

SEMILLAS AMBIENTALES



BOLETÍN

FOTOGRAFÍA: LAURA DANIELA MEJIA AVILA

ISSN: 2463-0691 (EN LÍNEA)

VOLUMEN (20 NO. 1)

BOGOTÁ - COLOMBIA, ENERO— JUNIO 2026



Unidad de Investigación
Facultad del Medio Ambiente y
Recursos Naturales



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS


*Facultad del
Medio Ambiente y
Recursos Naturales*

PUBLICACIÓN SEMESTRAL DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS
NATURALES - UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

SEMILLAS AMBIENTALES

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Publicación de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Unidad de Investigaciones de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Boletín Semillas Ambientales Volumen 20 No. 1 Bogotá D.C. Enero—Junio de 2026

ISSN: 2463-0691 (En línea)

Página web del Boletín Semillas Ambientales: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/bsa/index>

Director - Editor del Boletín Semillas Ambientales

Álvaro Martín Gutiérrez Malaxechebarría

Rector

José Andelfo Lizcano Caro

Comité Editorial

Álvaro Martín Gutiérrez Malaxechebarría

Gabriel Ernesto Escobar

Juan Carlos Alarcón Hincapié

Luz Fabiola Cárdenas Torres

Jairo Miguel Martínez Abello

René López Camacho

José Miguel Cepeda Rendón

Wilmar Darío Fernández Gómez

Maribel Pinilla Rivera

Jhon Edisson Alvarado Torres

Edgar Andrés Alvarado Torres

Juan Pablo Rodríguez Miranda

Vicerrectora académica

Wilman Enrique Navarro Mejía

**Decano Facultad del Medio Ambiente
y Recursos Naturales**

Hayder Osvaldo Bautista Herrera

**Director de la Unidad de Investigaciones de la
Facultad del Medio Ambiente y Recursos
Naturales**

Álvaro Martín Gutiérrez Malaxechebarría

Jefe Oficina De Investigaciones - ODI

Nelson Enrique Vera Parra

Asistente Comité Editorial y Digitalización

Gabriel Orlando Rodríguez Silva

Coordinación Editorial

Álvaro Martín Gutiérrez Malaxechebarría

Gestora Unidad de Investigación

Karen Melisa Naranjo Rodríguez

Secretaria Unidad de Investigación

Sandra Patricia Castro Novoa

Grupo de Revisores del Presente Número

Angela Parrado Rosselli

Eider Hernán Bustos Velasco

Fabio López Botía

Jesús Alberto Lagos Caballero

Jhon Edisson Alvarado Torres

Juan Carlos Alarcón Hincapié

Juan Pablo Rodríguez Miranda

Maribel Pinilla Rivera

Miguel Ángel García Reyes

Néstor Ricardo Bernal Suarez

Rene López Camacho

Fotografía de Portada

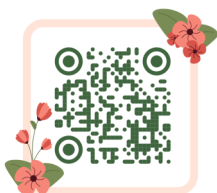
Laura Daniela Mejía Ávila

Correo: ldmejiaa@udistrital.edu.co

Nombre fotografía: Pasos por el Ariarí

Lugar: Río Ariarí en Puerto Rico, Meta, Colombia.

Fecha: 02 de diciembre de 2025



Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Sede Vivero - Carrera 5 Este N° 15 - 82, Bogotá D.C. Colombia.
Boletín Semillas Ambientales. Email: facmedioamb-uinv@udistrital.edu.co

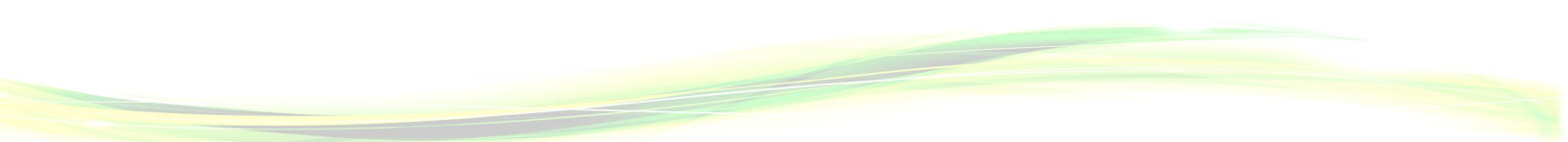


TABLA DE CONTENIDO

NOTA EDITORIAL.....	4
----------------------------	----------

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

- Análisis del rendimiento del Club Fortaleza CEIF 2024: Un enfoque desde la estadística descriptiva y probabilidad 5
- Modelado matemático del flujo de espectadores en estadios mediante cálculo integral: Aplicación al Estadio Metropolitano de Techo..... 14

ARTICULOS DE REFLEXIÓN

- Importancia de la formación matemática y estadística en el plan de estudios de Administración Deportiva..... 25
- Juguetes sostenibles y desarrollo motriz en la infancia: Reflexiones para una crianza ambientalmente responsable 34

ARTÍCULOS RESUMEN DE TRABAJO DE GRADO

- Evaluación del impacto del cambio y variabilidad climáticos en la oferta hídrica de la principal cuenca abastecedora del Sistema Chingaza por medio de un modelo SWAT 41
 - Efecto de la frecuencia del fuego en la inflamabilidad de los BS-t interandinos colombianos 46
- 

NOTA EDITORIAL

Bienvenidos a esta nueva edición de nuestro boletín, ¡el número 1 del volumen 20! Un espacio que se consolida como un puente entre la rigurosidad académica y las dinámicas de nuestra realidad social y ambiental. En esta entrega, nos enorgullece presentar una selección de trabajos de distintas áreas y enfoques.

En la sección de Artículos Científicos, el foco se sitúa sobre la intersección entre la matemática aplicada y el deporte; a través de un análisis detallado del Club Fortaleza CEIF bajo la óptica de la estadística descriptiva, y un innovador modelado del flujo de espectadores en el Estadio Metropolitano de Techo mediante cálculo integral, los autores nos invitan a ver el fútbol no como un sistema complejo que puede ser optimizado mediante el análisis de datos.

Por otro lado, nuestros Artículos de Reflexión nos invitan a repensar la formación profesional y el impacto de nuestras decisiones cotidianas. En primer lugar, se subraya la necesidad de integrar la estadística en la Administración Deportiva como un pilar fundamental para la toma de decisiones. Complementando esta visión, se presenta una reflexión sobre la crianza responsable, analizando cómo los juguetes sostenibles pueden ser motores de desarrollo motor y, al mismo tiempo, herramientas de conciencia ambiental desde la primera infancia.

En los trabajos de grado reconocidos se presentan estudios que abordan desafíos críticos para Colombia: la evaluación de la oferta hídrica en el Sistema Chingaza frente al cambio climático mediante el modelo SWAT, y el análisis de la inflamabilidad en bosques secos interandinos debido a la frecuencia del fuego.

En definitiva, este número es una invitación a reconocer la interdisciplinariedad como la ruta para solucionar los retos del siglo XXI. Desde el dato estadístico en la cancha hasta el modelado hidrológico en la montaña, cada página de este boletín busca aportar conocimiento valioso para nuestra comunidad académica y para la sociedad en general. Los invitamos a sumergirse en estos textos y a encontrar en ellos nuevas perspectivas para comprender y transformar nuestro entorno.

