultivo de la papa y las tres variables definidas, se procede a crear el instrumento utilizando las clasificaciones con el objetivo de recopilar informaciones primarias y secundarias sobre varios aspectos relacionados con la producción y comercialización de la papa en el municipio de Sibaté.

### **Paisaje:**

- **Logística:** esta pregunta busca entender cómo se transporta y comercializa la papa. El resultado esperado es obtener información sobre el proceso de transporte y distribución de la papa en camiones alquilados.
- **Infraestructura:** se pregunta sobre el estado de las vías municipales y el acceso a sistemas de riego. Se espera obtener información sobre las condiciones de las vías y cómo se maneja el riego.

- **Educación:** esta pregunta se centra en el nivel de escolaridad de los agricultores. El resultado esperado es que la mayoría tenga una educación primaria no culminada.
- **Política:** se busca entender si el cambio de dirigente local afecta la producción y comercialización de la papa. El resultado esperado es que el cambio de dirigente no tenga un impacto significativo.
- **Conexión a internet:** se investiga si hay acceso a internet en la región y si hay beneficios percibidos. El resultado esperado es que no haya conexión a internet en la zona y que la percepción sea negativa.
- **Apoyo gubernamental:** esta pregunta informa sobre el apoyo gubernamental para facilitar el acceso a internet. El resultado esperado es que existe apoyo, especialmente para la población estudiantil [1].
- **Choques Exógenos:** se pregunta si la crisis de la COVID-19 tuvo un impacto duradero en el sector agrícola. El resultado esperado es que hubo dificultades durante la crisis, pero no se especifica un impacto continuo. Además, se plantea la pregunta sobre el conflicto armado, pero no se proporciona una respuesta en el instrumento [1].

### **Régimen:**

- **Mercado:** no se proporciona una pregunta específica en el instrumento, por lo que no se pueden identificar los resultados esperados.
- **Indicador de producción:** se pregunta sobre la producción de papa por hectárea y las variaciones estacionales. El resultado esperado es obtener información sobre la productividad y cómo varía con las estaciones.

- **Tecnología:** la pregunta se centra en el proceso de preparación del terreno. Se espera obtener detalles sobre cómo se prepara el terreno antes, durante y después de la siembra.
- **Cultura:** se indaga sobre las motivaciones para dedicarse a la agricultura y si se asiste a capacitaciones. El resultado esperado es obtener información sobre las razones para ser agricultor y la frecuencia de capacitaciones.
- **Efecto de capacitaciones:** esta pregunta busca comprender el impacto de las capacitaciones. El resultado esperado es obtener información sobre cómo estas capacitaciones benefician a los agricultores.
- **Transferencia de conocimiento:** se pregunta cómo se transfiere el conocimiento de generación en generación y sobre la importancia del nivel de estudio. Se espera obtener información sobre la tradición agrícola y la percepción de la educación en el sector.
- **Contratación de personal:** la pregunta se enfoca en la forma de contratación del personal. El resultado esperado es obtener detalles sobre cómo se contrata a los trabajadores.
- **Aporte a la pensión:** se informa sobre si los agricultores aportan al sistema pensional. El resultado esperado es conocer si los agricultores están contribuyendo a su seguridad financiera a largo plazo.
- **Ambiental:** se pregunta sobre los daños ambientales causados por el uso de productos químicos en la agricultura. El resultado esperado es obtener información sobre los impactos ambientales y la gestión de residuos químicos.
- **Disposición de residuos:** la pregunta se centra en la disposición final de los residuos de productos químicos. El resultado esperado es obtener detalles sobre cómo se manejan los residuos químicos.

#### Nicho:

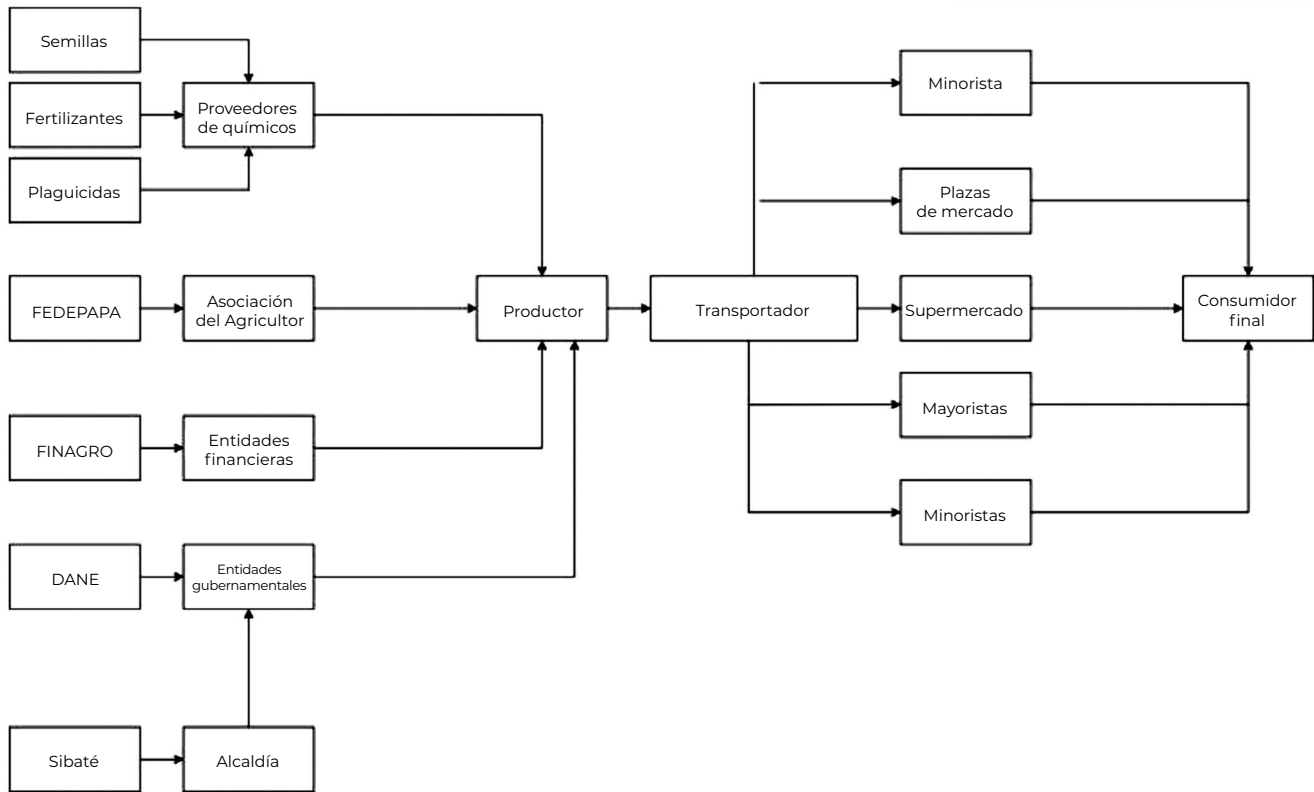
- **Económico:** se pregunta sobre las técnicas para incrementar la producción de papa. El resultado esperado es obtener información sobre las estrategias utilizadas para aumentar la producción.
- **Adquisición de Insumos:** se centra en cómo se adquieren insumos agrícolas. El resultado esperado es obtener detalles sobre el proceso de adquisición de insumos.
- **Social:** se busca comprender el impacto social del cultivo de papa y si el número de agricultores ha aumentado o disminuido. El resultado esperado es obtener información sobre el impacto en la comunidad y los cambios en el número de agricultores.

### 3. RESULTADOS

Este proyecto analiza cómo interactúan los agentes principales del sector papero colombiano durante el proceso de la comercialización de la papa, con el objetivo de comprender las restricciones que enfrentan, y así obtener un mejor modelo de solución para mitigar los principales problemas de los papicultores.

La comercialización de la papa se abarca de una cadena de valor que se muestra en la figura 1, el cual, de acuerdo con la aplicación del instrumento de caracterización, describe cómo se produce y se comercializa la papa con ciertas entidades que intervienen en el proceso de cada papicultor ya sea pequeño o mediano.

**Figura I.** Modelo conceptual de la cadena de valor de la papa



En concordancia con Geels, la innovación es un acontecimiento sistémico producido como resultado de la interacción entre diferentes actores. En el sector papero colombiano existe información entre agentes comerciales y no comerciales, la cual consiste en evaluar la situación actual de los papicultores teniendo en cuenta paisaje, régimen y nicho.

Con esta finalidad, se identifican problemas y se desarrollan soluciones a partir de innovaciones para ser aplicadas en la competitividad y en la sostenibilidad de la comercialización de la papa [1].

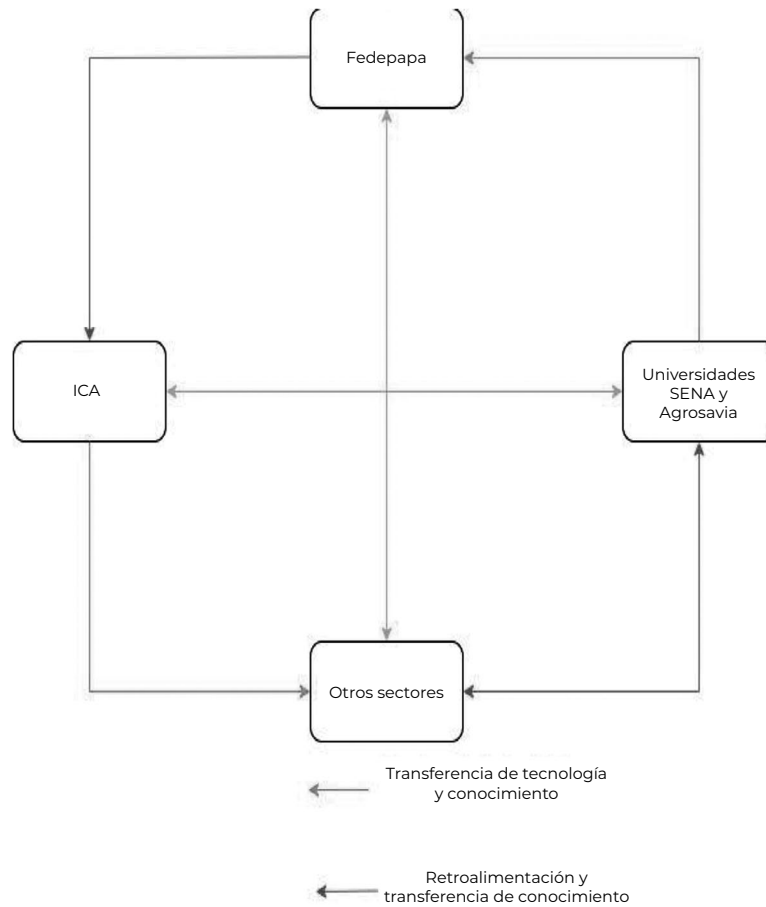
En el sector papero y como resultado de la encuesta, se encontró que la papa es el principal agente de transferencia del conocimiento; de ahí se originan múltiples generaciones de ideas. Con esto, se comparte

información entre papicultores, comercializadores e incluso instituciones para mejorar las prácticas agrícolas, arreglar la productividad de la papa e identificar los principales impedimentos que surgen tanto en la cadena como en la comercialización, esto es con el objetivo de comprender y de implementar más prácticas agrícolas para fortalecer el sistema en Sibaté.

Las dinámicas y relaciones entre los agentes del sector papero colombiano se muestran en la figura 2, las cuales detallan el funcionamiento del modelo de transferencia del conocimiento el cual funciona por los intercambios de tecnología, de saberes y por retroalimentación entre agentes.

La clave para el funcionamiento es gracias a la innovación que se desarrolla de generación en generación entre los agentes y actores.

**Figura 2.** Modelo conceptual de la innovación social transformativa con base en la transferencia del conocimiento



El modelo de transferencia de conocimiento, como núcleo de la innovación social transformativa para el sector de la papa en el municipio de Sibaté, tiene como objetivo aportar al comercio y a la productividad; por ende, se ha creado una red de agentes quienes comparten información de investigación y desarrollo (I+D), lo cual permite una coevolución entre actores de la cadena de valor. Estos interactúan progresivamente y reciben soporte de profesionales ya sea de la alcaldía o de la gobernación. Así se evidencia una transferencia del conocimiento a través de diferentes etapas de la cadena tanto en la producción como en el comercio y transporte de la papa [2].

La transferencia de conocimiento, sin duda alguna, es una metodología fundamental para el desarrollo del modelo de innovación social transformativa en el sector de la papa en Sibaté; no obstante, de acuerdo con las encuestas, no hay mucho compromiso de Fedepapa con los papicultores, lo cual provoca que haya limitaciones en la producción y en la comercialización de la papa con los proveedores. La transferencia del conocimiento entre los actores es la clave para aumentar la cantidad de personas en la cadena de valor y así controlar los principales problemas de la comercialización del producto. Con la solución de las limi-

taciones aumentaría la competitividad del municipio con otros tanto de Cundinamarca como de Boyacá.

#### 4. CONCLUSIONES

- Desde la perspectiva conceptual, la transferencia del conocimiento es una herramienta fundamental en la introducción de la innovación social transformativa en la producción y comercialización de la papa en Sibaté. Esto conduciría a mejoras en la calidad de vida de los papicultores pequeños y medianos.
- Con base en los resultados obtenidos del programa Nvivo y de la aplicación del instrumento de caracterización en Sibaté, se concluye que las interacciones entre los agentes del sector papero (comerciales y no comerciales) permiten que el modelo de la transferencia del conocimiento se haga a partir de intercambio de conocimientos entre agricultores, es decir, se ayuden mutuamente en intercambio de implementos para el cultivo de la papa, como plaguicidas, semillas, entre otros

recursos, lo cual es positivo porque aportaría a la productividad y al desarrollo del municipio en cuanto al comercio y a su economía.

- A partir del análisis con base en los resultados arrojados por el programa Nvivo, se afirma que Fedepapa no cumple una gran función dentro de la transferencia del conocimiento debido a que solo consume tecnología e innovaciones por parte del sector de investigación (universidades, SENA). Por otro lado, el ICA participa en la innovación de conocimientos hacia otros agentes y sectores con base en las investigaciones por parte de agentes no comerciales.
- De otro lado, aunque las universidades y otras instituciones tienen gran importancia dentro de la transferencia del conocimiento, el proceso es relativamente limitado debido a que sus investigaciones se centraron en ciertos estudios que, a pesar de que son esenciales, dejan por fuera otros temas como la situación actual de los papicultores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Geels, "Multi-Level Perspective on System Innovation: Relevance for Industrial Transformation," The University of Manchester, 2004. [Online]. Disponible: <https://doi.org/10.14483/22487638.19071>
- [2] J. I. Campos - Naranjo y G. Forero - Cantor, "Análisis del modelo de transferencia de conocimiento en el sector palmífero colombiano," 2023. [Online]. Disponible: <https://doi.org/10.14483/22487638.19071>
- [3] A. Granados y A. Guzmán, "Plan Estratégico de Recolección, Empaque y Distribución de Papa y Cebolla en el Tramo de Boyacá – Bogotá," Facultad de Ingeniería, Universidad Javeriana, Bogotá D.C., 2003, p. 23. [Online]. Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/71418781.pdf>
- [4] K. González y K. Galera, "Efectos del cambio climático sobre la producción de papa en el municipio de Villapinzón (Cundinamarca-Colombia) a partir del Enfoque Ricardiano," Revista de Investigación Agraria y Ambiental, vol. 5, no. 1, pp. 230-231, 2014. [Online]. Disponible: <https://doi.org/10.22490/21456453.958>
- [5] I. García, C. Rodríguez, y F. Univio, "Evaluación de la Cadena de Suministro del Solanum Tuberosum Variedad Pastusa Suprema en Cundinamarca, Bajo los Lineamientos del Modelo," 2016.
- [6] C. Porras y C. Teuta, "Plan de manejo ambiental del sector de comercialización de la papa en la corporación de abastos de Bogotá s.a. Corabastos," Universidad Libre, Sede Bosque Popular, Bogotá, 2006. [Online]. Disponible: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11004>
- [7] M. Coca, J. Burgos, y N. Tapia, "Virus Incidence Associated with Native Potato Yield in Microcenters of Potato Genetic Diversity of Bolivian," American Journal of Potato Research, p. 385, 2021. [Online]. Disponible: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12230-021-09850-3.pdf>
- [8] P. M. Villa, L. Sarmiento, F. J. Rada, D. Machado, y A. C. Rodrigues, "Índice de área foliar del cultivo de papa bajo tres tratamientos de fertilización nitrogenada," 2012. [Online]. Disponible: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/62110/63771>
- [9] G. G. Cotrina Cabello, E. D. Esteban Nolberto, K. M. Huanhuayo Huachos, M. Palomino Chávez, y L. Y. Melgar Ávila, "Índice de área foliar del cultivo de papa bajo tres tratamientos de fertilización nitrogenada," 2021. [Online]. Disponible: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/62110/63771>
- [10] Inicio - Función Pública. Accedido el 13 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/servimos/assets/convenios/Sena.pdf>
- [11] "Universidad | Diccionario de la lengua española". «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Accedido el 13 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://dle.rae.es/universidad>
- [12] El Ica "ICA". Disponible: <https://www.ica.gov.co/el-ica>
- [13] Agrosavia (no date) Qué hacemos, Corporación colombiana de investigación agropecuaria. Disponible: <https://www.agrosavia.co/que-hacemos#:~:text=La%20Corporaci%C3%B3n%20colombiana%20de%20investigaci%C3%B3n,del%20conocimiento%20cient%C3%ADfico%20y%20el> (Accessed: 13 February 2024).

# IDENTIFICACIÓN DE OBJETOS A TRAVÉS DE VISIÓN POR COMPUTADOR PARA MONITOREO DE INVENTARIOS EMPLEANDO UN DRON

Identification of objects through computer vision for inventory monitoring using a drone

**Andrés Felipe Forero**

<https://orcid.org/0000-0002-7584-086X>.

Corporación Universitaria Republicana, Bogotá, Colombia, [aforerog@urepublicana.edu.co](mailto:aforerog@urepublicana.edu.co)

**Yuny Duván Beltrán Salcedo**

<https://orcid.org/0009-0006-4613-4671>.

Corporación Universitaria Republicana, Bogotá, Colombia, [yd.beltran@urepublicana.edu.co](mailto:y.d.beltran@urepublicana.edu.co)

**Evelyn Garnica Estrada**

<https://orcid.org/0000-0002-6205-7817>.

Corporación Universitaria Republicana, Bogotá, Colombia, [egarnicae@urepublicana.edu.co](mailto:egarnicae@urepublicana.edu.co)

## RESUMEN

*El presente artículo se enfoca en el desarrollo de un sistema de monitoreo utilizando la tecnología de visión por computadora y drones, para facilitar la gestión de inventarios en empresas y almacenes, lo cual es una actividad que requiere un esfuerzo humano considerable y a menudo es propenso a errores. Este proyecto busca abordar estos desafíos utilizando un enfoque innovador que combine la capacidad de los drones para recorrer grandes áreas con la precisión de los algoritmos de visión por computadora para identificación, monitoreo y conteo de elementos en tiempo real, proceso que reduce los costos operativos y mejora la precisión y la velocidad del proceso, lo cual garantiza mayor seguridad y efectividad.*

**Palabras clave:** Inventarios, visión por computador, Drones, monitoreo, identificación.

## ABSTRACT

*This article focuses on the development of a monitoring system using computer vision and drone technology, to facilitate inventory management in companies and warehouses, which is an activity that requires considerable human effort and is often prone to mistakes. This project seeks to address these challenges using an innovative approach that combines the ability of drones to roam large areas with the precision of computer vision algorithms for identification, monitoring and counting of elements in real time, reducing operational costs, improving precision and speed of the process, guaranteeing greater safety and effectiveness.*

**Keywords:** Inventories, computer vision, Drones, monitoring, identification.

## 1. INTRODUCCIÓN

La identificación e inspección de objetos representa una de las aplicaciones más destacadas de la visión por computadora, lo que ha impulsado notables avances en diversos campos. Esta tecnología ha sido fundamental en la automatización, monitoreo y control de una amplia gama de áreas, pues ofrece aplicaciones y soluciones innovadoras en sectores industriales, de vigilancia e identificación, así como en entornos de asistencia bajo condiciones controladas [1].

El rápido avance de las capacidades de los sistemas computacionales y de las cámaras ha posibilitado la implementación de técnicas y algoritmos altamente eficaces para el proceso de identificación y reconocimiento de patrones. Estas innovaciones han permitido su aplicación en diversos sistemas de control de calidad en los procesos de producción, con el potencial de mejorar y optimizar significativamente dichos procesos [2]. Este artículo tiene como objetivo presentar una propuesta para la implementación de un sistema de visión por computadora en los procesos logísticos, centrado específicamente en el monitoreo de inventarios.

Si bien es cierto, el recurso humano está en la capacidad de realizar las actividades de monitoreo y seguimiento de inventarios; sin embargo, factores como el cansancio, estrés, el deterioro de la visión, la distracción y en los casos de trabajo en alturas, el riesgo de realizar esta labor, hacen que las personas no sean el recurso más óptimo para llevar a cabo la tarea de monitoreo de inventarios. Una ventaja de la tecnología, y en este caso los sistemas basados en visión por computador, es que no presentan estas dificultades, y pueden ser un apoyo para el recurso humano [3].

El monitoreo y control de inventarios es usado para controlar el flujo de productos que entran y salen de una organización. Cada empresa maneja de forma autónoma las estrategias para realizar los inventarios.

En Colombia existe un gran número de empresas e instituciones que carecen de un sistema de control en las estanterías de las bodegas, y actualmente manejan su monitoreo y control de inventarios de forma manual; por tanto, se generan fallas en la gestión de la administración de activos, problemas de seguridad, entre otros.

El proyecto se realiza con el fin de buscar una solución tecnológica para las empresas en el control y manejo de sus inventarios, para minimizar los riesgos en trabajo en alturas, disminuir tiempo de verificación de inventarios y generar una aplicación funcional en la Corporación Universitaria Republicana., específicamente en el laboratorio de logística del programa de Ingeniería Industrial.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Visión por computador

La visión por computador también conocida como visión técnica o visión artificial se ha definido como “un campo de la inteligencia artificial que, mediante la utilización métodos para adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes del mundo real, se puede producir información numérica o simbólica para que puedan ser interpretados computacionalmente” [4].

Los sistemas de visión por computador generalmente son usados para cuantificar las características físicas de un objeto, de manera automática sin intervención humana, a través de medios ópticos como, por ejemplo, las cámaras, con el objetivo de extraer



información del objeto [5].

“La visión por computador surge en la década de los 60 del siglo pasado con la idea básica de conectar una cámara de video a un computador; esto implicó no solo la captura de imágenes a través de la cámara sino también la comprensión de lo que estas imágenes representaban”. [6].

El trabajo que marcó el inicio de la visión por computador, fue un programa llamado “mundo de microbloques” creado por Larry Roberts en 1961, el creador de ARPAnet: El programa constaba de, “un robot que podía ver técnicamente una estructura de bloques sobre una mesa, analizar su contenido y reproducirla desde otra perspectiva, demostrando así que esa información visual que había sido mandada al ordenador por una cámara, había sido procesada por él” [6].

A partir de esta década, las técnicas empleadas en visión artificial se han desarrollado aceleradamente gracias al avance de los sistemas computacionales, lo que ha permitido la generación de nuevos algoritmos para identificación, detección y reconocimiento de objetos con diferentes tipos de iluminación y variables físicas en el ambiente.

Las actividades de la visión artificial se basan fundamentalmente en dos áreas: el procesamiento de imágenes digitales, que tiene como fin describir y reconocer el contenido de una imagen digital; esta área se enfoca en el análisis y manipulación de imágenes digitales para extraer información útil o realizar acciones específicas; incluye técnicas como filtrado de imágenes, segmentación, detección de bordes, eliminación de ruido y mejora de imágenes, todo esto, con el objetivo tener las características fundamentales de una imagen, lo que puede incluir identificar objetos,

reconocer patrones o segmentar áreas de interés [7].

Y, por otro lado, está la visión computacional, que se centra en el desarrollo de algoritmos especializados y sistemas de hardware, que facilitan la interpretación y comprensión del contenido visual de manera similar a como lo hace el ser humano. Esto implica dotar a las máquinas de la capacidad de analizar imágenes, reconocer objetos, entender la profundidad y la perspectiva, realizar seguimiento de movimientos y tomar decisiones basadas en la información visual recibida. En esencia, la visión computacional busca simular la visión humana en sistemas informáticos [6][8].

Ambas áreas, procesamiento de imágenes y visión computacional están estrechamente relacionadas y se complementan entre sí, ya que el procesamiento de imágenes digitales proporciona las herramientas y técnicas necesarias para analizar y manipular imágenes, mientras que la visión computacional utiliza estos resultados para permitir que las máquinas interpreten y comprendan el mundo visual que las rodea; es así como estas áreas forman la base de la visión artificial.

De acuerdo con lo anterior, la captura de imágenes se hace mediante cámaras y su posterior tratamiento a través de técnicas de procesamiento digital de imágenes, que consiste en tomar una imagen y producir una versión modificada para mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información [4].

## 2.2 Drones

Los drones, “también conocidos como vehículos aéreos no tripulados (UAV), son aeronaves controladas de forma remota que no requieren un piloto humano a bor-

do para su operación” [9]. Estas aeronaves pueden ser controladas de forma manual por un operador o pueden volar de forma autónoma siguiendo rutas preprogramadas. Los drones con cámara se emplean para la captura de imágenes y videos, el mapeo y la inspección de terrenos, la entrega de paquetes, la vigilancia y el monitoreo, entre otros.

Para las aplicaciones de monitoreo e inventarios se requiere un dron indoor (para interiores), basado en una estructura ligera, con propulsores o hélices giratorios con motores eléctricos que generan la fuerza necesaria para que el dron se eleve y se mueva en el espacio de operación.

Los drones poseen un sistema de control de vuelo, responsable de procesar las señales de los sensores y los comandos del piloto o del sistema de navegación automática, además de controlar los motores para mantener la estabilidad y la dirección del dron, junto con los sistemas de navegación y posicionamiento que les permiten determinar su ubicación en el espacio tridimensional y seguir rutas predefinidas o comandos del piloto.

Esto puede incluir receptores GPS, sistemas de navegación inercial (INS) y sensores de posición [10].

### 2.3 Gestión de inventarios

El término inventario significa la confirmación o verificación del tipo de existencias del cual dispone una empresa mediante un recuento de los materiales existentes [11]; en ese sentido, la gestión de inventarios se refiere al proceso de supervisar y controlar el flujo de mercancías o productos en una empresa [12], lo que implica todas las actividades relacionadas con la adquisición, almacenamiento, seguimiento y venta de

inventario, para garantizar que la cantidad adecuada de productos esté disponible en el lugar correcto y en el momento adecuado [11], al mismo tiempo que se minimizan los costos asociados con el almacenamiento y la obsolescencia.

La gestión efectiva de inventarios es crucial para el éxito operativo y financiero de una empresa, ya que puede tener un impacto significativo en la satisfacción del cliente, los costos de almacenamiento y los márgenes de ganancia [13]. Una gestión de inventarios eficiente puede ayudar a mejorar la operación, reducir los costos y aumentar la rentabilidad global de una empresa [14].

Al emplear tecnología en la gestión de inventarios se puede mejorar la planificación de la demanda, optimizar el control de Inventarios para evitar excesos o faltantes, lo cual facilita la rotación de productos para evitar la obsolescencia y garantizar que los productos más antiguos se vendan antes de que caduquen o se vuelvan obsoletos. Por otra parte, se facilita el control de calidad al poder hacer inspecciones periódicas para garantizar la calidad y la integridad de los productos almacenados, así como para identificar y eliminar productos defectuosos o dañados.

## 3. METODOLOGÍA

El proyecto propuesto se abordó mediante investigación descriptiva y experimental, enfocado a un problema real, con el fin de describir, interpretar y entender la naturaleza de la gestión de inventarios y la aplicación de alternativas tecnológicas, con el fin de generar una solución escalable en diferentes tipos de industrias.

El proyecto se abordó en cuatro fases:

1. Documental: investigación teórica y estado del arte de los sistemas de inventario actuales.
2. Análisis de Requerimientos: identificar las necesidades y objetivos del sistema de monitoreo de inventarios, que incluyen la frecuencia de monitoreo, el tamaño del área por cubrir, los tipos de productos por identificar, etc. Definir los criterios de éxito y los indicadores clave de rendimiento KPI (por su sigla en inglés) para evaluar la efectividad del sistema.
3. Selección y adquisición de equipos: investigar y seleccionar el dron adecuado para las necesidades del proyecto, considerando factores como el alcance de vuelo, la duración de la batería, la capacidad de carga útil y las características de la cámara.
4. Programación del dron: generación de rutinas programadas para que el vehículo funcione de forma autónoma.
5. Visión artificial: aplicación de técnicas de visión artificial para el reconocimiento de productos desde el dron.
6. Integración de estrategia logística, programación del dron y técnica de detección y reconocimiento de objetos.
7. Pruebas y Validación: realizar pruebas en entornos controlados para validar el funcionamiento del sistema en diferentes condiciones de iluminación, tipos de productos y escenarios de inventario.

#### 4. DESARROLLO

El sistema de identificación y conteo de objetos para monitoreo de inventarios se fundamentó en el desarrollo de un sistema de inventario de bodega del Laboratorio de Logística de la sede de ingeniería de la Corporación Universitaria Republicana.

**Figura 1.** Laboratorio de Logística.



En la estantería se tienen cajas con productos del laboratorio marcadas con adhesivos de color blanco, que fueron utilizados para detectar y contar los elementos a partir de las capturas de cámara del dron.

El dron empleado de referencia CoDrone es fabricado por Robolink [15], una empresa dedicada a la educación STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) [16] que se especializa en proporcionar herramientas y recursos para enseñar programación y robótica en el aula [16].

Se eligió este dron por su tamaño y peso reducidos, que le permite volar en interiores; además tiene alta compatibilidad con lenguajes de programación avanzados como Python. Por otra parte, está equipado con una variedad de sensores y capacidades de vuelo, lo que permite manejar la estabilidad de vuelo, la detección de obstáculos y el seguimiento de la posición.

##### 4.1 Sistema de captura

Se empleó un dron con cámara Petrone el cual fue programado en Python con las rutinas de movimiento para desplazarse en-

frente de la estantería y así realizar la captura de las imágenes.

**Figura 2.** CoDrone con cámara Petrone [15]



## 4.2 Procesado de imágenes

Existen diversas herramientas para trabajar procesado de imágenes; para este caso se utilizó el entorno de desarrollo PyCharm junto con las librerías de OpenCV y Petrone\_V2.

Python es un lenguaje de programación interpretado, interactivo y orientado a objetos. Tiene una sintaxis muy simple y amigable y, además, es un lenguaje de programación potente y de propósito general [17].

OpenCV es una biblioteca multiplataforma libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel [18], que tiene como objetivo proveer una infraestructura de visión por computador fácil de utilizar que ayuda a los programadores a desarrollar aplicaciones 'sofisticadas' de CV (Computer Vision) rápidamente, y además permite visualizar datos fácilmente y extraer información de imágenes y videos, ya que tiene funciones de captura y presentación de imágenes [19].

Petrone\_V2 es una librería para tener comunicación y acceso con la cámara petrone integrada en el dron.

Pasos por seguir:

1. Instalar Python (desde 2.7.10)
2. Instalar PyCharm
3. Abrir PyCharm IDE Luego ir a DefaultSettings> PythonInterpreter.
4. Seleccionar la versión instalada de Python en el Paso 1.
5. Instalar los paquetes Open CV, numpy, matplotlib y petrone .
6. Reiniciar PyCharm.

Para iniciar con la identificación de objetos se emplearon los siguientes pasos:

1. Conexión con la cámara en tiempo real
2. Configurar características iniciales (captura de video)
3. Convertir la imagen capturada a escala de grises
4. Aplicación de filtro para eliminación de ruido
5. Aplicación del detector de bordes
6. Búsqueda de contornos
7. Presentar resultado en pantalla

El código inicia con la importación de la librería OpenCV:

```
import cv2
```

Luego, se generó la conexión de la cámara bajo el protocolo de transmisión en tiempo real (Real Time Streaming Protocol) que establece y controla el flujo sincronizado de datos, en este caso de video. RTSP utiliza el puerto de la cámara IP. Para hacer la captura de video se llamó de la siguiente forma:

```
cap = cv2.VideoCapture('rtsp://192.168.100.1/cam1/mpeg4')
```

Luego se establece la altura y ancho de la ventana en donde se desplegará el video capturado por la cámara:

```
w = cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH);
```

```
h = cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT);  
fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'XVID')  
out = cv2.VideoWriter('outputVideo.avi',  
fourcc, 20.0, (int(w), int(h)));
```

Una vez está lista la captura, se inicia un while, que condicione el proceso mientras exista una captura cuadro a cuadro.

```
while (cap.isOpened()):  
ret, frame = cap.read()  
cv2.imshow('Video Frame', frame)
```

Luego se convierte la imagen obtenida a color a escala de grises con el método cv2.cvtColor de la siguiente manera:

```
gris = cv2.cvtColor(frame,  
cv2.COLOR_BGR2GRAY)
```

Seguidamente se realiza un filtro a la imagen, para lo cual conviene realizar un suavizado Gaussiano para reducir el ruido y suavizar la imagen, preservando al mismo tiempo las características importantes. Este método se basa en la convolución de la señal o la imagen con un filtro Gaussiano. El método cv2.GaussianBlur() admite 3 parámetros:

- La imagen debe estar en escala de grises.
- El kernel o máscara de convolución. Este debe ser impar. Se emplea una matriz de 13x13.
- Es necesario considerar que, si el kernel es demasiado grande, se hará un suavizado muy intenso y la imagen tendrá menos detalles.
- El último parámetro es sigma ( $\sigma$ ) que significa la desviación estándar en el eje X, es decir, la anchura de la campana Gaussiana, por defecto se deja a 0. Esto hace que el método ponga el valor más adecuado de forma automática.

```
gauss = cv2.GaussianBlur(gris, (13, 13), 0)  
cv2.imshow("suavizado", gauss)
```

Una vez se tiene la imagen o captura de video filtrada, para facilitar el reconocimiento de objetos, la segmentación de regiones, entre otras, se han desarrollado variedad de algoritmos que ayudan a realizar el reconocimiento.

Se utilizó el algoritmo de Canny [19] para realizar el proceso de detección de todos los bordes existentes en una imagen; mediante el empleo de máscaras de convolución y basado en la primera derivada es posible obtener los contornos que, básicamente, se constituyen como una zona de píxeles en las que existe un cambio de nivel de gris.

El algoritmo de Canny consiste en tres pasos [20]:

- Obtención del gradiente: en este paso se calcula la magnitud y orientación del vector gradiente en cada píxel.
- Supresión no máxima: en este paso se logra el adelgazamiento del ancho de los bordes, obtenidos con el gradiente, hasta lograr bordes de un píxel de ancho.
- Histéresis de umbral: en este paso se aplica una función de histéresis basada en dos umbrales; con este proceso se pretende reducir la posibilidad de aparición de contornos falsos.

El algoritmo de Canny se define de la siguiente forma:

```
canny = cv2.Canny(gauss, 150, 300)
```

```
cv2.imshow("canny", canny)
```

El método cv2.Canny. Admite 3 parámetros:

**Gauss:** antes de aplicar Canny, es común aplicar un filtro Gaussiano para suavizar la imagen y reducir el ruido. Por lo tanto, gauss suele ser la imagen de entrada.

**150:** este parámetro es el umbral mínimo. Canny utiliza dos umbrales para determinar cuáles píxeles pertenecen a bordes y cuáles no. Este valor representa el umbral mínimo, y cualquier gradiente de intensidad de píxel por debajo de este valor se descartará como no siendo parte de un borde.