ALVARO-MARTÍN GUTIÉRREZ-MALAXECHEBARRÍA

Editor Boletín Semillas Ambientales (ISSN 2463-0691)

Coordinador Unidad de Investigaciones

Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL CLUB FORTALEZA CEIF 2024: UN ENFOQUE DESDE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA Y PROBABILIDAD

Autor (es): Leonardo Soler Guerrero¹ – lsolerg@udistrital.edu.co
Valentina Quiroga Cadena² – vquirogac@udistrital.edu.co
Laura Liliana Morales Rodríguez³ – llmoralesr@udistrital.edu.co

Docente director/asesor: Mawin Javier Martínez Jiménez

Espacio Académico de Estadística Inferencial

RESUMEN

Este estudio cuantitativo y correlacional analiza el rendimiento de Fortaleza CEIF en 2024 por medio de un enfoque metodológico basado en la estadística descriptiva y en la probabilidad. Se consideran variables deportivas, económicas y sociales, aplicando medidas de tendencia central, probabilidad y combinaciones para identificar relaciones clave y evaluar la sostenibilidad y desempeño del club.

PALABRAS CLAVES

Fortaleza CEIF, análisis, estadística, económico, deportivo, rendimiento.

ABSTRACT

This quantitative and correlational study analyzes the performance of Fortaleza CEIF in 2024 using a methodological approach based on descriptive statistics and probability. Sporting, economic, and social variables are considered, applying measures of central tendency, probability, and combinations to identify key relationships and assess the club's sustainability and performance.

KEYWORDS

Fortaleza CEIF, analysis, statistics, economics, sports, performance.

INTRODUCCIÓN

El ascenso de Fortaleza CEIF a la Primera A

¹ Administración Deportiva, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

² Administración Deportiva, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

³ Administración Deportiva, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

del fútbol colombiano en 2024 no es solo una victoria deportiva; es el punto de partida para un análisis más profundo y estratégico. Este estudio se propone desentrañar, de manera integral y cuantitativa, los factores que verdaderamente impulsan el rendimiento y la sostenibilidad de un club en la élite. Más allá de los goles y los puntos, nos sumergiremos en una exploración que considera variables deportivas, económicas, comerciales y sociales, buscando entender la compleja interacción que define el éxito en el fútbol moderno. Nuestro objetivo principal es utilizar la estadística para ofrecer una visión del desempeño de Fortaleza CEIF. Esto implica ir más allá de los números obvios para identificar relaciones significativas entre, por ejemplo, la inversión en la plantilla y el rendimiento en el campo, o el impacto de las campañas de marketing en la asistencia al estadio. Este estudio ofrece una ruta basada en datos estadísticos para FORTALEZA CEIF, que enfrentan desafíos similares tras un ascenso para así descubrir cómo un club puede no solo

competir, sino consolidarse y prosperar en la liga colombiana, este análisis va más allá del simple seguimiento de resultados, ya que ofrece una perspectiva valiosa y como un club puede construir un futuro sólido, asegurando sostenibilidad económica, fortaleciendo su marca y su rendimiento deportivo.

MÉTODOS

Enfoque de la investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo y correlacional.

Tipo de investigación

Es descriptiva y explicativa.

Población y muestra

Población: Resultados de Fortaleza CEIF durante la temporada 2024

Muestra: Estadísticas deportivas, datos económicos, métricas sociales y deportivas.

Análisis de probabilidades mediante el Teorema de Bayes

El teorema de Bayes es una herramienta que permite determinar la probabilidad de que ocurra un evento, considerando que otro evento relacionado ya se ha producido.

En el caso de los encuentros de Fortaleza CEIF, se usa para calcular la probabilidad de que el equipo gane, pierda o empate, considerando si juega en casa o fuera. Así, se puede entender mejor cómo jugar de local o visitante influye en los resultados. Esto facilita un análisis más completo del desempeño del equipo y ayuda a tomar decisiones basadas en datos y probabilidades.

RESULTADOS

Datos generales

Fortaleza tuvo una campaña equilibrada, ganando y perdiendo 13 partidos cada uno, con 12 empates, lo que refleja estabilidad, pero también una falta de contundencia para destacar en la tabla. Con 51 puntos (PT) en 38 partidos jugados (PJ), el equipo logró 7 victorias de local y 6 de visitante, recibiendo 41 goles en contra (GC) y

40 a favor (GF), con una diferencia de gol (DG) de 1. Marcó 22 goles de local (GFL) y 19 de visitante (GFV), mostrando un rendimiento parejo. La plantilla, valorada en \$7.03 millones de dólares, promedió 24.9 años y 3,420 minutos jugados, este promedio etario refleja una plantilla joven y competitiva, aunque con limitada experiencia.

Goles y eficiencia defensiva/ofensiva

El equipo marcó apenas más de lo que recibió, con una media de 1.34 puntos por partido, 1.08 goles anotados por partido y 1.05 goles recibidos por partido, lo que resulta en una diferencia de gol de 0.03, sugiriendo partidos muy cerrados. La ofensiva fue funcional, pero no dominante. La defensa cumplió, pero sin destacar.

Desempeño local y visitante

Fortaleza mostró un desempeño ligeramente más fuerte como local, anotando 22 goles y logrando 7 victorias con una media de 1.16 goles por partido, en línea con su tendencia

habitual. Como visitante, el equipo anotó 19 goles, obtuvo 6 victorias y mantuvo una media de 1 gol por partido, reflejando un rendimiento competitivo que representa un punto positivo.

Probabilidades por condición (local/visitante)

- Fortaleza rinde mejor en casa: su mayor probabilidad es ganar (36.8%)
- El rendimiento es muy parejo entre ganar (36,8%), empatar (31,58%) o perder (31,58%), pero cambia dependiendo del lugar donde y con que rivales se enfrentan en el partido.

Probabilidad de dos eventos en el resultado de los encuentros con el Teorema de Bayes

Mediante la aplicación del teorema de Bayes, se lograron determinar probabilidades condicionadas que ofrecen una comprensión más profunda de los factores que influyen en el desempeño del equipo. A partir de este enfoque, se obtuvieron los siguientes

resultados:

- La probabilidad de que el equipo gane y sea local es del 53,6%
- La probabilidad de que el equipo pierda y sea local es del 46,3%
- La probabilidad de que el equipo empate y sea local es del 50,0%
- La probabilidad de que el equipo gane y sea visitante es del 46,3%
- La probabilidad de que el equipo pierda y sea visitante es del 53,6%
- La probabilidad de que equipo empate y sea visitante es del 50,0%

Combinación nominal - local

El equipo presenta 32 jugadores como local en el cual cada uno de ellos representa una posición en el campo de juego, para hacer la combinación nominal tendremos en cuenta el número de posiciones en el campo, con el número de jugadores que pueden ocupar esa posición (guardameta, defensas, medio

campo, extremos, delanteros) así que de 3 guardametas 1 puede ocupar esa posición, de 6 defensas centrales 2 pueden ocupar esa posición, de 2 laterales izquierdos 1 puede ocupar esa posición, de 3 laterales derechos 1 puede ocupar esa posición de 5 mediocampistas 3 pueden ocupar esa posición de 2 extremos izquierdos uno puede ocupar esa posición, de 3 extremos derechos 1 ocupa la posición y de 3 delanteros uno puede ocupar esa posición. Teniendo en cuenta esta información se pueden obtener un total de 243.000 posibles alineaciones diferentes de local.