**300:** este parámetro es el umbral máximo. Cualquier gradiente de intensidad de píxel por encima de este valor se considera definitivamente como parte de un borde. Los píxeles con gradientes de intensidad entre el umbral mínimo y el umbral máximo se clasificarán como bordes solo si están conectados a píxeles que están por encima del umbral máximo.

Una vez se tienen los bordes, se buscan los contornos con el método `cv2.findContours()`.

```
(_, contornos, _) = cv2.  
findContours(canny.copy(), cv2.RETR_  
EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
```

Solo se detectan los bordes externos con el argumento: (`cv2.RETR_EXTERNAL`) y se hará una aproximación para eliminar los píxeles redundantes del contorno (`cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE`).

Luego se escribe en pantalla el número de objetos encontrados gracias a la búsqueda de los contornos.

```
print("He encontrado {} objetos".  
format(len(contornos)))  
suma=len(contornos)+len(contornos)  
print ("el total de objetos encontrados es")  
print (suma)
```

Luego se dibujan los contornos sobre la imagen original con el método `cv2.drawContours()`.

```
cv2.drawContours(frame, contornos, -1,  
(0, 0, 255), 2)  
cv2.imshow("contornos", frame)
```

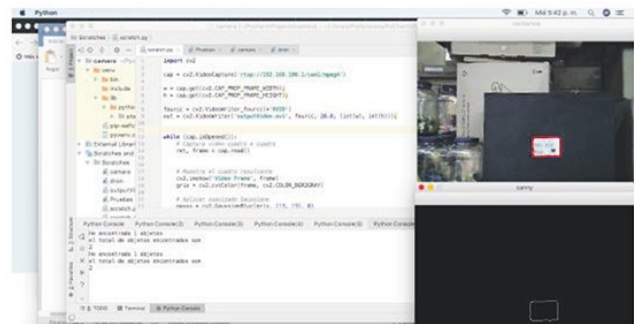
Con este código se tiene la identificación de objetos de forma autónoma mediante la cámara del dron.

## 5. RESULTADOS OBTENIDOS

Dentro del ambiente del laboratorio de logística se tiene la estantería con cajas y otros objetos, en donde se logra realizar la identificación y conteo de las cajas que tienen el adhesivo.

En tiempo de ejecución se aprecia el número de objetos encontrados, la suma que muestra el total de objetos encontrados y la imagen del producto.

**Figura 3.** Vista ejecución (identificación y conteo de cajas)[15]



Además del conteo de objetos, el sistema pudo capturar imágenes de los productos identificados, lo que permite una verificación visual de los resultados obtenidos.

El sistema demostró eficacia en la identificación y conteo de las cajas con el adhesivo deseado, lo que sugiere su capacidad para agilizar y automatizar el proceso de monitoreo de inventarios en entornos logísticos.

Se observó que el sistema es fácil de usar y proporciona información clara y precisa so-

bre el estado del inventario, lo que facilita la toma de decisiones por parte del personal encargado de la gestión de inventarios.

Los resultados obtenidos muestran que el sistema de monitoreo de inventarios apoyado por un dron es efectivo para identificar, contar y visualizar objetos en tiempo real en un entorno de laboratorio, lo que sugiere su potencial para mejorar la eficiencia y precisión de la gestión de inventarios en diversos contextos industriales.

## 6. CONCLUSIONES

Las capacidades computacionales brindan la oportunidad de automatizar una amplia gama de tareas cruciales para la toma de decisiones. A través de la visión por computadora, es posible automatizar tareas repetitivas de inspección que tradicionalmente son realizadas por operadores humanos, como lo son: controles de calidad de productos, inspecciones de objetos sin necesidad de contacto físico, y la posibilidad de llevar a cabo la inspección del 100% de la producción, lo que garantiza una calidad total, todo ello a una velocidad superior [19]. Emplear tecnologías emergentes a este tipo de aplicaciones, no solo reduce los tiempos de procesamiento, sino que también aumenta la seguridad y ofrece otras ventajas significativas [21].

El sistema desarrollado demostró su eficacia en el entorno del laboratorio de logística, pues logró identificar y contar con precisión las cajas que tenían el adhesivo requerido. Estos resultados confirman que

la combinación de tecnología de drones y visión por computadora tiene el potencial de ser una herramienta poderosa para mejorar la gestión de inventarios, lo cual ofrece una solución precisa y confiable.

El éxito alcanzado en un entorno controlado sugiere que el sistema tiene un gran potencial de aplicación en diversas industrias y entornos logísticos que requieran un monitoreo preciso y en tiempo real de los inventarios.

Sin embargo, tras la validación y las pruebas realizadas, surgieron recomendaciones asociadas tanto al hardware como al software. En cuanto al hardware, se observó que la duración limitada de la batería podría ser un problema, ya que el movimiento y la captura de video consumen energía [22], lo que lleva a una rápida descarga de las baterías. En cuanto al software, se identificó la necesidad de seleccionar cuidadosamente el entorno de desarrollo más adecuado para trabajar con Python, OpenCV y Petrone. Después de una fase inicial de búsqueda y pruebas, se optó por utilizar PyCharm debido a su compatibilidad con la librería de Petrone.

Además, al realizar pruebas en el laboratorio, se notó que las cajas podían parecer diferentes bajo diversas condiciones, como cambios en la iluminación o el color, así como en la dirección de observación. Por lo tanto, es crucial manejar los contrastes y las condiciones de luminosidad en el ambiente donde se aplique el sistema de identificación para garantizar su efectividad y precisión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Pajares and J. M. Cruz, *Visión por computador. Imágenes Digitales y Aplicaciones*. 2a Edición. España, RA-MA S.A. Editorial y Publicaciones. 2007.
- [2] J. A. Somolinos Sánchez, *Avances en robótica y visión por computador*. España, Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2002.
- [3] J. A. Cortés, F. A. Medina, J. A. Mendoza. Sistema de visión por computador para el control de calidad en la producción. *Revista Scientia et Technica*. Vol. 2, Núm. 45 (2010). DOI: <http://dx.doi.org/10.22517/23447214.389>
- [4] M. Domingo, *Visión por Computador*. Departamento de Ciencia de la Computación Universidad Católica de Chile Santiago de Chile Disponible en: <http://dmery.sitios.ing.uc.cl/Prints/Books/2004-ApuntesVision.pdf>. 2004.
- [5] L. Flores, B. Neupane, M. Rivera, P. Sibal, UNESCO, H. Xianhong, *El Aporte de la Inteligencia Artificial y las TIC Avanzadas a las Sociedades del Conocimiento: Una Perspectiva de Derechos, Apertura, Acceso y Múltiples Actores*. N.p., UNESCO Publishing, 2021.
- [6] S. Marchand-Maillet and M. Sharaiha, *Binary Digital Image Processing a Discrete Approach*, Academic Press, San Diego, California, 2005.
- [7] R. Shun. *Sistemas de Visión Artificial, Historia, Componentes y Procesamiento de Imágenes*. Summary. 2016.
- [8] N. L. Fernández. *Introducción a la visión artificial*. Universidad de Córdoba. Escuela Politécnica Superior. Máster de sistemas inteligentes. 2016.
- [9] F. Sabry, *Vehículo Sin Tripulación: Tecnologías emergentes para aeronaves, vehículos, submarinos y barcos sin tripulación para agruparse y tomar decisiones en paz y guerra sin necesidad de interacción humana*. Mil Millones De Conocimientos, 2022.
- [10] M. Hassanalain, A. Abdelkefi, Classifications, applications, and design challenges of drones: A review, *Progress in Aerospace Sciences*, Volume 91, 2017, Pages 99-131, ISSN 0376-0421, <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.04.003>[11] P. P. Meana Coalla, *Gestión de inventarios*. España, Ediciones Paraninfo, S.A, 2017.
- [12] J. López, *Gestión de inventarios*. España, Editorial Elearning, S.L., 2014.
- [13] M. Espejo, *Gestión de inventarios*. España, Marge Books, 2022.
- [14] C. J. Vidal, *Fundamentos de control y gestión de inventarios*. Colombia, Universidad del Valle, 2010.
- [15] Codrone, Robolink. <https://www.robolink.com/products/codrone-pro>
- [16] Colombia Aprende, ¿Qué es STEM? <https://especiales.colombiaaprende.edu.co/rutas-tem/definicion.html>
- [17] I. Challenger-Pérez, Y. Díaz-Ricardo & R. Becerra-García, El lenguaje de programación Python. *Ciencias Holguín*, XX (2), 1-13. 2014.
- [17] A. Canny, Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6), pp. 679-698 (1986).
- [18] OpenCV, de © Copyright equipo de OpenCV, 2018. <https://opencv.org/about.html>
- [19] A. Canny, Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6), pp. 679-698, 1986.



- [20] J. Valverde Rebaza, Detección de bordes mediante el algoritmo de Canny. Escuela Académico Profesional de Informática Universidad Nacional de Trujillo, 2014. [https://www.researchgate.net/profile/Jorge\\_Valverde-Rebaza/publication/267240432\\_Deteccion\\_de\\_bordes\\_mediante\\_el\\_algoritmo\\_de\\_Canny/links/548dd1ae0cf225bf66a5f636/Deteccion-de-bordes-mediante-el-algoritmo-de-Canny.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Valverde-Rebaza/publication/267240432_Deteccion_de_bordes_mediante_el_algoritmo_de_Canny/links/548dd1ae0cf225bf66a5f636/Deteccion-de-bordes-mediante-el-algoritmo-de-Canny.pdf)
- [21] MEN Gobierno de España, Visión Artificial. Aplicación práctica de la visión artificial en procesos industriales. 2012. [http://visio-nartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD\\_1\\_didac\\_Conceptos\\_previos.pdf](http://visio-nartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf)
- [22] A. Bermúdez, P. Ramírez, Y. Herrera y W. Olaya Romero, Propuesta de mejoramiento de la seguridad mediante drones en la ciudad de Bogotá (Project Selantrophus), RIMCI, vol. 9, n.º 17, pp. 105-115, ene. 2022. <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2022.v9.n17.a115>



# PERSPECTIVA JURÍDICA DE LAS DIFERENCIAS ENTRE DAÑO AMBIENTAL E IMPACTO AMBIENTAL EN EL CONTEXTO COLOMBIANO

Differences between environmental damage and environmental impact - legal perspective in the colombian context

## Camila Martínez Castañeda

Estudiante de Ing. Ambiental y de Especialización en Gerencia Ambiental en la Universidad Libre, Bogotá, Colombia,  
camila-martinezc@unilibre.edu.co

## Adriana Ospitia Ferrer

M.Sc. Ing. Química, Especialista en Derecho del Medio Ambiente, Estudiante de Especialización en Gerencia Ambiental de la Universidad Libre, Bogotá, Colombia,  
adriana-ospitiaf@unilibre.edu.co

### RESUMEN

La legislación colombiana concibió los delitos ambientales como tipos penales autónomos desde la expedición de la Ley 599 de 2000 (Código Penal Colombiano), donde se definió como bien jurídico el medio ambiente y los recursos naturales en su Título XI. Sin embargo, el cambio de las dinámicas sociales, políticas y económicas llevó a la expedición de la Ley 2111 de 2021, la cual sustituyó en su totalidad dicho título, en la búsqueda de fortalecer la protección ambiental. Dentro de los delitos sustituidos se encuentra el de Daño en los recursos naturales y ecocidio (Artículo 333), en el cual se equipara daño a impacto ambiental grave. Este artículo analiza las definiciones presentes en la legislación colombiana de daño e impacto ambiental, junto con las metodologías propuestas para determinarlos, y deja en evidencia la necesidad de estandarizar procedimientos en el marco investigativo de este tipo penal, que permita aplicar metodologías ex – post en la cuantificación de impactos ambientales y su categorización como graves, para así determinar la existencia o no de un daño ambiental.

**Palabras clave:** Daño ambiental, impacto ambiental, estudio de impacto ambiental ex – ante, estudio de impacto ambiental ex – post.

### ABSTRACT

Colombian legislation has considered environmental crimes as distinct types of offenses since the enactment of Law 599 of 2000 (Colombian Criminal Code). In this law, the environment and natural resources were defined as a protective legal interest in Title XI. However, shifts in social, political, and economic dynamics prompted the enactment of Law 2111 in 2021, which completely replaced the aforementioned Title with the aim of enhancing environmental protection. Among

*the replaced offenses is “Damage to natural resources and ecocide” (Article 333), where damage is equated with severe environmental impact. This article examines the definitions of environmental damage and environmental impact as outlined in Colombian legislation, as well as the proposed methodologies for assessing them. It underscores the necessity of standardizing procedures in the criminal investigation of such crimes, enabling the application of ex-post methodologies in quantifying environmental impacts and categorizing them as severe to determine the presence or absence of environmental damage.*

**Keywords:** Environmental damage, Environmental Impact, Ex-ante Environmental Impact Study, Ex-post Environmental Impact Study

---

En Colombia, desde la expedición de la Ley 599 de 2000 (Código Penal Colombiano) se establecieron doce (12) tipos penales autónomos que definieron de manera independiente al medio ambiente como un bien jurídico que se debe proteger, y lo registró en el Título XI del Código Penal, como “De los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente”, lo cual constituye una evolución con respecto a la normatividad penal previa (Ley 100 de 1980) que no consideraba los delitos contra el medio ambiente como independientes, sino que contenía un factor marcadamente economicista [1]. Dentro de este bien jurídico, se incluyó el delito de Daño en los recursos naturales, definido en su momento como; “El que con incumplimiento de la normatividad existente destruya, inutilice, haga desaparecer o de cualquier otro modo dañe los recursos naturales a que se refiere este título, o a los que estén asociados con estos” (artículo 331, Ley 599 de 2000).

Debido a las nuevas dinámicas sociales, políticas y económicas que afronta el mundo en relación con el impacto del cuidado y preservación del medio ambiente, y de acuerdo con las consideraciones del legislador colombiano, se determinó permitir-

te robustecer la lucha en contra de la alteración y destrucción del medio ambiente, corrigiendo los tipos penales ambientales que consideró ineficaces [2], a través de la Ley 2111 del 2021, por medio de la cual se sustituyó el título XI del Código Penal. Dentro de los tipos penales actualizados, se encuentra el de “Daños en los recursos naturales y ecocidio”, contemplado ahora en el artículo 333, del Capítulo II, del Título XI del Código Penal, y definido de la siguiente manera:

“El que con incumplimiento de la normatividad existente destruya, inutilice, haga desaparecer o cause un impacto ambiental grave o de cualquier otro modo dañe los recursos naturales a que se refiere este título o a los que estén asociados con estos (...).

PARÁGRAFO 1. Para los efectos de este artículo se entiende por ecocidio, el daño masivo y destrucción generalizada grave y sistémica de los ecosistemas.

PARÁGRAFO 2. Por impacto ambiental grave se entenderá la alteración de las condiciones ambientales que

se genere como consecuencia de la afectación de los componentes ambientales, eliminando la integridad del sistema y poniendo en riesgo su sostenibilidad [3].”

Es conveniente resaltar que, dentro del marco normativo colombiano, la única mención a una definición de daño ambiental se encuentra contemplada en el artículo 42 de la ley 99 de 1993 que indica que “(...) se entiende por daño ambiental el que afecte el normal funcionamiento de los ecosistemas o la renovabilidad de sus recursos y componentes [4](...)”. sin embargo, de acuerdo con algunos autores como DEL VALLE [5], toda vez que dicha definición está plasmada en el título VII asociado a las rentas de las autoridades ambientales y no en el título XII del régimen de responsabilidad ambiental, sin tener en cuenta la pérdida de servicios ecosistémicos, no podría interpretarse técnica sino económicamente, y al no incorporar en la definición los elementos de la responsabilidad civil extracontractual considerados para configurar el daño, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 5 de la Ley 1333 de 2009, no podría entonces considerarse como una definición en el marco de la responsabilidad sancionatoria.

Sin embargo, en la definición del tipo penal de daño en los recursos naturales, se asimila el daño a un impacto ambiental grave, e incluso en la exposición de motivos del proyecto de ley (Proyecto de Ley Número 283 de 2019 Cámara) se considera que “es menester que la determinación de la pena esté supeditada y se establezca de acuerdo con el Impacto Ambiental (IA) que efectivamente produzca el delito...” [2]; se propone, incluso, que ese daño se determine a través de las metodologías para la evaluación de impactos ambientales, como la Metodología de Leopold, que permita cla-

sificar los impactos en benéfico, despreciable, significativo y altamente significativo.

Se equivoca el legislador, no solo al usar de manera indiscriminada los términos de impacto y daño ambiental, como bien lo manifestó el Dr. Luis Fernando Macías Gómez en sus comentarios al proyecto de ley anteriormente mencionado [6], sino al mencionar que el uso de las metodologías de impacto ambiental y su clasificación de acuerdo con lo dispuesto en la Resolución 2086 de 2019 “por la cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1º del artículo 40 de la Ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones” es equivalente a un “impacto grave”. ¿Es acaso “grave” equivalente a “significativo” o solamente podría considerarse “grave” un impacto “altamente significativo”? ¿Podrían emplearse entonces las mismas metodologías de valoración de impacto ambiental ex ante cuando ya hay un daño causado?

Tal como lo afirma MACÍAS GÓMEZ [6], la tendencia en el imaginario es asimilar impacto a daño, aun cuando, jurídicamente, el daño es el generador de la responsabilidad, en el caso aquí analizado, de origen penal.

Vale la pena entonces considerar la definición de impacto ambiental del Decreto 2041 de 2014 compilado en el Decreto 1076, según el cual, impacto ambiental es: “cualquier alteración en el medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad [7]”, definición que no asimila impacto a daño. Es necesario hacer esta distinción, toda vez que, de acuerdo con el cómo se definió el tipo penal de daño a los recursos naturales, se abre un espacio a la discrecionalidad del

perito para calificar cualquier efecto sobre el medio ambiente como daño, lo que provoca que incluso actividades legales (con los permisos u autorizaciones ambientales de acuerdo con su actividad y habiendo considerado sus impactos ambientales) se vean incursas en procesos penales [6].

Es así como, de acuerdo con lo manifestado por MACÍAS GÓMEZ [6], no puede asimilarse el daño a impacto ambiental y en consecuencia al estudio de impacto ambiental, ni las metodologías existentes para su elaboración (que sólo consideran la evaluación ex ante) para evaluar los impactos que pueda llegar a tener (con posibilidad de ocurrencia, no como impactos materializados) un proyecto, obra u actividad, diseñar las medidas de manejo y control ambiental y servir como instrumento técnico para evaluar por parte de las autoridades ambientales la decisión respecto al desarrollo del proyecto, obra o actividad.

De igual forma, tal como lo afirma DEL VALLE [5], no todo impacto ambiental implica un daño ambiental, pero todo daño ambiental necesariamente conlleva un impacto ambiental por fuera del estándar aplicable y con afectación ecosistémica. Por esta razón, considera el autor que para definir un daño ambiental, contrario a aplicar un estudio de impacto ambiental ex ante, deben involucrarse los siguientes elementos: (1) identificación del estándar aplicable (norma o límite establecido); (2) configuración y prueba de la desviación del estándar y, por lo tanto, de la materialización por acción o por omisión de la conducta antijurídica; (3) afectación del recurso natural (cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar o la salud de las personas, atentar contra la flora o la fauna o degradar la calidad del medio ambiente); e, (4) incidencia de la intervención en el recurso natural frente al

ecosistema sobre la base de lo que se haya probado en cada caso en concreto (especificidad caso a caso) [5]; es decir, para determinar el daño ambiental, debe realizarse una evaluación ex post de los impactos causados pero, además, de acuerdo con la definición del tipo penal, estos impactos deberán ser evaluados para clasificarlos de acuerdo con su gravedad, y específicamente ser señalados como impactos graves, es decir, la metodología aplicada debe ser clara en definir qué impactos son considerados graves para ser catalogado dentro del tipo penal.

Al requerirse la cuantificación específica del impacto ambiental para determinar la existencia o no de un daño a los recursos naturales, y con el fin de determinar la desviación del estándar y la afectación del recurso natural, se hace necesario establecer lo que algunos autores han denominado “carga crítica”, a partir de la cual se define, técnica o legalmente un estado aceptable (porcentaje de exceso de la carga crítica), que al excederlo configure impactos que serán clasificados de acuerdo con su gravedad en términos de la resiliencia del ecosistema al impacto en particular, la reversibilidad del daño potencial del ecosistema y de las amenazas a los componentes valiosos del ecosistema [8], lo cual se encontraría alineado con los otros verbos rectores definidos en el tipo penal estudiado: destruir, inutilizar, hacer desaparecer; es decir, al exceder la resiliencia del ecosistema, se podría causar un impacto grave, producto de la destrucción, inutilización o desaparición de este. Lo anterior implica, en el caso colombiano, una carga probatoria para la Fiscalía General de la Nación, y capacitación de sus peritos ambientales, toda vez que deberá implementar un análisis de impactos ex post, teniendo claridad del estándar que fue violado, la desviación que se presentó (evaluada de forma cuantitativa, no cualitativa), las

correlaciones de estos impactos y sus efectos (sinérgicos y acumulativos) que pueden conducir a impactos acumulativos, valorándolos de tal manera que permita identificar, de una manera no subjetiva, la forma en que el ecosistema ha sido modificado, si dichas modificaciones son graves y si se ajustan a la tipicidad investigada.

Es así como entra en el panorama de evaluación el término de impactos acumulativos, toda vez que, si bien las acciones antropogénicas de forma individual pueden tener consecuencias ambientales relativamente neutras, sus interrelaciones pueden generar impactos acumulativos que pueden resultar importantes en el tiempo y en el espacio, lo que puede conllevar a que se presente un daño ambiental [9], que supere esa carga crítica tolerable, y que configura el tipo penal.

Este tipo de estudios marcan un gran reto para los peritos ambientales que adelantan investigaciones de este tipo penal, toda vez que no existen datos de líneas base que les permitan identificar la variación que pudo haber causado una obra o actividad en el medio ambiente, adicional a que, los daños ambientales no pueden considerarse solo como puros sino como acumulativos, lo que dificulta la individualización de responsabilidad en casos de daño a los recursos naturales, es decir, si una persona vertió sustancias tóxicas a un río pero en cantidades mínimas, otra persona también lo hizo y así un cúmulo de ellas hasta que la última persona en arrojar causó una afectación al ecosistema que no permitió su recuperación, ¿quién debería tener la responsabilidad del daño a los recursos naturales?. El no poder conducir a una individualización de la responsabilidad penal, no permitiría entonces seguir adelantando la investigación, lo que conduciría a archivos y a la inaplicabilidad de este tipo penal.

Por lo anterior, y debido a que tal como lo expresó MACÍAS GÓMEZ [6], con la Ley 2111 de 2021, en el delito de Daño a los recursos naturales, el legislador trasladó a la Fiscalía General de la Nación la definición de daño ambiental, y con el fin de evitar la preocupación por él manifestada de que se abriese un espacio de discrecionalidad para calificar todo efecto sobre el medio ambiente como daño, es que se hace necesario que la entidad estandarice los peritajes ambientales que permitan: 1) definir criterios que diferencien los conceptos de “impacto” y de “daño ambiental”; 2) aplicar cada uno de los puntos propuestos por DEL VALLE para lograr determinar la existencia de un daño a los recursos naturales, no como un juicio de valor subjetivo, sino con un estudio aplicado de impactos ambientales puros y acumulativos ex post con valoraciones cuantitativas de dichos impactos, evaluando las desviaciones presentadas con respecto al estándar existente; y 3) realizar las evaluaciones ex post con equipos interdisciplinarios, toda vez que este tipo de evaluaciones no pueden recaer sobre el juicio de un único profesional, al requerir del conocimiento de diferentes áreas del saber.

La definición entonces de una metodología estandarizada de evaluación de impactos ambientales ex post para determinar la existencia o no de un daño ambiental, reduce el valor subjetivo de este tipo de peritajes, corrige la evaluación al usar metodologías propias ex post y no ex ante, y garantiza que la valoración final corresponda al consenso de un grupo de expertos (equipo interdisciplinario), lo que significa que es una evaluación objetiva y técnica, lo que repercute directamente en los derechos del procesado, pues elimina todo tipo de discrecionalidad en la investigación penal de este delito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. L. M. R. V. A. R. CABRERA IZQUIERDO, *Delitos Ambientales en Colombia. Análisis desde la perspectiva de las políticas nacionales de protección de los recursos naturales, Lecturas sobre Derecho del Medio Ambiente, Tomo XX*, Universidad Externado de Colombia, 2020.
- [2] J. C. LOZADA VARGAS, «Por medio del cual se sustituye el Título XI, “De los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente” de la ley 599 del 2000»,» INFORME DE PONENCIA PARA PRIMER DEBATE AL PROYECTO DE LEY NÚMERO 283 DE 2019 CÁMARA, 2020. [En línea]. Available: <https://www.camara.gov.co/camara/visor?doc=/sites/default/files/2020>.
- [3] CONGRESO DE COLOMBIA, «Ley 2111 de 2021 “Por medio del cual se sustituye el Título XI “De los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente” de la Ley 599 de 2000, se modifica la Ley 906 de 2004 y se dictan otras disposiciones”,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=167988>.
- [4] CONGRESO DE COLOMBIA, «Ley 99 de 1993, “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiente»,» 1993. [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>.
- [5] E. DEL VALLE MORA, El daño ambiental puro y el daño consecutivo. En: García Pachón, M. (Ed.) *Derecho penal ambiental y reparación de daños a la naturaleza* (pp. 535- 591)., Universidad Externado de Colombia, 2022.
- [6] L. F. MACÍAS GÓMEZ, «Comentarios Proyecto de Ley No. 283 de 2019 Cámara “Por medio del cual se sustituye el Título XI, “de los delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente” de la Ley 599 del 2000 y se dictan otras disposiciones”, Philippi Prietocarrizosa Ferrero,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2020-09/Comentarios%20Audiencia%20Proyecto%20de%20Ley%20No.%20283%20de%202019%20C%C3%A1mara\\_0.pdf](https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2020-09/Comentarios%20Audiencia%20Proyecto%20de%20Ley%20No.%20283%20de%202019%20C%C3%A1mara_0.pdf).
- [7] MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, «Decreto 2041 de 2014 “Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales”,» 2014. [En línea]. Available: [https://archivo.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/7b-decreto\\_2041\\_oct\\_2014.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/7b-decreto_2041_oct_2014.pdf).
- [8] B. A. SILVA TORRES, «Tesis Doctoral: Evaluación ambiental: Impacto y daño. Un análisis jurídico desde la perspectiva científica, Universidad de Alicante,» 2012. [En línea]. Available: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/24476/1/Tesis\\_Silva.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/24476/1/Tesis_Silva.pdf).
- [9] M. MUÑOZ VALENZUELA, «Tesis de Maestría: Daño e impacto ambiental en proyectos de gran envergadura: análisis y propuesta para su tratamiento en el sistema de evaluación de impacto ambiental, Universidad de Chile,» 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.uchile.cl/>.



# PREDICCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PARTÍCULAS (PM10) MEDIANTE MACHINE LEARNING K-NEAREST NEIGHBORS

Forecasting particulate air pollution (PM10) using a Machine Learning K-Nearest Neighbors

**Valentina Botero Mármol**

Universidad Libre, Bogotá, Colombia,  
valentina-boterom@unilibre.edu.co

**Ingrid Dayana Sánchez Martín**

Universidad Libre, Bogotá, Colombia,  
ingridd-sanchezm@unilibre.edu.co

## RESUMEN

*La contaminación del aire es un tema que ha venido tomando cada vez más relevancia, puesto que ha aumentado debido a la urbanización, industrialización, entre otras; además, es un grave problema que afecta la salud de las personas y el medio ambiente. Es causada por la emisión de gases tóxicos derivados ya sea por actividades industriales y/o antropogénicas. La calidad del aire se ha convertido en una preocupación global, y se requieren medidas para reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire en todo el mundo. Esta investigación permitió predecir los valores de material particulado PM10 en la localidad de Kennedy en Bogotá con ayuda del algoritmo de Machine Learning K-Nearest Neighbors. Además, se obtuvieron resultados alentadores frente a la generalización de los datos de prueba, lo que demostró una buena confiabilidad ante sus predicciones.*

**Palabras clave:** Contaminación del aire; predicción; material particulado (PM10); Kennedy; KNN.

## ABSTRACT

*Currently, air pollution is an issue that has become increasingly relevant, since it has increased due to urbanization, industrialization, among others; Furthermore, it is a serious problem that affects people's health and the environment. It is caused by the emission of toxic gases caused either by industrial and/or anthropogenic activities. Air quality has become a global concern, and measures are required to reduce emissions and improve air quality around the world. This research made it possible to predict the values of PM10 particulate matter in the town of Kennedy in Bogotá with the help of the K-Nearest Neighbors Machine Learning algorithm, in addition, obtaining encouraging results regarding the generalization of the test data, demonstrating good reliability regarding its predictions.*

**Keywords:** Air pollution; Prediction; Particulate Matter (PM10); Kennedy; KNN.

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire se ha convertido en un tema crucial en la sociedad moderna, por cuanto ejerce una influencia significativa tanto en la salud humana como en las actividades diarias. Para contrarrestar las graves consecuencias de los episodios de contaminación, las autoridades han establecido redes de monitoreo de la calidad del aire que proporcionan información en tiempo real sobre el índice de calidad del aire. A través de diversas técnicas, como métodos estadísticos, inteligencia artificial y técnicas de extracción de datos, los conjuntos de datos registrados y guardados en almacenes de datos pueden analizarse para prever futuros valores de los parámetros más críticos de contaminación del aire, así como del índice de calidad del aire.

Uno de los métodos más destacados es el K vecinos más cercanos (KNN), que se basa en calcular la distancia entre una nueva instancia y sus K vecinos más cercanos para clasificarla. Este enfoque también se puede emplear para predecir el valor de un parámetro específico. En este artículo se presenta un experimento detallado, realizado con el objetivo de explorar las aplicaciones específicas de esta técnica en el análisis de la calidad del aire, centrado en la estación de monitoreo de Kennedy y específicamente en la variable PM10.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

Se ha realizado una variedad de investigaciones que han centrado su atención en analizar a partir de algoritmos como “KNearest Neighbor” los diferentes contaminantes del aire, entre los cuales encontramos el PM10. Está el caso de la investigación “Spatial assessment of PM10 hotspots using Random Forest, K-Nearest Neigh-

bour and Naïve Bayes” donde se utilizaron diferentes algoritmos entre los cuales se hallaba el K-Nearest Neighbors, implementados con el fin de predecir puntos críticos de peligro espacial de PM10, esto con el fin de garantizar una preparación adecuada para la gestión de la calidad del aire y así minimizar los efectos. Los datos modelados de PM10 fueron adquiridos entre 2012 - 2016, y los resultados obtenidos revelaron una buena predicción, la cual presentó una precisión general para el K-Nearest Neighbour (KNN) del 96% [1].

Otra investigación es “Air Quality Index Prediction using K-Nearest Neighbor Technique”, en la cual se ha utilizado este algoritmo para la predicción de la calidad del aire; el KNN predice series temporales caóticas de concentraciones de contaminantes atmosféricos, para pronosticar con 8 horas de anticipación las emisiones de SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, NO y O<sub>3</sub> y niveles máximos de CO. Por esta razón, en este artículo fue implementado para predecir la calidad del aire, utilizando una base de datos con valores registrados para el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono con ayuda de WEKA, un software utilizado para minería de datos. Los resultados de esta investigación fueron muy positivos, ya que en 19 de los 29 casos el error de predicción fue del 0% [2]

## 3. ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

La contaminación del aire por partículas suspendidas (PM10) es una problemática grave en muchas áreas urbanas, incluido en la localidad de Kennedy en Bogotá, Colombia. Las partículas PM10 son partículas inhalables con un diámetro de 10 micrómetros o menos, lo que las hace lo suficientemente pequeñas como para ser inhaladas y retenidas en los pulmones, lo cual causa problemas respiratorios.

En áreas urbanas como Kennedy, la contaminación del aire por PM10 puede provenir de diversas fuentes, como el tráfico vehicular, las actividades industriales, la construcción, la quema de biomasa y el polvo proveniente de suelos desprotegidos. Estas partículas pueden contener sustancias nocivas, como metales pesados, compuestos orgánicos y sustancias químicas tóxicas, que representan un riesgo para la salud humana, especialmente para niños, personas mayores y personas con afecciones respiratorias preexistentes.

### 3.1.1 Descripción del conjunto de datos

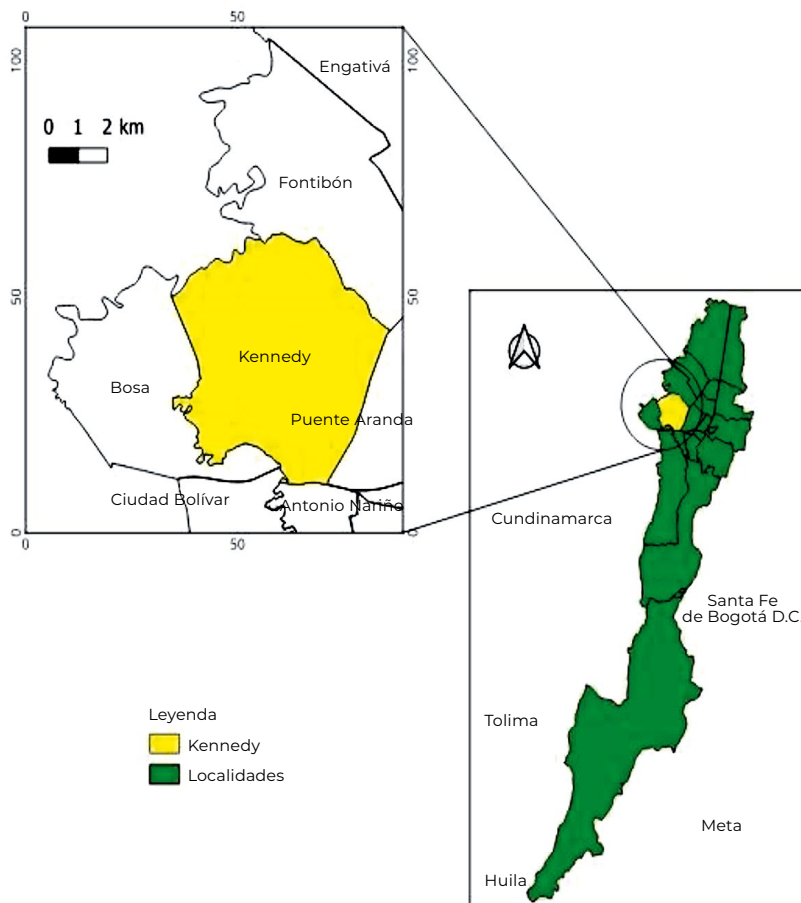
Los datos cronológicos implementados para esta investigación fueron obtenidos de una estación de calidad de aire de la lo-

calidad de Kennedy, para estudiar el material particulado PM10, haciendo uso del algoritmo K-Nearest Neighbors, que permite hacer predicciones por medio técnicas de estimación adecuadas. La práctica para este algoritmo suele ser dividir los datos observados durante un período de tiempo en dos grupos, el primero de los cuales se utiliza para obtener las estimaciones del segundo grupo.

## 4. MODELOS

Las PM10 se pueden definir como aquellas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10  $\mu\text{m}$  (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro) [3].