Combinación nominal - visitante

El equipo presenta 29 jugadores como visitante, en este caso la alienación o combinación cambiaría de la siguiente manera:

De 3 guardametas, 1 ocupa la posición, de 6 defensas 3 ocupan la posición, de 10 mediocampistas 3 ocupan la posición, de 3 extremos o laterales izquierdos 1 ocupa la

posición, de 4 extremos o laterales derechos 1 ocupa la posición, de 3 delanteros 2 ocupa la posición.

Teniendo en cuenta esta información, se evidencia un total de 259.200 posibles alineaciones diferentes de visitante.

Análisis económico

Ingresos por boletería

En 2024, Fortaleza CEIF generó ingresos por boletería con un valor promedio de \$60,000,000, basados en un total de 92,957 asistentes en 19 partidos, lo que arroja un promedio de 4,892 asistentes por encuentro.

Los ingresos totales por boletería alcanzaron los \$5,577,420,000, con un promedio de \$293,548,421 por partido. A pesar de que el equipo jugó principalmente en el Estadio Metropolitano de Techo (con capacidad para 10,000 personas), el promedio de asistencia sugiere un aforo razonable pero una hinchada relativamente pequeña y dependiente. Además, algunos encuentros contra equipos más importantes se

trasladaron al Nemesio Camacho El Campín para maximizar beneficios, lo que probablemente influyó en la distribución de los ingresos, aunque no se detalla cuánto aportaron estos partidos específicos.

Ingresos por venta de camisetas

En 2024, Fortaleza CEIF generó \$143,000,000 en ingresos por la venta de 1,100 camisetas, lo que representa el 1.18% de los 92,957 asistentes a sus 19 partidos, una cifra lógica dado que el club no cuenta con una gran base de hinchas propia y esta no es su principal fuente de ingresos. El costo unitario por camiseta fue de \$130,000, con un total de 1,100 unidades vendidas (750 locales y 350 visitantes).

Ingresos por patrocinadores

Fortaleza CEIF ha sido patrocinada por empresas importantes como: Chocolates GOL, Gaseosas POOL, Colanta, Betplay y Kimo, donde estas no solo contribuyeron económicamente, sino que también apoyaron al equipo con implementos deportivos,

alimentos y bebidas para los jugadores y eventos, fortaleciendo la identidad del club y su conexión con la comunidad, como parte de su estrategia para promover el fútbol colombiano y el talento emergente.

Análisis Social

En 2022 y 2023, cuando el club promediaba más o menos 2,000 hinchas según reportes históricos. Esto indica un crecimiento de hinchas propios estimado entre un 20-40% en 2024, (de 18,591 a 27,887 hinchas locales, asumiendo un 20-30% de la asistencia), impulsado por su desempeño (8° en el Clausura), la estrategia "miti-miti" que atrae público variado, y su visibilidad mediática.

DISCUSIÓN

Fortaleza CEIF se presenta como un equipo con un rendimiento equilibrado y una plantilla joven, donde los empates son frecuentes y la diferencia entre goles marcados y recibidos es mínima. Son ligeramente más fuertes en casa, pero su

competitividad como visitante es notable, demostrando una valiosa resiliencia. La flexibilidad táctica es impresionante, con miles de alineaciones posibles, lo que sugiere una gran adaptabilidad. Económicamente, sus ingresos por boletería y venta de camisetas son modestos, pero el apoyo de patrocinadores es crucial. Socialmente, experimentan un crecimiento significativo de hinchas, impulsado por su desempeño y estrategias de engagement, lo que augura un futuro prometedor para el club. En contraste, La Equidad Seguros es un club con una cantidad similar de jugadores y esquemas tácticos que Fortaleza CEIF, el cual tuvo un desempeño algo superior en 2024, superando a Fortaleza por 4 puntos y quedando mejor posicionada en la tabla. Aunque Fortaleza CEIF le ganó a La Equidad en varios partidos directos, ambos equipos tuvieron resultados parecidos que los mantuvieron cerca en la clasificación, con La Equidad estando un puesto por encima. En cuanto a los goles, La Equidad anotó 4 goles más que Fortaleza CEIF, pero recibió 14 goles

más en contra. Esto refleja que La Equidad tuvo un mejor ataque, pero una defensa más débil en comparación con Fortaleza, quienes, aunque anotaron menos, tuvieron mayor solidez defensiva. La Equidad es un club que depende principalmente de su empresa base. Por eso, no tiene muchos patrocinadores ni gana mucho dinero en esa área. Además, no ha hecho tanto esfuerzo para atraer hinchas a través de la publicidad o medios, por lo que tiene menos seguidores y menos gente en sus partidos. Esto hace que ganen menos dinero por la venta de entradas y les cueste crecer más rápido en lo económico y social, como si lo ha hecho Fortaleza CEIF.

CONCLUSIONES

Lejos de ser un límite, su condición de club en desarrollo ha impulsado a Fortaleza CEIF a lograr un crecimiento económico significativo en 2024, atrayendo patrocinadores clave, lo que fortalece su sostenibilidad financiera y su capacidad para invertir en infraestructura y talento.

Si bien Fortaleza CEIF ha demostrado un progreso significativo, enfrenta retos como superar su estatus de Clase B y las limitaciones de su trayectoria, requiriendo una estrategia integral que combine consistencia deportiva, mayor presencia comunitaria y digital para posicionarse como referente en la liga.

AGRADECIMIENTOS

La sinergia demostrada y el apoyo mutuo hicieron que el proceso fuera no solo efectivo, sino también gratificante para todos los involucrados. Ha sido un privilegio trabajar con un grupo tan comprometido y dedicado, ya que esto fue esencial para alcanzar los objetivos propuestos.

La sinergia demostrada y el apoyo mutuo hicieron que el proceso fuera no solo efectivo, sino también gratificante para todos los involucrados. Ha sido un privilegio trabajar con un grupo tan comprometido y dedicado, ya que esto fue esencial para alcanzar los objetivos propuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FootyStats (2026). CD La Equidad Seguros SA. FootyStats <https://footystats.org/es/clubs/cd-la-equidad-seguros-sa-2149>
- CeroAcero (2026). *Estadísticas Completas de Fortaleza FC – Temporada 2026*. CeroAcero. <https://www.ceroacero.es/equipo/fortaleza-fc/68302/estadisticas>
- Fortaleza CEIF (2025). *El equipo del futuro Fortaleza CEIF*. Fortaleza CEIF <https://fortalezaceif.com.co/>
- Transfermarkt (2024). *Fortaleza CEIF - Perfil del club*. Transfermarkt.. <https://www.transfermarkt.co/fortaleza-ceif/startseite/verein/32041>
- Soccerway (2024). *Summary - Fortaleza CEIF - Resultados, próximos partidos, equipo, estadísticas, fotos, videos y noticias*. Soccerway. <https://>

es.soccerway.com/teams/colombia/

[juventud-soacha/10528/](https://es.soccerway.com/teams/colombia/juventud-soacha/10528/)