**Fig. 1:** Ubicación de la zona de estudio

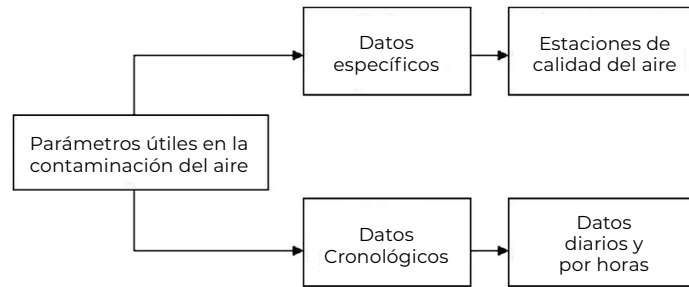


Este tipo de partículas PM10 pueden generarse en la atmósfera tanto por causas naturales como por efecto del hombre, es decir por causas antropogénicas [4]; además, una exposición prolongada o repetitiva a las PM10 puede provocar efectos nocivos en el sistema respiratorio de las personas.

Este informe describe las emisiones de material particulado de 10 micras. Esta

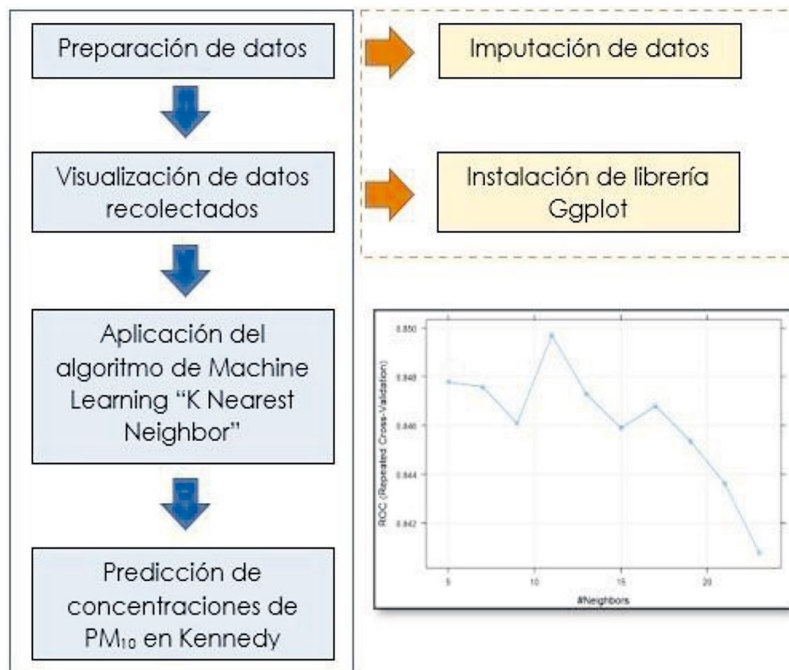
investigación se realizó en la localidad de Kennedy porque los estudios distritales señalan que, en esta localidad, que es la segunda más grande de Bogotá, confluyen muchos problemas de carácter ambiental, dentro de los cuales está la contaminación atmosférica. Los informes anuales de la calidad de aire de Bogotá señalan que esta localidad es de las más contaminadas de la ciudad [5].

**Fig. 2:** Datos de contaminación en la investigación



Teniendo en cuenta los datos recolectados a partir de las estaciones de calidad de aire en la localidad de Kennedy, se propone una ruta de trabajo para la investigación, tal como se muestra en la Figura 3.

**Fig. 3:** Modelo de predicción propuesto para la predicción de material particulado PM10



Debido a que los datos recolectados inicialmente presentan datos faltantes, cuyos patrones representan relaciones matemáticas genéricas entre los datos observados y los ausentes, es necesario realizar una imputación de datos que consiste en el remplazo de los valores faltantes por los valores de la media, mediana o moda, y en general es el de uso más común por su facilidad de implementación; en este caso, se aplica la imputación por el valor de la media, para continuar con la aplicación del K-Nearest neighbors, un algoritmo supervisado de Machine Learning, el cual se usa para clasificar nuevas muestras (valores discretos) o para predecir (regresión, valores continuos). Al ser un método sencillo, es ideal para introducirse en el mundo del aprendizaje automático. Sirve esencialmente para clasificar valores buscando los puntos de datos "más similares" (por cercanía) aprendidos en la etapa de entrenamiento [6].

A diferencia de K-means, que es un algoritmo de agrupamiento no supervisado donde "K" se refiere al número de grupos que se desean crear, en K-Nearest Neighbors, "K" representa la cantidad de puntos cercanos que se consideran al clasificar los datos en "n" grupos previamente conocidos. K-NN es un algoritmo supervisado, lo que significa que se basa en etiquetas de datos existentes para tomar decisiones de clasificación.

#### 4.1 K-Nearest neighbors

K-nearest neighbors es un algoritmo de aprendizaje automático supervisado no paramétrico que se utiliza para clasificación y regresión. Calcula la similitud entre observaciones para lo cual se basa en una función de distancia (normalmente euclidiana) y se prefiere cuando los datos son continuos. Un nuevo punto X se clasifica en función de sus K vecinos más cercanos por

distancia. El supuesto aquí es que las nuevas observaciones se comportarán como sus vecinos más cercanos [7].

### 5. CRITERIO DE DESEMPEÑO

Para evaluar el rendimiento del modelo Knearest neighbors, se requiere el uso de evaluaciones estadísticas, algunas de las cuales son: error absoluto medio (MAE), error cuadrático medio de raíz (RMSE), error cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación (R2). Las fórmulas se describen a continuación:

Error absoluto medio (MAE):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^m |x_i - \hat{x}_i|}{m} \quad (1)$$

Donde m es el número de observaciones,  $\hat{x}_i$  es el valor predicho, y  $x_i$  es el valor real.

Error absoluto medio (MAE):

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (x_i - \hat{x}_i)^2 \quad (2)$$

Donde  $\hat{x}_i$  es el pronóstico, m es el número de veces diferentes para las cuales se pronostica la variable y  $x_i$  es el valor real de la cantidad que se pronostica.

Coeficiente de determinación (R2):

$$R^2 = \left[ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^m (A_j - A)(B_j - \bar{B}) \right]^2 \quad (3)$$

$\sigma_a \sigma_b$

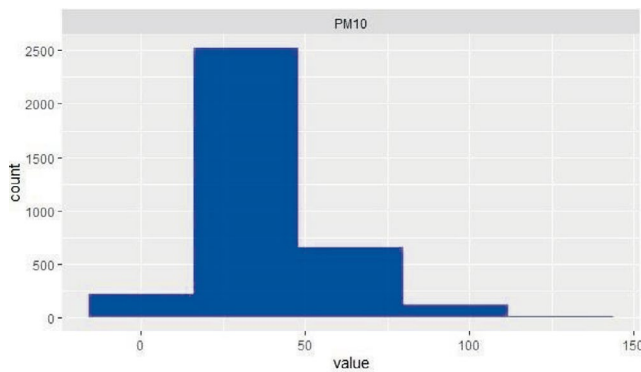
Donde M es el número de observaciones,  $\sigma_b$  es la desviación estándar de la observación,  $\sigma_a$  es la desviación estándar del cál-

culo,  $B_j$  es el parámetro observado,  $B$  es la media del parámetro observado,  $A_j$  es el parámetro calculado y  $A$  es la media del parámetro calculado [8]

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

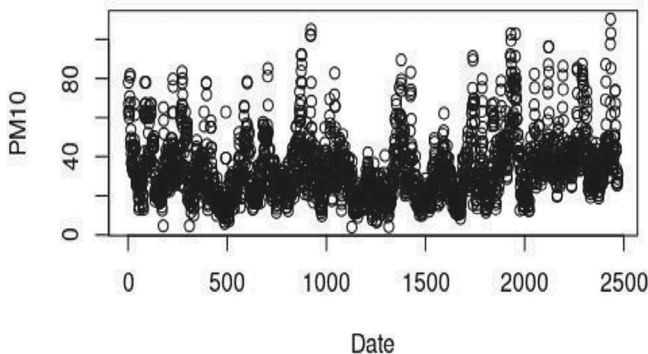
A partir de los datos recolectados e imputados, se pudo obtener una primera visualización de la información, y se representaron mediante un histograma, tal como se muestra en la Figura 4.

**Fig. 4:** Histograma con datos recolectados

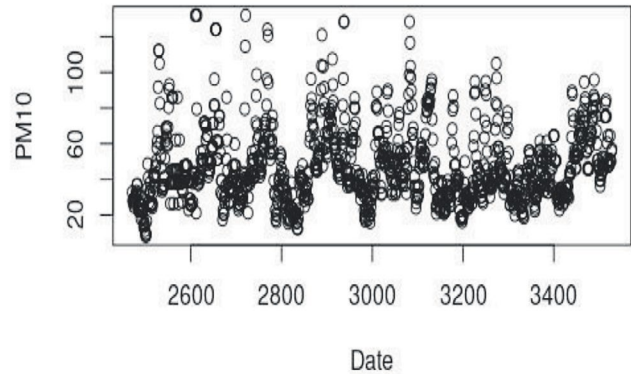


Cabe destacar que para la implementación del modelo KNN fue necesario estandarizar los datos obtenidos previamente, con el fin de representarlos en una escala de 0 a 1. Seguido a eso, se procedió a la división de la información para clasificarlos en datos de entrenamiento y prueba. A continuación, se muestran los diagramas para cada uno de los datos.

**Fig. 5** Datos de entrenamiento

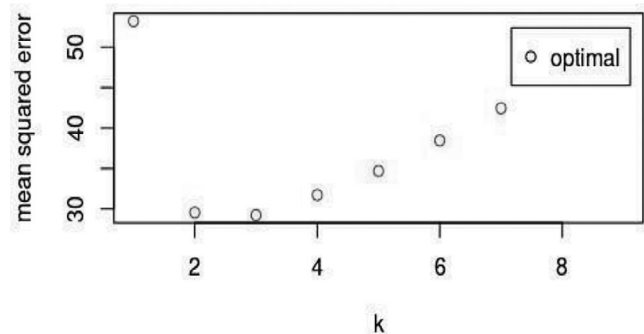


**Fig. 6** Datos de prueba



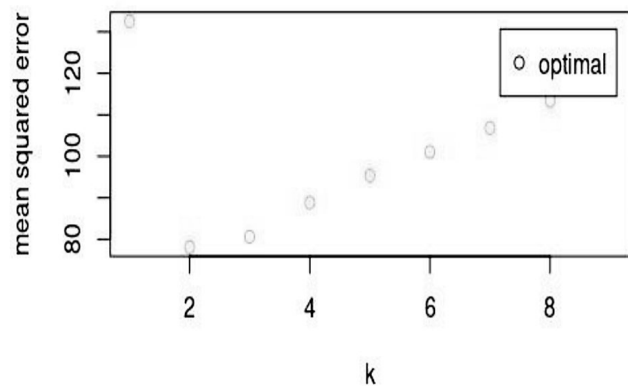
Luego de haber aplicado el modelo KNN a partir de los datos de entrenamiento, se obtuvo como resultado:

**Fig. 7** Modelo KNN para datos de entrenamiento



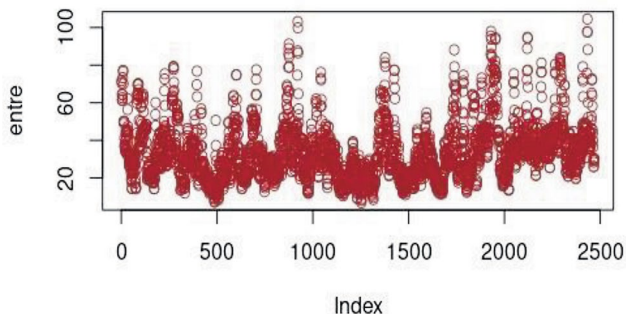
De la misma forma, se realizó el procedimiento para los datos de prueba, y se obtuvo como resultado el siguiente diagrama:

**Fig. 8** Modelo KNN datos de prueba

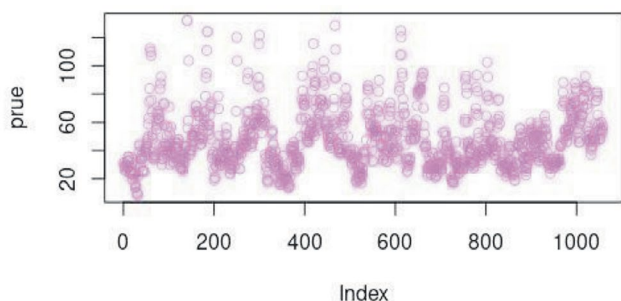


Finalmente, se aplica la predicción tanto para los datos de entrenamiento como los de prueba, tal como se muestra en las Figuras 9 y 10, respectivamente.

**Fig. 9** Predicción para datos de entrenamiento



**Fig. 10** Predicción datos de prueba



A partir de lo anterior, se logran establecer los criterios de desempeño para los datos, los cuales se reflejan mediante la Tabla 1.

**Tabla 1.** Criterios de desempeño

Datos de entrenamiento			Datos de prueba		
R2	MAE	MSE	R2	MAE	MSE
1	3,747	29,224	1	5,141	78,073

## 7. CONCLUSIONES

- En conclusión, la similitud en los gráficos de rendimiento entre los conjuntos de entrenamiento y prueba sugiere que el modelo KNN está logrando un buen equilibrio entre la capacidad de ajuste y la capacidad de generalización, ya que la mayor concentración de PM10 tanto para los datos de prueba como para los de entrenamiento se encuentran entre 20 y 60.
- En definitiva, este modelo de KNN ha demostrado una buena capacidad de generalización en los datos de prueba, lo que demuestra que las predicciones para PM10 pueden ser más confiables y aplicables para las predicciones del comportamiento de este contaminante.
- Así pues, es evidente la existencia de datos atípicos, ya que el error cuadrático medio (MSE) en el caso de datos de prueba presentó un alto valor de 78,073, lo cual demostró la existencia de una variedad considerable de errores individuales.
- Para finalizar, los valores de error absoluto medio (MAE) tanto para los datos de entrenamiento como para los de prueba fueron respectivamente de 3,747 y 5,141, lo que indica un buen modelo de predicciones, ya que se contaba con una pequeña magnitud.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Tella, A. L. Balogun, N. Adebisi, and S. Abdullah, "Spatial assessment of PM10 hotspots using Random Forest, K-Nearest Neighbour and Naïve Bayes," *Atmos Pollut Res*, vol. 12, no. 10, p. 101202, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.APR.2021.101202.
- [2] E. Dragomir, "Air Quality Index Prediction using K-Nearest Neighbor Technique," 2010.
- [3] "Partículas PM10 | PRTR España." Accessed: nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://prtres.es/Partículas-PM10,15673,11,2007.html>
- [4] "Las partículas PM10 y cómo se generan." Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.eurofins-environment.es/es/particulas-pm10-y-como-se-generan/>
- [5] C. B. Gil et al., "Contaminación del aire y enfermedades respiratorias, un estudio en la localidad de Kennedy," Sep. 2020, doi: 10.57998/BDIGITAL.HANDLE.001.3530.
- [6] "Algoritmo k-Nearest Neighbor | Aprende Machine Learning." Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.aprendemachinelarning.com/clasificar-con-k-nearest-neighbor-ejemplo-en-python/>
- [7] "RPubs – K Nearest Neighbors." Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://rpubs.com/awanindra01/knn>
- [8] "(PDF) Forecasting Air Pollution Particulate Matter (PM 2.5 ) Using Machine Learning Regression Models." Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/338254310\\_Forecasting\\_Air\\_Pollution\\_Particate\\_Matter\\_PM\\_25\\_Using\\_Machine\\_Learning\\_Regression\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/338254310_Forecasting_Air_Pollution_Particate_Matter_PM_25_Using_Machine_Learning_Regression_Models)



# PREDICCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PARTÍCULAS (PM<sub>2.5</sub> Y SO<sub>2</sub>) MEDIANTE UN MODELO DE REGRESIÓN DE CRESTAS

## Prediction of Particulate Air Pollution (PM<sub>2.5</sub> and SO<sub>2</sub>) Using a Ridge Regression Model

**Laura Julieth Contento Patiño**

Universidad Libre, Bogotá, Colombia,  
lauraj-contentop@unilibre.edu.co

**Camila Andrea Ortiz González**

Universidad Libre, Bogotá, Colombia,  
camilaa-ortizg@unilibre.edu.co

### RESUMEN

La contaminación atmosférica repercute una de las mayores problemáticas ambientales en la actualidad, debido a los graves efectos que genera no solo para el ambiente sino también para la salud humana como consecuencia del acelerado crecimiento socioeconómico, que proviene principalmente de la actividad industrial, lo cual ha provocado un considerable aumento en la concentración de material particulado como el PM 2.5, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO, que son algunas de las variables más incidentes en el monitoreo de la calidad del aire, según el registro elaborado por la **RMCA** (Red de Monitoreo de Calidad del Aire) para la ciudad de Bogotá. Sin embargo, la posibilidad de detectar agentes contaminantes con anticipación, podría contribuir al planteamiento de alternativas y planes de manejo para el control y mitigación que eviten la propagación de estas variables, especialmente en sectores con mayor amenaza ambiental. Por lo cual, el presente artículo tiene como objetivo analizar la eficiencia del algoritmo "Ridge Regression" para el estudio y la predicción en cuanto a la fluctuación media de gases contaminantes como el PM 2.5 y SO<sub>2</sub> principalmente, teniendo como zona de referencia la localidad de Kennedy.