MODELADO MATEMÁTICO DEL FLUJO DE ESPECTADORES EN ESTADIOS MEDIANTE CÁLCULO INTEGRAL: APLICACIÓN AL ESTADIO METROPOLITANO DE TECHO

Autor (es): Gisell Valentina Romero Betancur¹ – gvromerob@udistrital.edu.co
Karen Sofía Toapanta Velasco² – kstoapantav@Udistrital.edu.co
Sebastián González Galindo³ – segonzalezg@udistrital.edu.co

Docente director/asesor: Mawin Javier Martínez Jiménez

Espacio Académico de Cálculo Integral

RESUMEN

La gestión eficiente del flujo de espectadores en estadios es crucial para garantizar la seguridad y optimizar la experiencia en eventos masivos. Este estudio desarrolló un modelo matemático basado en cálculo integral para predecir la cantidad de personas dentro del Estadio Metropolitano de Techo durante eventos deportivos. Utilizando datos recolectados durante el partido Equidad vs. Bucaramanga (17 de mayo de 2025), se aplicaron integrales de flujo para modelar las tasas de entrada y salida de espectadores. Si bien el conteo real reportó la presencia de 500 espectadores en el estadio, el modelo estimó 504 ingresos y 507 egresos a lo largo del evento. Esta diferencia corresponde al margen

de error del método de estimación, el cual se mantiene por debajo del 1% respecto al valor real observado. Los resultados validan la eficacia del enfoque propuesto y demuestran el potencial del cálculo integral como herramienta para la planificación logística de eventos deportivos.

PALABRAS CLAVES

Flujo de personas, cálculo integral, modelado matemático, estadios, eventos deportivos, logística.

ABSTRACT

Efficient management of spectator flow in stadiums is crucial to ensure safety and optimize the experience at large-scale events. This study developed a mathematical

¹ Administración Deportiva, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

² Administración Deportiva, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

³ Administración Deportiva, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

model based on integral calculus to predict the number of people in the Metropolitano de Techo Stadium during sporting events. Using data collected during the Equidad vs. Bucaramanga match (May 17, 2025), flow integrals were applied to model the rates of entry and exit of spectators. While the actual count reported the presence of 500 spectators in the stadium, the model estimated 504 entries and 507 exits during the event. This difference corresponds to the estimation method's margin of error, which remains below 1% compared to the actual observed value. The results validate the effectiveness of the proposed approach and demonstrate the potential of integral calculus as a tool for logistical planning of sporting events.

KEYWORDS

People flow, integral calculus, mathematical modeling, stadiums, sporting events, logistics.

INTRODUCCIÓN

La gestión del flujo de espectadores en eventos deportivos masivos presenta desafíos

significativos relacionados con la seguridad, comodidad del público y eficiencia operacional. Los desastres por aglomeraciones han causado miles de muertes en todo el mundo durante las últimas décadas (Still, 2019), evidenciando la necesidad urgente de herramientas predictivas para la gestión de multitudes. Eventos recientes, como las tragedias en el Estadio de Hillsborough (1989) y la gestión caótica de multitudes en la final de la Liga de Campeones de la UEFA 2022, demuestran que la simulación de dinámicas peatonales puede ayudar a prevenir eventos fatales mediante la identificación temprana de áreas de alta densidad.

Tradicionalmente, esta gestión se ha realizado de manera empírica, sin respaldo de modelos matemáticos que permitan predicciones precisas sobre la ocupación del recinto en diferentes momentos. Como señalan diversos autores, los enfoques puramente matemáticos o modelos analíticos no son adecuados por sí solos para caracterizar dinámicas de multitudes, siendo

necesario combinar teoría matemática con datos empíricos. El cálculo integral ofrece herramientas matemáticas poderosas para modelar dinámicas de flujo mediante funciones que describen tasas de entrada y salida. Las integrales definidas permiten estimar valores acumulados, mientras que las integrales de flujo sobre superficies analizan el tránsito en secciones transversales específicas, considerando velocidad y densidad poblacional. En este contexto, la literatura ha mostrado que las multitudes pueden analógicamente compararse con fluidos: fenómenos como la propagación de información sobre velocidad hacia atrás del grupo en forma de ondas que se extienden cientos de metros sin pérdida de intensidad y que guardan similitudes con procesos hidrodinámicos. Esta analogía no implica que las personas se comporten exactamente como partículas de un líquido, sino que los principios de la hidrodinámica ofrecen un marco conceptual útil para modelar y anticipar patrones colectivos en grandes concentraciones

humanas.

Desarrollar un modelo matemático basado en funciones de flujo que permita estimar con precisión el número de asistentes en tiempo real en el Estadio Metropolitano de Techo.

- Definir funciones de tasa a partir de datos observados
- Aplicar técnicas de integración para obtener medidas acumuladas
- Validar el modelo comparando resultados teóricos con valores observados

MARCO TEORICO

El modelado matemático de flujo peatonal se basa en el modelo macroscópico pionero de Hughes (2002), que describe el movimiento de multitudes como un continuo sujeto a leyes de conservación no lineales y ecuaciones eikonaes para la toma de decisiones. Este modelo Hughes se emplea para, analizar el flujo de espectadores en

estadios deportivos, enfocándose en tasas agregadas de entrada y salida. La metodología emplea cálculo integral para estimar la ocupación acumulada mediante la integración de funciones que representan los ritmos de ingreso y egreso. La aplicación se centra en el Estadio Metropolitano de Techo, donde el modelo permite predecir la ocupación temporal y generar herramientas útiles para la planificación logística y gestión de seguridad en eventos deportivos.

El modelo se fundamenta en el concepto de flujo a través de una superficie, formalizado por Gauss en su teorema de la divergencia. La expresión clásica del flujo Φ a través de una superficie S bajo un campo vectorial de velocidad $\mathbf{V}$ es:

$$\Phi = \int \int_S \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS$$

Donde la ecuación significa:

$\mathbf{V}$: campo de velocidad del movimiento

$\mathbf{n}$: vector unitario normal a la superficie S

dS : diferencial de área sobre la superficie

Para condiciones de velocidad y densidad constantes, siguiendo los principios de conservación de masa en medios continuos (Euler, 1757; Navier & Stokes, 1822), se simplifica a:

$$\Phi = \rho \times v \times A$$

Donde la ecuación significa:

ρ : densidad de personas (personas/m²)

v : velocidad promedio del desplazamiento (m/s)

A : área efectiva de paso (m²)

Esta aproximación es consistente con el enfoque de dinámica de fluidos para control de multitudes, donde la densidad de multitudes se asemeja a la densidad de fluidos, permitiendo usar ecuaciones de dinámica de fluidos para anticipar cómo se moverán e interactuarán los individuos.

¿Cómo puede el cálculo integral modelar y predecir el número de personas presentes en un estadio durante diferentes momentos de un evento, a partir de funciones que

describan las tasas de entrada y salida de espectadores?

METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Se empleó un enfoque cuantitativo basado en observación directa y análisis matemático. La población objetivo correspondió a los asistentes al partido Equidad vs. Bucaramanga, realizado el 17 de mayo de 2025 en el Estadio Metropolitano de Techo (capacidad para 10.000 personas, con cuatro accesos de 2 metros de ancho). Se consideraron únicamente espectadores mayores de 18 años, dado que la mayoría de los eventos deportivos está dirigida a este grupo etario, este estudio se plantea como un piloto que se analiza cómo un flujo de personas adultas, pero se pretende extender a una población en general.

Recolección de datos

La recolección se realizó mediante observación directa, siguiendo protocolos establecidos para

conteo de multitudes que incluyen métodos como contadores manuales. Los registros se efectuaron cada 10 minutos, pero no de forma sucesiva, totalizando 130 minutos para el ingreso y 80 minutos para el egreso:

- **Ingreso:** 3:15 p.m. - 5:25 p.m. (130 minutos)
- **Egreso:** 7:40 p.m. - 9:00 p.m. (80 minutos)

Solo se contabilizaron espectadores mayores de 18 años para mantener consistencia en los patrones de movimiento, considerando que las personas no se mueven todas a la misma velocidad y surgen conflictos complejos en la relación entre velocidad y densidad.

RESULTADOS

Análisis de flujo de ingreso

Se consideró un área total de paso de 8 m^2 ($4 \text{ puertas} \times 2 \text{ m}$) con velocidad uniforme $V = (1.2, 0) \text{ m/s}$ y densidad $\rho = 0.625 \text{ personas/m}^2$. Esta velocidad es consistente con observaciones previas donde una caminata

constante rápida es aproximadamente 1.3 metros por segundo. Los resultados se pueden visualizar en: Recopilación de datos (ingreso) estadio de Techo (véase en tabla 1).

Tabla 1 Recopilación de datos (ingreso)

estadio de Techo

RECOPILACION DE DATOS ESTADIO DE TECHO: 15 - MAYO 2025					
HORA	PUERTAS				ACUMULADO
	Oriental	Occidental Sur	Occidental Norte	VIP	
APERTURA					
3:15 - 3:25	12	4	7	4	27
3:25 - 3:35	20	2	15	5	42
3:35 - 3:45	12	5	8	3	28
3:45 - 3:55	11	8	17	10	46
3:55 - 4:05	20	14	12	11	57
4:05 - 4:15	21	15	15	7	58
4:15 - 4:25	18	11	21	4	54
4:25 - 4:35	43	5	25	24	97
4:35 - 4:45	20	16	26	15	77
4:45 - 4:55	-20	-9	-5	5	-29
4:55 - 5:05	1	1	1	1	4
5:05 - 5:15	1	3	1	2	7
5:15 - 5:25	1		1	2	4
5:25 - 5:35	15		6	7	28
TOTAL	175	75	150	100	500

Aplicando la fórmula de flujo:

$$\Phi = \rho \cdot v \cdot A = 0.625 \cdot 1.2 \cdot 8 = 6 \text{ personas/s}$$

Para el tiempo total de observación (7,800 segundos), que como dijimos anteriormente corresponde a los 130 minutos observados en el ingreso:

$$\text{Total estimado} = 6 \times 840 = 504 \text{ personas}$$

Resultado observado: 500 personas

Para saber de cuanto es el error porcentual

hacemos la siguiente ecuación:

$$\frac{500-504}{500} \times 100 = 0.8\% \text{ Error relativo: } 0.8\%$$

ANÁLISIS DEL FLUJO DE EGRESO

Se utilizó una velocidad mayor $V = (1.3, 0)$ m/s, considerando que las personas tienden a salir más rápido. Este comportamiento está documentado por Helbing y Molnár (1995), quienes demostraron que los flujos peatonales tienden a ser más intensos durante procesos de evacuación que en fases de entrada. Los resultados se pueden visualizar en: Recopilación de datos (egreso) estadio de Techo. (véase en tabla 2).

Tabla 2. Recopilación de datos (egreso)

Estadio de Techo

RECOPILACION DE DATOS ESTADIO DE TECHO: 15 - MAYO 2025					
HORA	PUERTAS				ACUMULADO
	Oriental	Occidental Sur	Occidental Norte	VIP	
CIERRE					
7:40 - 7:50	23	28	36	30	117
7:50 - 8:00	38	26	36	28	128
8:00 - 8:10	18	10	20	14	62
8:10 - 8:20	19	6	12	6	43
8:20 - 8:30	23	2	13	8	46
8:30 - 8:40	26	1	16	6	49
8:40 - 8:50	14		1	1	16
8:50 - 9:00	8	1	12	4	25
9:00	6	1	4	3	14
TOTAL	175	75	150	100	500

Para 500 personas:

$$= \frac{500}{1.3 \times 8 \times 480} \approx 0.507 \text{ personas/m}^2$$

$$\text{Total} = 1.056 \times 480 = 507 \text{ personas}$$

Resultado observado: 500 personas

Para saber de cuanto es el error porcentual hacemos la siguiente ecuación:

$$\frac{500 - 507}{500} \times 100 = 1.4\%$$

Error relativo: 1.4%

VALIDACIÓN DEL MODELO

Los resultados son consistentes con densidades observadas en estadios reales. Las densidades de 4.7 personas por metro cuadrado son típicas en los alrededores del Estadio de Wembley, donde, aunque las multitudes están congestionadas, el movimiento no es virtualmente imposible como sugería Fruin, debido al fenómeno de auto-organización. Se puede visualizar en: Análisis comparativo ingreso vs salida (véase en tabla 3).

Tabla 4. Análisis comparativo ingreso vs salida

Aspecto	Ingreso	Salida
Duración	130 minutos	85 minutos
Pico máximo	150 personas/10min	175 personas/10min
Concentración inicial	15% primeros 30min	60% primeros 30min
Eficiencia	Gradual y distribuida	Intensa e inmediata

Como análisis económico, este escenario revela patrones típicos de comportamiento en eventos deportivos de mediana asistencia en Colombia, caracterizados por una baja ocupación 500 asistentes sobre una capacidad total de 10,000, lo que representa apenas el 5%, se puede visualizar en: Total recaudado (véase en tabla 4).

Tabla 3. Total recaudado

Tribuna	Precio	Espectadores	Porcentaje	Recaudación	Análisis
Oriental	\$40,000	175	35%	\$7,000,000	Tribuna más popular - precio/ubicación óptima
Occidental Norte	\$40,000	150	30%	\$6,000,000	Segunda opción popular - mismo precio
Occidental Norte VIP	\$60,000	100	20%	\$6,000,000	Segmento premium dispuesto a pagar más
Occidental Sur	\$50,000	75	15%	\$3,750,000	Tribuna principal pero subutilizada
TOTALES	-	500	100%	\$22,750,000	Recaudación total del evento

RECAUDACIÓN TOTAL: \$22,750,000

DISCUSIÓN

Los resultados demuestran que el cálculo integral aplicado a funciones de flujo constituye una herramienta eficaz para modelar el comportamiento de espectadores en eventos masivos. Los márgenes de error

inferiores al 2% validan la pertinencia del modelo propuesto y son consistentes con investigaciones que establecieron una descripción genérica que puede predecir con precisión flujos de multitudes, donde flujos observados en una carrera en Chicago en 2016 ayudaron a predecir los de miles de corredores en el maratón de París 2017.