**Palabras clave:** Algoritmo, contaminación, calidad del aire, gases contaminantes, regresión de cresta, predicciones.

### ABSTRACT

Atmospheric pollution is one of the biggest environmental problems today, due to the serious effects it generates not only for the environment but also for human health as a consequence of accelerated socio-economic growth, which mainly denotes industrial activity, which has caused a considerable increase in the concentration of particulate matter such as PM 2.5, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and CO, which are some of the most incident variables in air quality monitoring, according to the registry prepared by the RMCA (The Air Quality Monitoring Network) for the city of Bogotá. However,

*the possibility of detecting polluting agents in advance could contribute to the formulation of alternatives and management plans for control and mitigation that prevent the spread of these variables, especially in sectors with greater environmental threat. Therefore, the objective of this article is to analyze the efficiency of the "ridge regression" algorithm for the study and prediction regarding the average fluctuation of polluting gases such as PM 2.5 and SO2 mainly, taking as a reference area the town of Kennedy.*

**Keywords:** About five key words or phrases in alphabetical order are included, separated by commas, for example, Biomedicine, Degrees of freedom, In-situ, Tracking.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación atmosférica es una de las principales problemáticas globales, y es definida como la conglomeración de sustancias presentes en la atmósfera, emitidas por factores naturales, como la actividad volcánica, oceánica y antropogénica, relacionada principalmente con la quema de combustibles fósiles para suplir procesos industriales vinculados con el sector automotor y de urbanización (Benavides C; Gaviria G. 2011).

Las partículas dispersas en la atmósfera son nocivas debido a que por sus características y elevadas concentraciones afectan negativamente la salud de los seres vivos.

En el año 2016, la Organización Mundial de la Salud consideraba que aproximadamente el 91 % de la población mundial respiraba un aire sumamente contaminado, lo cual se encuentra relacionado con la muerte de aproximadamente 7 millones de personas en el mundo debido a enfermedades pulmonares y cancerígenas asociadas a dicha problemática, en la que el material particulado (PM) y el dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) son dos de los contaminantes más comunes en el aire (Franco D. 2020).

El material particulado (PM) está fuertemente relacionado con el cambio climático, la reducción de la visibilidad y efectos nocivos en la salud humana y es definido como un grupo de partículas que se clasifican principalmente en dos amplios grupos, gruesas (PM<sub>10</sub>) y finas (PM<sub>2.5</sub>) con diámetros inferiores a los 10 y 2.5µm, respectivamente.

El PM<sub>2.5</sub> es mucho más nocivo para la salud humana debido a que por su insignificante tamaño puede penetrar fácilmente el sistema respiratorio para depositarse en la tráquea, bronquios e incluso en algunos casos en los alveolos; cabe resaltar que estos pueden presentar un origen primario o secundario: en el primer caso son emitidos directamente al ambiente y en el segundo, se forman en la atmósfera debido a transformaciones químicas (Franco D. 2020).

Por su parte, el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es un gas incoloro muy soluble en agua presente en la atmósfera cuya principal fuente antropogénica es la combustión de carburantes fósiles; dicho compuesto es tóxico para los seres vivos ya que puede ser absorbido por las mucosas de la nariz y vías respiratorias superiores, debido a su solubilidad en el medio acuoso (González G, Robles S. 2003).

En Bogotá, las principales fuentes de contaminación atmosférica son el transporte, la industria, la suspensión de polvo provocada por vías sin pavimentar y un sinnúmero de actividades industriales entre las cuales destaca los restaurantes y vendedores ambulantes y, del mismo modo, las vías de la ciudad se encuentran muy congestionadas (Farrow A, Chen Y, et al. 2022). Pues en una encuesta realizada por la Secretaría de Movilidad en el año 2019 para Bogotá y 18 municipios aledaños, se demostró que diariamente se realizan más de 18 millones de viajes, de los cuales 15 millones se dan dentro de la ciudad (Secretaría Distrital de Movilidad. 2019), de modo que, en el informe mensual de calidad del aire de Bogotá para febrero del año 2020 realizado por la Secretaría Distrital de Ambiente se obtuvieron 16 excedencias diarias en las concentraciones relacionadas con  $PM_{2.5}$ ; en cambio, para  $SO_2$  no se registraron excedencias, de acuerdo con la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) con respecto a los niveles máximos permisibles (Secretaría Distrital de Ambiente. 2022).

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Calidad del aire en Bogotá

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB que viene operando desde 1997, ha registrado las concentraciones de material particulado en la atmósfera hasta la fecha, donde se estima que el  $PM_{10}$  es el contaminante con mayor índice de excedencias, según la norma de calidad del aire, el cual presentó un considerable aumento a partir de 2003, debido a la alta demanda de la actividad industrial. Sin embargo, actualmente la influencia de este contaminante se evidencia par-

ticularmente en las emisiones procedentes del transporte público impulsado por motores diésel, en tanto que el CO, viene dado principalmente por la incidencia de vehículos particulares que operan con gasolina (Rojas N.2007).

Por otro lado, se encontró que las zonas occidentales de la ciudad, específicamente las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón, generan los mayores índices de material particulado en el aire. No obstante, aunque los resultados obtenidos por la red de monitoreo, estipulan que la concentración de contaminantes suspendidos en la atmósfera en algunas estaciones de la ciudad se encuentra por debajo de los niveles máximos permisibles establecidos por las normas colombianas y, del mismo modo, resultan inaceptables, de acuerdo con los estándares sugeridos por la Organización Mundial de la Salud – OMS (Rojas N.2007).

### 2.2 Modelo regresión de cresta (Ridge Regression)

La regresión de cresta es un algoritmo implementado para valorar los coeficientes de los modelos de regresión múltiple cuando las variables independientes están altamente correlacionadas. De modo que los coeficientes no se estiman mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO), sino mediante un estimador de crestas, que tiene una varianza menor que el estimador de MCO. Por lo cual, este método es aplicado para mejorar la precisión en cuanto a la predicción y la interpretabilidad de las estadísticas resultantes, gracias a su alto grado de desplazamiento, el cual permite una mayor eficiencia en los modelos aplicados, al ejercer un mayor número de suposiciones, pues capta las diferentes relaciones presentes en la nube de datos aplicada (Msigwa. O, 2023).

Es así, como la regresión de cresta proporciona una posible solución a la imprecisión de los modelos de regresión lineal con un alto grado de multicolinealidad, debido a su baja varianza y desplazamiento, en comparación con las proyecciones de los mínimos cuadrados, en tanto que la estimación simple por el método de cresta está dada por:

$$\hat{\beta}_R = (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}$$

Donde:

- $\mathbf{y}$  es la matriz de variables independientes
- $\mathbf{X}$  es la matriz de diseño
- $\mathbf{I}$  es la matriz identidad
- $\lambda$  es el parámetro de cresta igual o mayor que cero.

A partir de lo cual, es posible determinar que la regresión de cresta funciona con un conjunto de datos estandarizados, los cuales se dividen en matrices  $\mathbf{x}$ , y respectivamente, para establecer así una matriz de identidad (Msigwa. O, 2023).

No obstante, este algoritmo reduce la complejidad de los modelos aplicados, lo que evita el sobreajuste cuando se emplea un gran número de variables dentro del conjunto de datos, teniendo en cuenta que, la regresión de cresta no es un modelo en sí mismo, sino simplemente una estimación de los coeficientes, que posteriormente se dispondrán en el modelo de regresión lineal:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\beta + \epsilon$$

donde:

- $\mathbf{Y}$  es el vector de observaciones de la variable dependiente;  $N \times 1$
- $\mathbf{X}$  es la  $N \times K$  matriz de regresores (hay  $K$  regresores);
- $\beta$  es el  $K \times 1$  vector de coeficientes de regresión;
- $\epsilon$  es el  $N \times 1$  vector de errores.

(Taboga y Marco, 2021)

De hecho, en 2016 se realizó un estudio liderado por la Universidad Politécnica del Madrid, el cual buscaba reducir las emisiones de gases contaminantes liberados principalmente por los motores de combustión interna alternativa, aplicando modelos predictivos de regresión, con el objetivo de extraer combinaciones lineales como características derivadas y posteriormente modelar el sistema como una función no lineal acorde con esas particularidades. De este modo, el modelo posibilitaría la predicción del caudal de las emisiones en cada instante en función de los datos tomados por las variables empleadas (Nova A. 2018).

### 3. ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

#### 3.1. Conjunto de datos de descripción

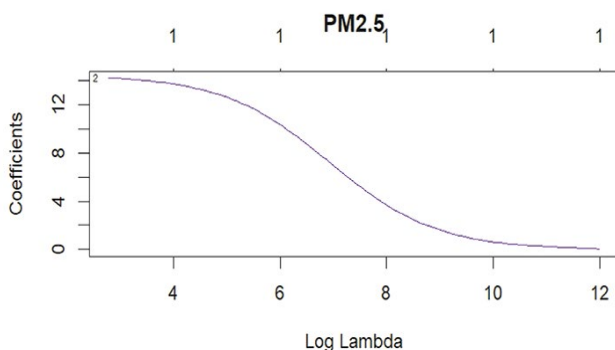
Bogotá se encuentra ubicada en una altiplanicie de la cordillera oriental de los Andes, con coordenadas de 4°35'56" latitud N y 74°04'51" latitud O a 2.640 msnm. Su extensión aproximada es de 33 Km de norte a sur y 16Km de oriente a occidente, con una temperatura promedio de 13.1°C. Según el IDEAM (Ramírez V. 2017), en la ciudad existen 20 estaciones de monitoreo de la calidad del aire que se encuentran ubicadas en puntos estratégicos, que permiten realizar una vigilancia estricta a las concentraciones de contaminantes y analizar distintas variables meteorológicas como la temperatura, humedad y presión, de modo que diariamente se almacenan aproximadamente 5.000 datos relacionados con la calidad del aire (Secretaría de Ambiente. 2022). Los datos extraídos para realizar la predicción mediante un modelo de regresión de crestas fueron material particulado 2.5 (PM2.5) y dióxido de azufre (SO2) correspondientes a la localidad de Kennedy en de Bogotá desde el día 30 de mayo a la 1:00 hasta el día 24 de octubre a las 00:00 del año 2023.

## 4. MODELO

Para realizar la predicción de material particulado (PM2.5) y dióxido de azufre (SO2) se usó un modelo de regresión de crestas que consiste en una extensión de la regresión lineal en el cual la función de pérdida se modifica para minimizar la complejidad del modelo. Los principales argumentos usados fueron `nlambdas` que determina el número de parámetros de regularización que se usaran, `lambda` que determina los valores `lambda` que se van a probar y `Alpha` que depende de la ponderación que se use, cabe resaltar que en el caso de la regresión de crestas este valor será siempre cero.

Para comenzar con la realización del modelo se descargaron los datos de PM2.5 y SO2 de la estación meteorológica de la localidad de Kennedy correspondientes al período de tiempo comprendido entre mayo y octubre del 2023. A continuación, se usó el método de imputación de datos "norm.predict" con el objetivo de completar los datos faltantes en la data. Seguidamente, se crean las variables predictoras y dependientes para aplicar el modelo de regresión de crestas.

**Figura 1.** Gráfica de modelo "Ridge Regression" PM2.5



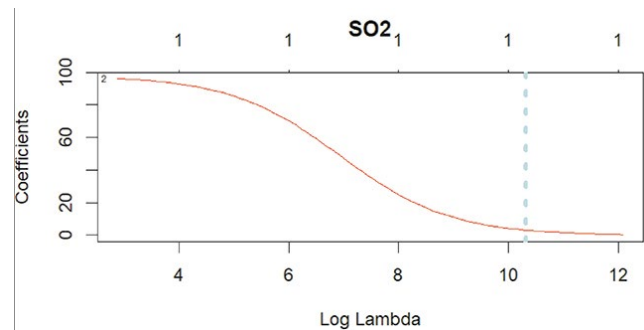
Posteriormente, se analizaron modelos en particular con el objetivo de obtener datos relacionados con el logaritmo de la lambda

y sus coeficientes. Además de un gráfico en el que se presenta el modelo por analizar.

**Figura 2.** Análisis del Modelo 20 para la variable SO2

```
> ridge.model$lambda[20]
[1] 30350.36
> log(ridge.model$lambda[20])
[1] 10.32056
> coef(ridge.model)[,20]
(Intercept) (Intercept) SO2
1755.950868 0.000000 3.177279
```

**Figura 3.** Gráfica de modelo 20 "Ridge Regression" para SO2



Posteriormente, se calculó y graficó el mejor `Lambda` de  $SO_2$  y  $PM_{2.5}$ , con el objetivo de realizar una predicción con esta variable. Finalmente, se halló el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error cuadrático medio (RMSE), con el objetivo de obtener la eficiencia del método.

## 5. CRITERIOS DE RENDIMIENTO

Los criterios de rendimiento del modelo de regresión ridge están estipulados por el uso de métricas como el error cuadrático medio (MSE), el modelo de determinación ( $R^2$ ) y la validación cruzada para determinar la calidad del ajuste del modelo y la elección óptima de  $\lambda$ , los cuales están determinados por las siguientes fórmulas:

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (x_i - \hat{x}_i)^2$$

Donde  $\hat{X}_i$  es el pronóstico,  $m$  es el número de veces diferentes para las cuales se pronostica la variable, y  $X_i$  es el valor real de la cantidad que se pronostica.

$$R^2 = \left[ \frac{1}{M} \frac{\sum_{j=1}^M [(A_j - \bar{A})(B_j - \bar{B})]}{\sigma_a \sigma_b} \right]^2$$

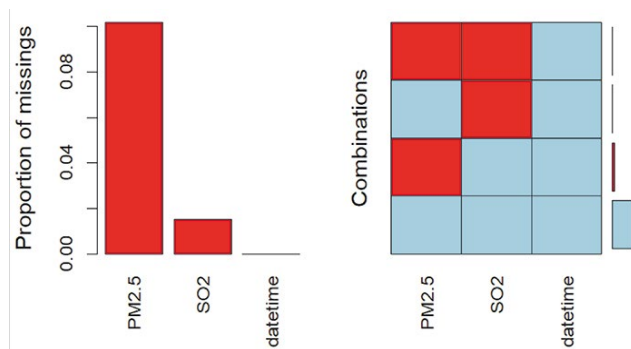
Donde  $M$  es el número de observaciones,  $\sigma_b$  es la desviación estándar de la observación,  $\sigma_a$  es la desviación estándar del cálculo,  $B_j$  es el parámetro observado,  $\bar{B}$  es la media del parámetro observado,  $A_j$  es el parámetro calculado, y  $\bar{A}$  es la media del parámetro calculado.

Es así, como la regresión ridge funciona como una técnica de regularización empleada generalmente para mejorar la precisión y el rendimiento de los modelos de regresión lineal, debido a que controla la multicolinealidad y el sobreajuste de las variables.

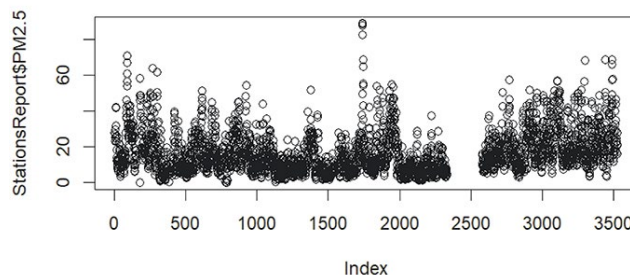
## 6. RESULTADOS Y DEBATE

Inicialmente, se visualizó la cantidad de datos faltantes en cada una de las variables mediante las gráficas mostradas en las figuras 4, 5 y 6, en las que se demostró que la variable con más datos faltantes era material particulado (PM2.5).

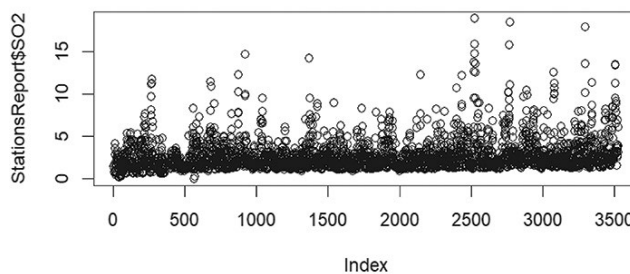
**Figura 4.** Gráfico de barras y bloques relacionado con los datos faltantes



**Figura 5.** Gráfico date\_time vs PM2.5 sin imputación de datos

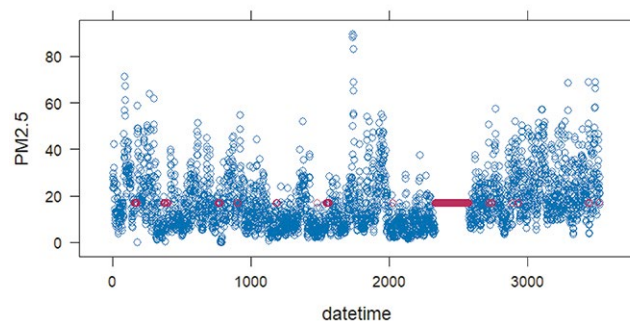


**Figura 6.** Gráfico date\_time vs SO2 sin imputación de datos

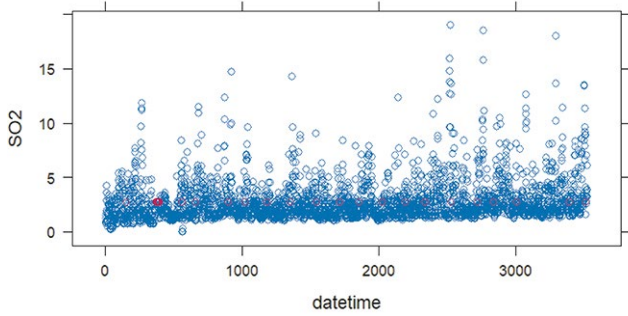


En un principio, para completar la data se usó el método de imputación de datos “mean”, que consiste en remplazar los datos que faltan con el valor de la media; sin embargo, en este caso no se obtuvieron resultados óptimos, pues al graficar la información después de ejecutar el modelo “mean”, no se observó concordancia entre los datos reales y los obtenidos por imputación como se muestra en las figuras 7 y 8. Cabe resaltar que los círculos azules representan los datos reales y los rojos lo obtenidos por imputación.

**Figura 7.** Gráfico date\_time vs PM2.5 con imputación de datos mediante el modelo “mean”

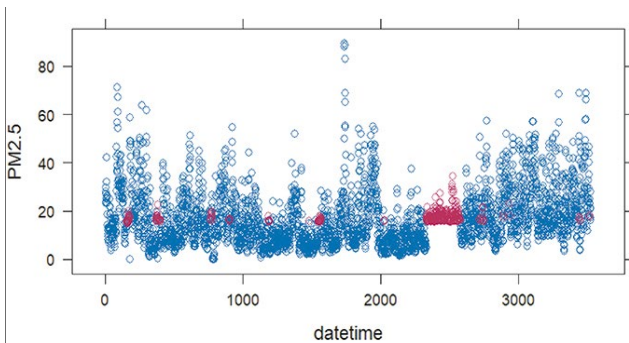


**Figura 8.** Gráfico date\_time vs SO2 con imputación de datos mediante el modelo.

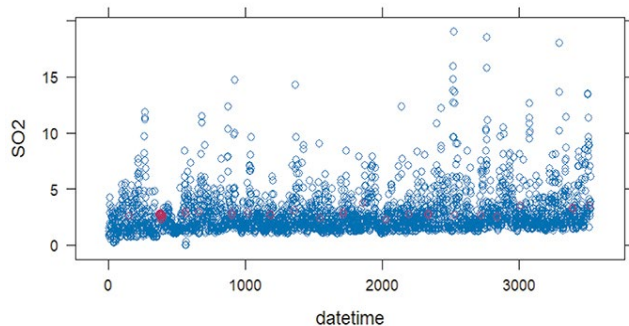


Posteriormente, se usó el modelo de imputación de datos “norm.predict” que presentó resultados óptimos al ejecutar el gráfico, pues se evidenció mayor concordancia entre los datos reales y los obtenidos mediante la imputación, como se muestra en las figuras 9 y 10.

**Figura 9.** Gráfico date\_time vs PM2.5 con imputación de datos mediante el modelo “norm.predict”



**Figuras 10.** Gráfico date\_time vs SO2 con imputación de datos mediante el modelo “norm.predict”

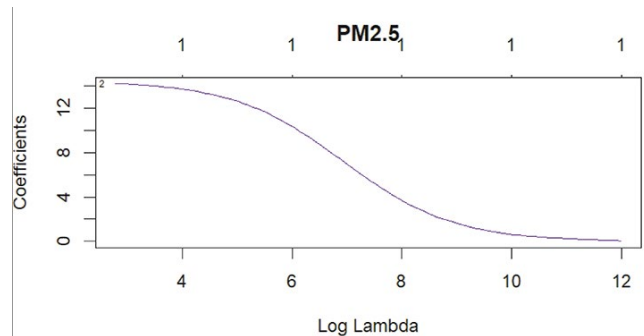


Después de realizar el proceso de imputación para obtener una data completa y poder aplicar el modelo “Ridge regression” se obtuvieron los siguientes resultados.

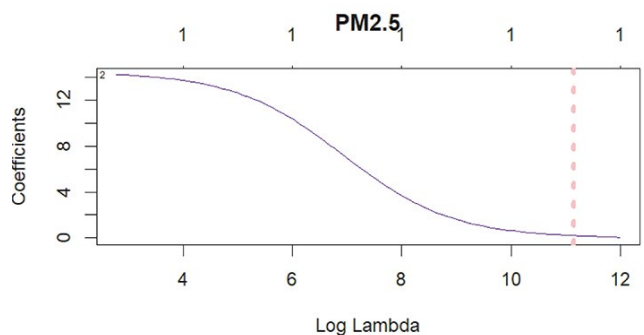
**Para PM<sub>2.5</sub>**

La gráfica del modelo “Ridge regression” para PM<sub>2.5</sub>, presenta la información relacionada con el “logaritmo de Lambda” en el eje X y los “coeficientes” en el eje Y; producto de esta regresión se obtiene una función decreciente, en la cual la Lambda más pequeña tiene un valor de 16.16719 y la más grande un valor de 161671.94416 (figura 11); del mismo modo, con base en la gráfica, es posible analizar un modelo en particular, por ejemplo, al ejecutar el modelo 10 de la variable PM<sub>2.5</sub> se obtienen los valores relacionados con el modelo, el valor del logaritmo y los coeficientes, en este caso 69983.93, 11.15602 y 0.2072377 respectivamente, además de la gráfica, como se muestra en la figura 12.

**Figura 11.** Gráfica de modelo “Ridge Regression” PM2.5

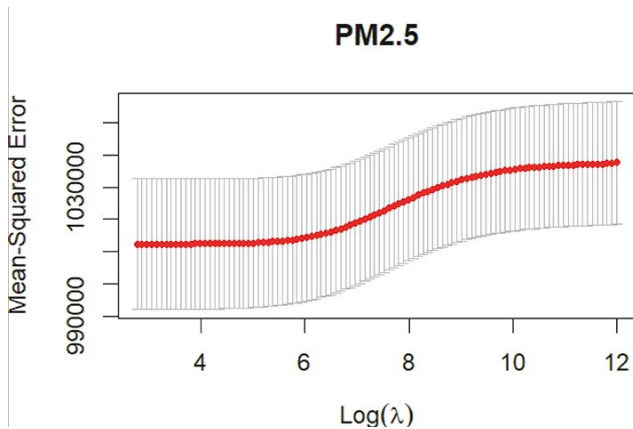


**Figura 12.** Gráfica de modelo 20 “Ridge Regression” para SO2



A continuación, se halló el valor de la mejor lambda que para la variable PM2.5 fue 16.14674 con un logaritmo de 2.781718, como se muestra en la gráfica representada en la figura 13.

**Fig. 13:** Gráfica de mejor lambda "Ridge Regression" para PM2.5



### Para SO<sub>2</sub>

Finalmente, los valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y error cuadrático medio (RMSE) fueron 1755.974, 0.03189163, para PM2.5 y 3324.062, 0.03189163 para SO<sub>2</sub>, respectivamente. Lo cual demuestra que el método "Ridge Regression" no funcionó de una manera óptima para el análisis y predicción de los datos correspondientes a las partículas (PM2.5) y (SO<sub>2</sub>) en la localidad de Kennedy, puesto que RMSE es una métrica comúnmente utilizada para evaluar la precisión de un modelo de regresión, debido a que compara las predicciones generadas por el modelo con los valores reales del conjunto de datos; generalmente, este valor debe ser cercano a cero y en este caso fue de 1755.974.

Con base en lo anterior, se estima que, aunque el algoritmo de regresión ridge se emplea generalmente para diseñar modelos más simples y con mayor precisión, debido a que busca solucionar los problemas de variabilidad en caso de que

algunos predictores se encuentren correlacionados o sean menores que el número de datos, se observa que para este tipo de proyecciones el método es ineficaz, debido a que el algoritmo cuenta con el input "alpha", que es básicamente un parámetro que a medida que incrementa su valor, se limitará a los valores de las  $\beta$ , con lo que disminuye la varianza total y, por ende, reduce los efectos de correlación entre variables; se minimiza así el riesgo de sufrir "overfitting" o sobreajuste; por esta razón, cuando "alpha" se establece en 0, el modelo se comporta como una regresión lineal.

En consecuencia, para encontrar el valor óptimo, se deben considerar valores entre 1 y 800, con el objetivo de minimizar la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), sin embargo, en el presente estudio el valor obtenido fue de 1755.974, lo cual demuestra un amplio margen de error, inconsecuente con los resultados esperados para el uso de esta técnica.

## 7. CONCLUSIONES

- En el análisis realizado con base en los datos de la localidad de Kennedy, de acuerdo con la variable de material particulado (PM2.5) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), se identificó que PM2.5 presentaba la mayor cantidad de datos faltantes, de modo que, en un intento por completar la información, se empleó el método de imputación de datos; sin embargo, los resultados no fueron satisfactorios, pues mostraron una falta de concordancia entre los datos reales y los imputados.
- Se recurrió al modelo de imputación "norm.predict", el cual proporcionó resultados más precisos, lo cual evidenció una mayor coherencia entre los datos reales y los imputados para PM2.5. La aplicación del modelo de



regresión “Ridge regression” generó gráficas que representan la relación entre el logaritmo de Lambda y los coeficientes. En el caso de PM2.5, se observó una función decreciente con Lambdas que variaban desde 16.16719 hasta 161671.94416.

- Al evaluar el rendimiento del modelo a través de los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) y el error cuadrático medio (RMSE), se encontraron valores desfavorables, con un RMSE de 1755.974 para PM2.5. Esto indica que

el método “Ridge Regression” no fue eficaz en el análisis y predicción de los datos de PM2.5 y SO2 en la localidad de Kennedy.

- El método “Ridge Regression” puede no ser la elección más adecuada para este tipo de proyecciones en la localidad de Kennedy, por lo cual se sugiere explorar otras técnicas de modelado y ajuste de parámetros para mejorar la precisión y la eficacia en la predicción de los niveles de PM2.5 y SO2 en esta área específica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Benavides C; Gaviria G; et al. (2011)*. "Contaminación por material particulado (pm<sub>2,5</sub> y pm<sub>10</sub>) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009)". *Rev. Nac. Salud Pública* 2011; 29(3); 241-250.
- [2] *Franco D. (2020)*. "Análisis y Caracterización del Material Particulado Pm<sub>10</sub> y Pm<sub>2.5</sub> en la Ciudad de Manizales". Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Manizales.
- [3] *González G, Robles S. (2003)*. "Mortalidad Asociada con la Contaminación Atmosférica por SO<sub>2</sub>. A propósito de un caso de autopsia médico legal tras un Episodio de Polución Atmosférica". Madrid.
- [4] *Farrow A, Chen Y, et al. (2022)*. "La carga de la contaminación del aire en Bogotá, Colombia 2021".
- [5] *Secretaría Distrital de Movilidad. (2019)*. "Administración Distrital revela resultados de la Encuesta de Movilidad 2019 para Bogotá y 18 municipios vecinos". Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Bogotá.
- [6] *Secretaría Distrital de Ambiente. (2022)*. "Informe mensual de la calidad del aire de Bogotá para febrero de 2022". Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Bogotá.
- [7] *Ramírez V. (2017)*. "Ubicación de la Ciudad de Bogotá". <https://bogota.gov.co/ubicacion-de-bogota-sitios-turisticos-vias-y-alrededores-de-bogota#:~:text=Ubicada%20en%20el%20Centro%20del,74%C2%B004'51>".
- [8] *Secretaría Distrital de Ambiente. (2022)*. "Así funcionan las estaciones de monitoreo de calidad del aire en Bogotá". Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Bogotá.
- [9] *Taboga, Marco (2021)*. "Regresión de crestas", Conferencias sobre teoría de la probabilidad y estadística matemática.
- [10] *Msigwa, O. (2023)*. Ridge Regression. *Data Science and Machine Learnig (part 10)*.

# USO DE LA REALIDAD HÍBRIDA COMO ESTRATEGIA EFICAZ PARA AUMENTAR LA ACTIVIDAD MERCANTIL Y LA COMPETITIVIDAD EN LAS PYMES TEXTILES DE BOGOTÁ

Use of hybrid reality as an effective strategy to increase commercial activity and competitiveness in textile SMEs in Bogotá

**Alejandro Martínez Parrado**

Universidad Libre de Colombia, Bogotá, Colombia  
alejandro-martinezp@unilibre.edu.co

**Freidy Leandro Carlos Cobos**

freidyl-carlosc@unilibre.edu.co

## RESUMEN

*La industria textil se encuentra en un punto crucial donde la falta de integración de las tecnologías emergentes, como la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR), representa una seria desventaja competitiva. La electrónica textil ha demostrado su potencial al proporcionar plataformas flexibles y cómodas para aplicaciones de VR y AR, lo que mejora la experiencia del usuario en la interacción con prendas y marcas.*

*Sin embargo, la falta de adopción tecnológica en el sector textil podría llevar a la pérdida de oportunidades económicas y comerciales para las pymes. Esta brecha tecnológica podría derivar en una incapacidad para satisfacer la creciente demanda de nuevos formatos de presentación de prendas en el mercado de Bogotá. En este sentido, la inacción también podría mermar la comunicación marca - cliente, lo que resultaría en una desconexión con la clientela y una pérdida de competitividad.*

*La implementación exitosa de estas tecnologías no solo fortalecería la conexión marca - cliente, como sugieren estudios de mercado, sino que también contribuiría a la creación de empleo interno para el desarrollo, control e innovación de estas tecnologías dentro de las organizaciones textiles. Así, la adopción de la realidad virtual se convierte en una estrategia esencial para el crecimiento sostenible y la competitividad en el mercado actual de las pymes más reconocidas en Bogotá.*

**Palabras clave:** realidad virtual (VR); realidad aumentada (AR); realidad híbrida (HR); comunicación marca - mercado; tecnologías emergentes; electrónica textil.

## ABSTRACT

*The textile industry is at a crucial point where the lack of integration of emerging technologies, such as virtual reality (VR) and augmented reality (AR), represents a serious competitive disadvantage. Textile electronics have demonstrated their*

*potential by providing flexible and comfortable platforms for VR and AR applications, improving the user experience when interacting with garments and brands.*

*However, the lack of technological adoption in the textile sector could lead to the loss of economic and commercial opportunities for SMEs. This technological gap could lead to an inability to satisfy the growing demand for new garment presentation formats in the Bogotá market. Inaction in this regard could also undermine brand-customer communication, resulting in a disconnection with customers and a loss of competitiveness.*

*The successful implementation of these technologies would not only strengthen the brand-customer connection, as market studies suggest, but would also contribute to the creation of internal employment for the development, control and innovation of these technologies within textile organizations. Thus, the adoption of virtual reality becomes an essential strategy for sustainable growth and competitiveness in the current market of the most recognized SMEs in Bogotá.*

**Keywords:** Virtual Reality (VR); augmented reality (AR); hybrid reality (HR); Brand-market communication; Emerging technologies; textile electronics.

---

## I. INTRODUCCIÓN

Entendiendo la importancia de la realidad híbrida, la cual ha cobrado relevancia especialmente desde el año 2019 con implicaciones significativas en el campo de la electrónica textil, se destaca su capacidad para ofrecer plataformas ligeras, flexibles y cómodas en aplicaciones de realidad virtual y realidad aumentada [1]. Este avance ha generado una serie de innovaciones en marcas reconocidas como Givenchy, que han adoptado esta tecnología para darles a sus usuarios la posibilidad de interactuar mientras les brinda información mediante tecnología VR y AR [2].

Además, empresas como Zara han respondido a las limitaciones impuestas por la pandemia de 2019 mediante el desarrollo de estanterías en realidad aumentada, pues ofrecen a los clientes la posibilidad de probar prendas de forma virtual, ajus-

tadas a sus medidas. Este sistema se retroalimenta y se actualiza constantemente en función de usuarios con proporciones anatómicas similares que previamente adquirieron el mismo producto [3]. Asimismo, tecnologías como 'Kinect v2' han permitido a las personas probar la ropa deseada mediante espejos interactivos para brindar una experiencia en tiempo real que facilita el proceso de prueba de prendas y el uso de vestidores en tiendas [4]. Todos estos proyectos comparten el enfoque centrado en el usuario, que busca mejorar la experiencia de compra y generalmente actualizando la marca en cuestión mediante el uso de la realidad mixta. Estas tecnologías permiten resaltar y fortalecer su presencia en el mundo de la industria textil, lo que genera una mayor interacción y conexión con los consumidores [5].

Los antecedentes revelan el impacto positivo de la realidad híbrida y las tecnologías

aplicadas en la industria textil, porque se transforma la interacción entre usuarios y marcas, mejora la experiencia de compra y consolida la presencia tecnológica en el ámbito comercial. En este sentido, la implementación de tecnologías como la realidad virtual y aumentada podría ser crucial para mejorar la interacción marca - mercado y responder a las cambiantes necesidades de los consumidores, para lo cual es conveniente plantear el interrogante sobre si estas estrategias pudieran impulsar eficazmente la actividad mercantil del sector textil en la región de Bogotá.

## II. JUSTIFICACIÓN

La actualización digital es necesaria para todo tipo de negocios modernos y su posición; por tal motivo se toma la iniciativa de generar este proyecto, que pretende corregir el atraso en el desarrollo tecnológico en procesos de marketing, arraigados a la planificación y uso de la realidad virtual como alternativa para aumentar la actividad en el mercado.

“Hay un desarrollo de la realidad virtual y los contenidos multimedia con capacidad inmersiva, incorporados como elementos en los procesos de comunicación interna y externa de las organizaciones. El desarrollo tecnológico, la profunda digitalización del espectro comunicacional y mediático global y la demanda de nuevas propuestas y formatos por parte de las audiencias, parecen ser factores determinantes para que, en el ámbito empresarial e institucional, sumen esta alternativa a su oferta de contenidos y vías de difusión.” [6].

Teniendo en cuenta lo mencionado, se deben atender asuntos como las nuevas estrategias tecnológicas en los procesos de comunicación y la demanda de nuevos for-

mas y formatos con los que los productos comerciales se pueden dar a conocer a la audiencia pues significaría una estrategia eficaz no solo para presentar productos, sino que además se obtendría la oportunidad para las pymes de internacionalizarse debido a la alta competencia que representaría un mercado más amplio: la tecnología tiene la capacidad de promover una empresa internacionalmente, puesto que permite la formación de estrategias, intercambio de recursos y una expansión uniforme concorde a la petición del consumidor promedio [7].

La aplicación de la realidad virtual en la industria textil facilitaría la comunicación con los clientes y el mercado en general, según la VRScout (Compañía especializada en la realidad aumentada), se afirma que el uso de la realidad virtual en este sector profundizaría dicha conexión entre la marca y el mercado, cosa que hoy en día sería una ventaja indispensable para una mejor imagen comercial; una encuesta realizada por esta misma compañía mostró que la mayoría de las personas (alrededor del 71% de 1.300 personas encuestadas) estarían de acuerdo con una marca que patrocine la realidad virtual puesto que dan una impresión visionaria respecto al futuro, además que el 62% de dichos encuestados se comprometería con esta índole [8]; aunque claramente esta ventaja se perdería sin esta implementación, y se perdería tanto la comunicación con el mercado como la aprobación de la clientela, del mismo modo que se denegaría la oportunidad de incrementar la competitividad y se disminuiría la agilidad en el consumo remoto que, por consecuencia, se ocasionaría [9].