Patrones de comportamiento observados

El flujo de salida mostró mayor velocidad y uniformidad que el de ingreso, coherente con los patrones descritos en la literatura especializada. Este comportamiento también se refleja en el análisis de corrales de largada donde cualquier cambio en la trayectoria de movimiento de la multitud se disipa rápidamente, extendiéndose solo unos metros a través de la multitud.

Relevancia para la salud

La aplicación de estos modelos es crucial considerando que las multitudes pueden estar sujetas a fuentes de riesgo intrínsecas y extrínsecas, y registros previos han mostrado

que, en ausencia de medidas de seguridad adecuadas, pueden ocurrir tragedias. El modelo propuesto contribuye a la implementación de soluciones mejoradas de seguridad pública y gestión de multitudes que están fortaleciendo la adopción de medidas de seguridad avanzadas.

Limitaciones del modelo

El modelo asume condiciones idealizadas: uniformidad del flujo, simetría en accesos y estabilidad del comportamiento colectivo. Como señalan estudios recientes, la aplicabilidad de modelos a multitudes de gran escala aún está por determinarse, ya que el número de agentes simulados fue solo 500. Para contextos con mayor afluencia o condiciones dinámicas, podrían requerirse herramientas más complejas como simulaciones basadas en Unity engine que incorporen características avanzadas como visualización de multitudes en tiempo real, creación de escenarios interactivos y análisis de datos.

Implicaciones prácticas

La baja ocupación observada (5% de la capacidad total) es típica de eventos deportivos de segunda división en Colombia, lo que facilita la aplicación del modelo simplificado. Este escenario es representativo de eventos deportivos de mediana asistencia caracterizados por baja ocupación. Para eventos con mayor asistencia, el modelo podría requerir ajustes considerando que la densidad estática de multitudes y la densidad dinámica/ en movimiento tienen riesgos y límites diferentes.

CONCLUSIONES

Este estudio validó exitosamente la hipótesis planteada: es posible modelar y predecir con precisión la cantidad de personas en un estadio mediante cálculo integral aplicado a funciones de flujo. El modelo estimó 504 ingresos y 507 egresos, cifras que coinciden estrechamente con los 500 espectadores observados, confirmando su efectividad con precisión comparable a modelos

hidrodinámicos que han demostrado poder predictivo en eventos masivos.

Se cumplieron todos los objetivos propuestos, demostrando el potencial del cálculo integral como herramienta aplicable en contextos reales de gestión deportiva. Aunque se identificaron limitaciones asociadas a la simplificación del modelo, los resultados abren oportunidades para futuras investigaciones que incorporen efectos locales, visión limitada y convicción hacia la toma de decisiones que permitan campos de velocidad que habiliten giros suaves y comportamiento de espera temporal.

RECOMENDACIONES

- Implementar el modelo en eventos de mayor asistencia.
- Incorporar agentes de control que actúen sobre la multitud y optimicen sus rutas en intervalos de tiempo dados.
- Desarrollar aplicaciones en tiempo real para gestión logística.

- Expandir el análisis a otros tipos de recintos deportivos.
- Integrar tecnologías como IoT, AI y análisis de big data para mejorar experiencias de fanáticos y rendimiento operacional de estadios.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al docente de la asignatura de Cálculo, Mawin Javier Martínez Jiménez por su orientación académica durante el desarrollo del proyecto, También extendemos nuestro reconocimiento a los compañeros que colaboraron en la recolección de datos en campo. Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo conjunto de todos los involucrados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amadori, D., Goatin, P., & Rosini, M. D. (2014). Existence results for Hughes' model for pedestrian flows. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 420, 387-406. <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2014.05.072>
- Bain, N., & Bartolo, D. (2019). Dynamic response and hydrodynamics of polarized crowds. *Science*, 363(6422), 46-49. <https://doi.org/10.1126/science.aat9891>
- Di Francesco, M., Markowich, P. A., Pietschmann, J. F., & Wolfram, M. T. (2011). On the Hughes' model for pedestrian flow: The one-dimensional case. *Journal of Differential Equations*, 250(3), 1334-1362. <https://doi.org/10.1016/j.jde.2011.01.003>
- Gauss, C. F. (1813). *Theoria attractionis corporum sphaeroidicorum ellipticorum homogeneorum methodo nova tractata. Commentationes Societatis Regiae Scientiarum Gottingensis Recentiores*, 2, 1-22.
- Hughes, R. L. (2002). A continuum theory for the flow of pedestrians. *Transportation Research Part B: Methodological*, 36(6), 507-

535. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(01\)00015-7](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(01)00015-7)
- Mahato, N. K., Klar, A., & Tiwari, S. (2018). *Modeling and simulation of macroscopic pedestrian flow models*. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1810.03489>
 - Owaidah, A., Olaru, D., Bennamoun, M., Sohel, F., & Khan, N. (2019). Review of modelling and simulating crowds at mass gathering events: Hajj as a case study. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 22(2), 9.
 - Still, G. K. (2019). Place crowd safety, crowd science? Case studies and application. *Journal of Place Management and Development*, 13(4), 385-407.
 - Still, G. K. (2019). *Introduction to crowd science*. CRC Press.
 - Zhao, H., Winter, S., & Tomko, M. (2024). Modelling crowd pressure and turbulence through a mixed-type continuum approach. *Transportation*, 51(2), 367-402. <https://doi.org/10.1080/21680566.2024.2328774>

IMPORTANCIA DE LA FORMACIÓN MATEMÁTICA Y ESTADÍSTICA EN EL PLAN DE ESTUDIOS DE ADMINISTRACIÓN DEPORTIVA

Autor (es): Wilson Alexander Rojas Castillo¹ – warojasc@udistrital.edu.co

Docente director/asesor: Wilson Alexander Rojas Castillo

Semillero de investigación

PALABRAS CLAVE

Currículo, alfabetización matemática, pruebas Saber Pro, formación cuantitativa, administración deportiva.

institucionales oficiales y el análisis empírico del desempeño de los estudiantes en pruebas externas estandarizadas.

REFLEXIÓN

INTRODUCCIÓN

Esta nota tiene como propósito justificar, con fundamento en evidencia académica, institucional y normativa, la permanencia de los cursos de Cálculo Diferencial, Cálculo Integral, Estadística Descriptiva y Estadística Inferencial dentro del currículo del programa de Administración Deportiva de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. La argumentación se construye a partir de investigaciones recientes desarrolladas por docentes del programa, documentos

Fundamentación desde la producción académica del programa

Las investigaciones lideradas por docentes del programa, como Thermostatistical Evaluation of Economic Activity (Rojas y Zamora, 2024) y Análisis económico del deporte en Bogotá: herramientas y resultados (Grupo Sophia Sports e In, 2025), aplican herramientas de la física estadística y la geometrotermodinámica al estudio de la Cuenta Satélite del Deporte de Bogotá (DANE, s.f.). Estas investigaciones utilizan conceptos como la función de partición, la

¹ Administración Deportiva, Universidad Distrital Francisco José de Caldas

entropía y la temperatura económica, cuya comprensión requiere dominio del cálculo diferencial, el cálculo integral y el análisis estadístico. La presentación *Entropy and Stability in Economic Activity* (Rojas y Zamora, 2025) y su resumen analítico extendido consolidan esta línea de trabajo. En estos materiales se utilizan derivadas parciales, matrices hessianas, escalares de curvatura y correlaciones estadísticas para identificar transiciones de fase económicas y períodos de crisis. La supresión del componente cuantitativo en el currículo limitaría la participación futura de los egresados en este tipo de producción académica.