Además del avance tecnológico junto con la aprobación del mercado industrial, la creación de trabajo decente y productivo es sin duda un área bastante afectada si

no se tiene en cuenta las posibilidades de desarrollo virtual [10]; por ende, esta aplicación traería el beneficio de generar más empleos internos dentro de las organizaciones textiles para el control, actualización e innovación de las tecnologías implementadas.

### III. DISEÑO Y MÉTODO

#### A. Objeto formal

El proyecto busca cerrar la brecha tecnológica en el sector textil, promoviendo la adopción de tecnologías emergentes para mejorar la experiencia de compra, fortalecer la conexión con los consumidores y aumentar la competitividad de las pymes en el mercado. La implementación de una herramienta basada en la realidad híbrida como apoyo estratégico de mercadeo, busca aprovechar tecnologías emergentes como la realidad virtual y la realidad aumentada, adaptándolas al ámbito mercantil de las pymes textiles más relevantes de Bogotá.

#### B. Tipo de investigación

En el presente se busca proponer una herramienta basada en la realidad híbrida para mejorar la relación marca - mercado en el sector textil, donde el principal enfoque es la resolución del problema anteriormente contrastado, que encaja perfectamente con la investigación descriptiva ya que implica medir y recoger conocimientos teóricos y prácticos relacionados con la realidad virtual, la realidad aumentada, la electrónica textil y las estrategias de marketing para diseñar y proponer una solución concreta.

Además, se están utilizando antecedentes y estudios previos sobre la aplicación exitosa de la realidad híbrida en la industria

textil para respaldar la viabilidad y los beneficios de esta herramienta.

#### C. Hipótesis

La implementación de una herramienta basada en realidad híbrida mejorará la relación marca - mercado en el sector textil, lo cual facilita una comunicación más efectiva y una experiencia de usuario mejorada.

#### D. Ámbito de estudio

El ámbito de estudio de este proyecto se centra en las pequeñas y medianas empresas (pymes) del sector textil de la ciudad de Bogotá, Colombia. Busca comprender cómo la implementación de la realidad híbrida y las tecnologías emergentes puede impactar positivamente la experiencia de compra, la diferenciación en un mercado competitivo y la conexión emocional entre las marcas de textiles y sus clientes.

#### E. Muestra

El presente documento se centrará en una pyme en particular: Alpha Walker (empresa de emprendimiento bogotana centrada en la comercialización de prendas textiles); se busca contrastar la adaptabilidad de las nuevas demandas de los consumidores y el manejo que le dan a la implementación de tecnologías emergentes como lo es la realidad híbrida. Se basará en algunos criterios que las distinguen, tales como: volumen de negocios, presencia y participación en el mercado, reconocimiento, innovación y adaptación tecnológica.

#### F. Variables de análisis

- a. Variables dependientes
  - Experiencia de compra
  - Competitividad de las pymes textiles.
  - Estrategias de marketing y comunicación.

- b. Variables independientes  
Uso de la realidad híbrida e innovación en la presentación de productos textiles.

### G. Técnicas de investigación utilizadas

La implementación de una herramienta basada en la realidad híbrida en el sector textil requiere abordar técnicas de investigación adecuadas que garanticen la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos antes y después de la implementación.

- a. *Encuesta a clientes y consumidores*  
Estas encuestas pueden proporcionar información valiosa sobre la percepción de los consumidores acerca de la implementación de la realidad híbrida en la presentación de productos textiles. Se pueden evaluar opiniones, preferencias y la experiencia de usuario, lo que aportaría datos significativos sobre la aceptación y la eficacia de la herramienta.
- b. *Observación de la interacción marca - mercado (post implementación)*  
La observación directa de la interacción entre los consumidores y la herramienta de realidad híbrida en un entorno real o simulado puede proporcionar datos detallados sobre la experiencia del usuario. Esto garantiza la validez al capturar comportamientos reales y permite la fiabilidad al observar consistentemente la interacción y el comportamiento de los usuarios.

## IV. TRABAJO DE CAMPO Y ANÁLISIS DE DATOS

### A. Recolección de datos

Para llevar a cabo un estudio sobre la implementación de la realidad híbrida en las

pymes textiles sobresalientes de Bogotá, se propone seguir una serie de pasos fundamentales para la recolección de datos:

- a. Identificación de la pyme en particular
- Definir criterios que reflejen la innovación, impacto en el mercado, adaptación tecnológica y otros aspectos relevantes para la investigación.
  - Seleccionar cuidadosamente las pymes que cumplen con estos criterios para la inclusión en el estudio.
- b. Diseño de instrumentos de recolección de datos
- Desarrollar encuestas, guías de entrevistas y herramientas específicas de observación para recopilar información relevante sobre la implementación de la realidad híbrida en las pymes textiles seleccionadas.
  - Involucrar a clientes, expertos de la industria y ejecutivos de las pymes en la aplicación de estos instrumentos.
- c. Observación directa en los entornos de implementación (post implementación)
- Realizar un análisis detallado de las interacciones entre la marca y el cliente en los entornos donde se implementa la realidad híbrida en las pymes seleccionadas.
  - Recopilar datos cuantitativos y cualitativos valiosos que serán analizados en etapas posteriores.

### B. Análisis de datos

- a. Análisis de respuestas cualitativas
- Emplear técnicas manuales de codificación, categorización y tematización para analizar los datos no estructurados provenientes de entrevistas y observaciones.
  - Identificar temas emergentes, opiniones, percepciones y experiencias espe-

cíficas de clientes, expertos y ejecutivos de las pymes textiles respecto a la implementación de la realidad híbrida.

b. Utilización de resultados para mejoras y estrategias

- A partir de los resultados obtenidos, mejorar el diseño de encuestas futuras para obtener información más precisa sobre la experiencia del cliente.
- Implementar estrategias dirigidas a los clientes internos para que las pymes ajusten sus prácticas y estrategias de marketing basándose en las necesidades y preferencias identificadas.
- Obtener una visión valiosa de los clientes externos para comprender sus preferencias, percepciones y experiencias con respecto a la implementación de la realidad híbrida en el sector textil.

La propuesta metodológica presentada sigue un orden específico que se fundamenta en la lógica y en la eficiencia del proceso de investigación. En primer lugar, la identificación de las pymes particulares basada en criterios definidos cuidadosamente es crucial para asegurar la representatividad y relevancia de los datos recopilados.

Este paso inicial establece una base sólida para el estudio al seleccionar organizaciones que sean verdaderamente relevantes para el tema de investigación. Luego, el diseño de instrumentos de recolección de datos, que incluye encuestas, guías de entrevistas y herramientas de observación, permite una recopilación estructurada y completa de información pertinente.

Este enfoque garantiza que se capturen los datos necesarios para abordar los objetivos de la investigación de manera efectiva. Además, la observación directa en los entornos de implementación

proporcionará una comprensión profunda de las interacciones entre la marca y el cliente, así como datos cuantitativos y cualitativos valiosos que enriquecen el análisis posterior.

En cuanto al análisis de datos, comenzar con el análisis de respuestas cualitativas permite una exploración detallada de las percepciones, opiniones y experiencias de los participantes, lo cual proporciona una base sólida para comprender el fenómeno estudiado. Finalmente, la utilización de los resultados para mejoras y estrategias asegura que los hallazgos se traduzcan en acciones concretas y orientadas a la mejora continua; se cierra así el ciclo de investigación de manera efectiva.

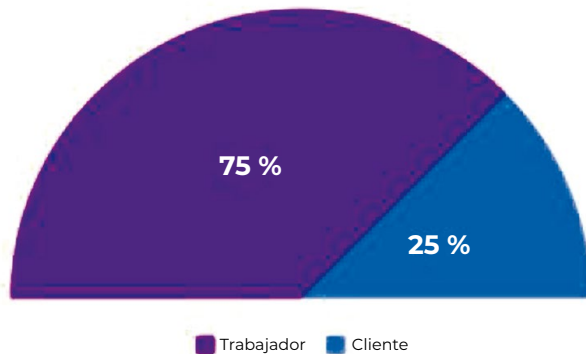
## V. RESULTADOS DESTACADOS

Se realizó la encuesta respectiva a clientes, ejecutivos y trabajadores de Alpha Walker. La encuesta consta de 8 preguntas: (1) ¿Qué rol desempeña? (2) ¿Cuánto sabe sobre las tecnologías de realidad híbrida (realidad virtual y aumentada)? (3) ¿Considera que la implementación de la realidad híbrida podría mejorar la experiencia de compra para nuestros clientes? (4) ¿Cree que la realidad híbrida podría diferenciarnos de la competencia y fortalecer nuestra marca? (5) ¿Tiene alguna preocupación o consideración específica sobre la implementación de la realidad híbrida en nuestra empresa? (6) En su opinión, ¿cuáles podrían ser los principales beneficios de utilizar la realidad híbrida en nuestro sector? (7) ¿Estaría dispuesto/a a participar en sesiones de capacitación sobre el uso de la realidad híbrida en nuestra operación? (8) ¿Hay algo más que le gustaría agregar o comentar sobre la implementación de la realidad híbrida en Alpha Walker?



Algunos de los resultados graficados se mostrarán a continuación:

**Ilustración 1** Resultados pregunta #1

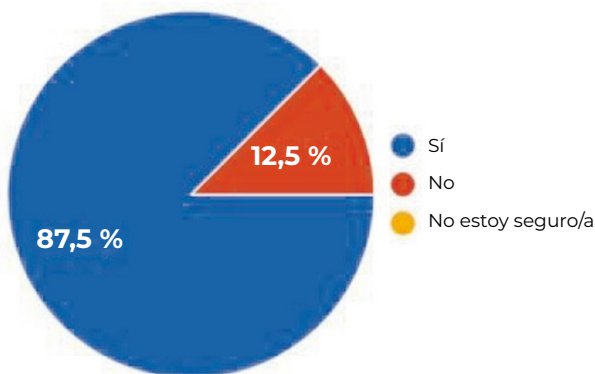


### A. Atracción por la realidad híbrida

Los resultados obtenidos revelan un marcado mayoritariamente interesado y atraído por el uso de la realidad híbrida en el sector textil. De manera general, se observa una recepción positiva por parte de la empresa, que refleja un alto grado de interés y curiosidad hacia la implementación de esta tecnología en la presentación de productos textiles.

Por supuesto, también surgen dudas de cómo y cuánto costaría este tipo de implementaciones; en paralelo se evidencia la percepción positiva de los clientes ante esta innovación tecnológica en la empresa.

**Ilustración 2** Resultados pregunta #4



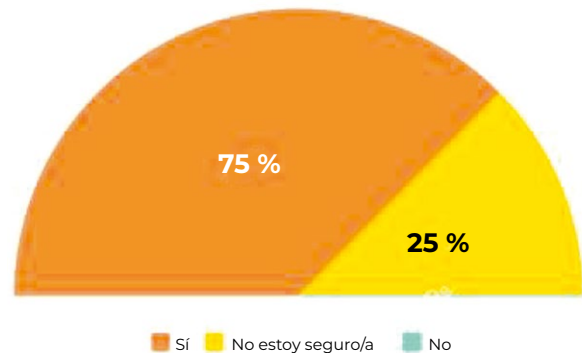
### B. Innovación emergente

Particularmente relevante es el caso de Alpha Walker, con la que se ha empezado a proponer prototipos relacionados al VR inicialmente. Esta pyme ha mostrado un enfoque innovador y audaz en la implementación de la realidad híbrida. Se ha evidenciado una notoria atracción e innovación en la proyección web de productos textiles escaneados, modelados y presentados a través de esta tecnología.

### C. Futuras perspectivas con la realidad aumentada

Se ha visualizado un horizonte prometedor con la aplicación de la realidad aumentada (AR) en el ámbito textil en Alpha Walker; la consideración de desarrollar una herramienta innovadora que permita a los consumidores experimentar virtualmente el uso de las prendas, representa un paso decisivo hacia la vanguardia tecnológica en el sector. La proyección de esta implementación se distingue como una estrategia cautivadora para fortalecer la interacción marca - cliente. Este enfoque no solo representa una innovación en la presentación de productos textiles, sino que también puede transformar la experiencia de compra. Al ofrecer a los consumidores la oportunidad de interactuar con las prendas de manera virtual, se establece un vínculo más profundo entre la marca y el cliente.

**Ilustración 3** Resultados pregunta #3



Estas perspectivas no solo se enfocan en la tecnología en sí misma, sino que se anticipan como una puerta abierta a la creatividad y la versatilidad en la presentación de productos. Esta iniciativa promete ampliar las posibilidades de personalización para los consumidores, cual les permite visualizar cómo los productos se adaptan a su estilo y a sus preferencias personales. Además, puede impulsar el compromiso a largo plazo de los clientes con las marcas textiles, dado que la interacción con las prendas de manera virtual genera una experiencia única y memorables para los usuarios.

## **VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

La investigación realizada sobre la implementación de la realidad híbrida en el sector textil reveló datos significativos que subrayan el potencial y los desafíos asociados con la adopción de tecnologías emergentes en las pymes de Bogotá. La realidad híbrida, fusión de la realidad virtual y la realidad aumentada, ha demostrado ser un campo de interés creciente en el mercado textil, respaldado no solo por los resultados de los métodos usados, sino también por antecedentes significativos en marcas como Givenchy y Zara, que han abrazado estas tecnologías para mejorar la interacción con los consumidores [1]-[4].

Los resultados obtenidos confirman la atracción general hacia la realidad híbrida, evidenciada por el interés y la curiosidad manifestados por los encuestados. Además, se destacó un caso específico de innovación y enfoque audaz en una pyme particular, Alpha Walker, que proyecta la implementación de la realidad híbrida como una herramienta innovadora para presentar productos textiles de manera virtual a través de la web.

La visualización de futuras perspectivas con la realidad aumentada AR, especialmente en el caso de Alpha Walker, representa un paso fundamental hacia la vanguardia tecnológica en el sector. Esta implementación, que busca permitir a los consumidores interactuar virtualmente con las prendas, promete una transformación significativa en la experiencia de compra. Además, se espera que esta estrategia genere un vínculo más profundo entre la marca y el cliente, pues se potencia la personalización y la conexión emocional con los productos textiles.

La implementación de una herramienta de realidad híbrida como apoyo estratégico de mercadeo se ha demostrado factible y prometedora. Además, la visualización de nuevas formas de presentación de productos textiles mediante la realidad híbrida se ha destacado, lo cual ha señalado su potencial para facilitar la comunicación entre la marca y el mercado y ha evidenciado el potencial para mejorar dicha comunicación.

### **A. Conclusiones generales**

Las conclusiones derivadas de los resultados y la discusión reflejan una clara validación de las hipótesis planteadas. La realidad híbrida se perfila como una herramienta poderosa y transformadora en la industria textil, capaz de mejorar la interacción con los consumidores, fortalecer [1] la conexión emocional con las marcas y potenciar la experiencia de compra. Estos hallazgos sugieren que la implementación de tecnologías emergentes como la realidad virtual y aumentada podría ser crucial para el desarrollo exitoso de las pymes textiles en Bogotá, lo que les permite adaptarse a las cambiantes necesidades del mercado y posicionarse como actores innovadores y competitivos en la región.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Liu, K. Ma, B. Yang, H. Li, and X. Tao, "Textile Electronics for VR/AR Applications," *Adv Funct Mater*, vol. 31, no. 39, p. 2007254, Sep. 2020, doi: 10.1002/ADFM.202007254.
- [2] M. Díaz, "El universo virtual de Givenchy." Accessed: Dec. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.expansion.com/fueradeserie/tecno/2018/01/23/5a5dd01646163f79368b456b.html>
- [3] *La Vanguardia*, "Zara: Así funciona el nuevo probador virtual en la nueva normalidad," 2020. Accessed: Dec. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.lavanguardia.com/de-moda/moda/20200527/481424841496/zara-probador-virtualtiendas.html>
- [4] M. Szymczyk, "Augmented Reality 2.0 Will Transform Retail." Accessed: Dec. 09, 2023. [Online]. Available: <https://zugara.com/augmented-reality-2-0-will-transform-retail-2>
- [5] *Audaces*, "Conozca marcas que crean moda con realidad aumentada." Accessed: Dec. 09, 2023. [Online]. Available: <https://audaces.com/es/blog/conozca-marcas-que-crean-modacon-realidad-aumentada>
- [6] J. M. Herranz De La Casa, R. Caerols Mateo, and P. Sidorenko Bautista, "Virtual reality and 360video in business and institutional communication," *Revista de Comunicacion*, vol. 18, no. 2, pp. 177–199, 2019, doi: 10.26441/RC18.2-2019-A9.
- [7] R. M. de A. Guerra and M. E. Camargo, "The role of technological capability in the internationalization of the company and new product success: a systematic literature review," *Internext*, vol. 11, no. 1, p. 49, May 2016, doi: 10.18568/1980-4865.11149-62.
- [8] J. Nafarrete, "53% of Consumers Likely to Purchase from Brands that Sponsor VR - VRScout," 2016. Accessed: Dec. 09, 2023. [Online]. Available: <https://vrscout.com/news/consumervirtual-reality-survey/>
- [9] N. Rovira, Sebastián; Peres, Wilson; Saparito, Nunzia; Jordan, Valeria; Núñez, Georgina; Patiño, Alejandro; Poveda, Laura; Rojas, Fernando; Vargas, Joaquín; Mastínez, Rodrigo; Palma, Amalia; Trucco, Daniela; Cabello, Sebastián; Grossman, "Digital technologies for a new future," United Nations Publication, pp. 87–95, 2021, [Online]. Available: [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46817/S2000960\\_en.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46817/S2000960_en.pdf)
- [10] ILO, "The future of work in textiles, clothing, leather and footwear," 2019.







**UNIVERSIDAD  
LIBRE®**  
Vigilada Mineducación



[www.unilibre.edu.co](http://www.unilibre.edu.co)

[f @unilibrebogota](#) [X @Unilibrebog](#) [▶ Canal Unilibre](#) [@unilibrebogota](#)