Soporte normativo e institucional

La Resolución 053 de 2011, expedida el 4 de octubre de 2011 por el Consejo Académico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2011), establece que todos los programas de pregrado deben incluir el desarrollo de competencias genéricas como el razonamiento cuantitativo y la resolución de

problemas. Asimismo, el Proyecto Educativo de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales (PEFAMARENA) (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017) define como principio rector la formación científica y tecnológica, la cual no puede lograrse sin herramientas matemáticas y estadísticas. Por su parte, el Proyecto Educativo del Programa (PEP) de Administración Deportiva (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, s.f.) exige formar profesionales capaces de planear, ejecutar y evaluar proyectos, interpretar indicadores y gestionar recursos. Estas competencias no pueden cumplirse sin una base matemática sólida.

Evidencia empírica del rendimiento estudiantil

Las pruebas Saber Pro, diseñadas y administradas por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES, 2024), son uno de los principales instrumentos del Estado colombiano para

medir la calidad de la educación superior. Su función no es meramente diagnóstica, sino también valorativa: permiten identificar el nivel de desarrollo de las competencias genéricas y específicas de los futuros profesionales, y constituyen un insumo esencial para la formulación de políticas públicas, la rendición de cuentas institucional y la orientación de procesos de mejora continua. Para la sociedad colombiana representan una herramienta confiable para verificar que los egresados cumplan con estándares mínimos de desempeño y, para las universidades, un referente de calidad comparativa entre programas. El análisis institucional del documento Medio Ambiente – Saber 11 VF 13 -07-2020 (Dirección Académica UD, 2020) muestra que entre 2015-1 y 2019-1 los estudiantes de Administración Deportiva presentaron un desempeño global por debajo del promedio de la facultad. A esto se suma el análisis de los resultados Saber Pro entre 2016 y 2024, donde el módulo de Razonamiento Cuantitativo evidencia sistemáticamente un desempeño inferior respecto al promedio

institucional (véanse Tablas 1 y 2 y Figura 1).

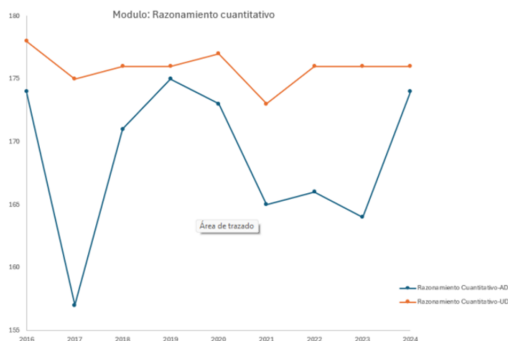
Tabla 1. Resumen de desempeño en Saber Pro de los estudiantes de Administración Deportiva, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Año	Comunicación Escrita	Razonamiento Cuantitativo	Lectura Crítica	Competencias Ciudadanas	Inglés
2016	165	174	172	170	152
2017	156	157	168	171	160
2018	161	171	174	156	166
2019	145	175	171	165	163
2020	153	173	167	173	163
2021	155	165	165	168	160
2022	147	166	167	159	160
2023	146	164	165	157	162
2024	165	174	172	170	152

Tabla 2. Resumen de desempeño en Saber Pro de los estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Año	Comunicación Escrita-UD	Razonamiento Cuantitativo-UD	Lectura Crítica-UD	Competencias Ciudadanas-UD	Inglés-UD
2016	161	178	174	171	169
2017	159	175	174	164	169
2018	158	176	173	164	167
2019	148	176	172	164	168
2020	153	177	167	173	163
2021	155	173	167	168	160
2022	148	176	172	164	168
2023	148	176	172	164	168
2024	161	176	174	171	169

Figura 1. Cuadro comparativo del módulo de Razonamiento Cuantitativo, Universidad Distrital – Administración Deportiva.



Estos resultados no pueden interpretarse como un argumento para la eliminación de la formación matemática, sino como un llamado urgente a su contextualización pedagógica y a su fortalecimiento. La formación cuantitativa sigue siendo un eje crítico de mejora institucional.

Formación cuantitativa y competencias laborales

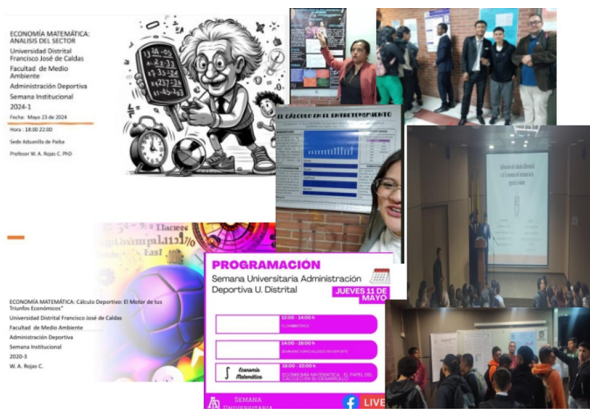
La pertinencia del razonamiento matemático no se limita a un criterio académico. Estudios recientes del Foro Económico Mundial (2023) ubican el pensamiento crítico, la resolución de problemas complejos y la alfabetización en datos dentro del top 5 de habilidades más

valoradas en el mercado laboral para los próximos años. A su vez, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos ha demostrado que las competencias matemáticas predicen con más fuerza el ingreso y la empleabilidad que la formación profesional específica (OCDE, 2019). Estas habilidades se desarrollan eficazmente en espacios de formación como el cálculo y la estadística, siempre que se adapten pedagógicamente al contexto disciplinar.

Figura 2. Ejemplos de proyectos de aula desarrollados por los estudiantes de Cálculo Diferencial e Integral en Administración Deportiva.



Figura 3. Encuentros semestrales de economía matemática de los estudiantes de Administración Deportiva.



Propuesta formativa contextualizada

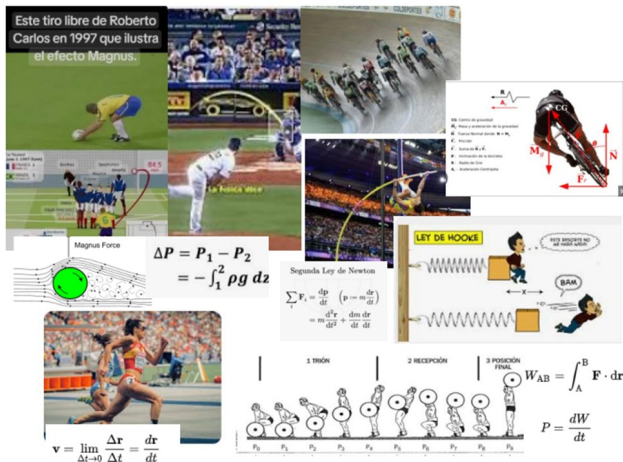
En este rediseño se hace imprescindible la incorporación de herramientas ofimáticas y digitales que potencien la apropiación del conocimiento cuantitativo. Aplicaciones como Wolfram|Alpha (Wolfram Research, s.f.) y Symbolab (Symbolab, s.f.) facilitan la exploración de funciones, derivadas y series mediante representación gráfica y simbólica. El uso de hojas de cálculo como Microsoft Excel o Google Sheets permite el tratamiento de bases de datos deportivas reales, incluyendo análisis de regresión, simulaciones, segmentaciones y proyecciones estadísticas. De igual modo, el uso responsable de

herramientas de inteligencia artificial, como asistentes especializados en cálculo simbólico o motores de visualización de datos, fortalece la alfabetización digital y la resolución autónoma de problemas en contextos deportivos. Estas competencias están alineadas con los desafíos contemporáneos del sector, donde el análisis automatizado y la toma de decisiones basadas en datos son una realidad cotidiana.

La aplicación del cálculo y la estadística en el deporte trasciende el ámbito académico y se convierte en una necesidad práctica para la comprensión profunda de disciplinas específicas. Por ejemplo, el análisis del rendimiento de atletas en pruebas de velocidad, resistencia o fuerza requiere modelado diferencial de curvas de potencia y trayectorias.

Asimismo, el estudio del comportamiento aerodinámico en ciclismo o de la biomecánica del salto con pértiga exige el uso de ecuaciones diferenciales y métodos de integración.

Figura 4. Aplicaciones específicas del cálculo en deportes.



En el ámbito del mercadeo deportivo (merchandising), las herramientas estadísticas permiten evaluar la efectividad de campañas, segmentar públicos y proyectar escenarios de consumo. Sin estos fundamentos, los egresados estarían limitados para participar en áreas clave como el análisis de datos de rendimiento, la inteligencia deportiva, el scouting técnico o el marketing basado en métricas. Se propone, en consecuencia, rediseñar el componente matemático y estadístico en un contexto disciplinar, a través de un curso integrador denominado, por ejemplo, “Matemáticas y análisis de datos para la gestión deportiva”, que incluya:

- Estadística aplicada al rendimiento deportivo.
- Modelado y análisis de datos económicos del deporte.
- Herramientas computacionales (Excel, Wolfram|Alpha, Symbolab).
- Problemas de optimización en logística deportiva.

CONCLUSIÓN

La eliminación del componente matemático no solo impactaría negativamente la calidad del programa, sino que también afectaría su articulación con otros espacios académicos de la universidad (movilidad académica). Mantener la formación cuantitativa garantiza la transversalidad formativa, permitiendo que los estudiantes de Administración Deportiva se beneficien de programas de movilidad académica, intercambios interfacultades y procesos compartidos con otras carreras donde el lenguaje matemático es común. Aislar el programa de estos

saberes reduciría su capacidad de integrarse a la comunidad académica interdisciplinaria de la Universidad Distrital. Adicionalmente, en este proceso de fortalecimiento del currículo cuantitativo debe reconocerse el papel fundamental de la mujer administradora deportiva, cuya presencia y liderazgo creciente en escenarios de planeación, análisis de datos y gestión estratégica deben estar respaldados por una formación sólida y con igualdad de oportunidades en habilidades matemáticas aplicadas. La eliminación del componente cuantitativo del currículo va en contra de los fundamentos del perfil profesional y académico del programa. La evidencia institucional, la trayectoria investigativa reciente y los lineamientos normativos vigentes exigen su permanencia. El camino viable es su transformación pedagógica y su contextualización, no su supresión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (s.f.). *Cuenta Satélite del Deporte de Bogotá*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-satelite/cuenta-satelite-del-deporte-de-bogota-csdb>
- Dirección Académica UD. (2020). *Medio Ambiente – Saber 11 VF 13-07-2020*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://autoevaluacionyacreditacion.udistrital.edu.co/sites/acreditacion/files/autoevaluacion/saber11/resultados/Medio%20Ambiente%20-%20Saber%2011%20VF%2013-07-2020.pdf>
- Foro Económico Mundial. (2023). *The future of jobs report 2023*. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/>
- Grupo Sophia Sports e In. (2025). *Análisis económico del deporte en Bogotá: herramientas y resultados* [Proyecto de investigación]. Universidad Distrital Francisco José

de Caldas, Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico (CIDC).

- Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación [ICFES]. (2024). *Resultados Saber Pro*. <https://resultados.icfes.edu.co/resultados-saber2016-web/pages/publicacionResultados/agregados/saberPro/consultaAgregadosIES.jsf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE]. (2019). *Skills matter: Additional results from the survey of adult skills (PIAAC)*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2019/11/skills-matter_3a02e64e/1f029d8f-en.pdf
- Rojas, W. A., y Zamora, A. (2024). *Thermostatistical evaluation of economic activity*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2410.19864>
- Rojas, W. A., y Zamora, A.

(2025). *Entropía y estabilidad en la actividad*

económica. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/391735334_ENTROPIA_Y_ESTABILIDAD_EN_LA_ACTIVIDAD_ECONOMICA

- Symbolab. (s.f.). *Symbolab: Calculadora de matemáticas paso a paso* [Software]. <https://es.symbolab.com/>
- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2011). *Resolución 053 de 2011: Por la cual se establece el componente transversal en los planes de estudio de los programas curriculares de pregrado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Consejo Académico. https://sgral.udistrital.edu.co/xdata/ca/res_2011-053.pdf
- Universidad Distrital Francisco José

de Caldas. (2017). *Proyecto Educativo de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales (PEFAMARENA)*. <https://fambiental.udistrital.edu.co/tecsaneamiento/sites/tecsaneamiento/files/2024-05/pep-tsa-2017%20--%2023-10-17.pdf>

- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (s.f.). *Proyecto Educativo del Programa (PEP) de Administración Deportiva*.
- Wolfram Research. (s.f.). *WolframAlpha [Motor de cálculo computacional]*. <https://www.wolframalpha.com/>

JUGUETES SOSTENIBLES Y DESAROLLO MOTRIZ EN LA INFANCIA: REFLEXIONES PARA UNA CRIANZA AMBIENTALMENTE RESPONSABLE

Autor (es): Jhon Deivid García Cubillos¹ – jhdgarcia@udistrital.edu.co
Angie Pamela Lamilla Tovar² – aplamillat@udistrital.edu.co

Docente director/asesor: Maribel Pinilla Rivera

Semillero de investigación Competitividad Económica Ambiental

PALABRAS CLAVE

Motricidad infantil, obsolescencia programada, juguetes ecológicos

INTRODUCCIÓN

La contradicción entre el juego en la infancia, reconocido como un derecho fundamental por UNICEF, y el impacto ambiental derivado de la producción industrial de juguetes plantea un dilema ético y ambiental de gran relevancia. En Colombia, los residuos plásticos representan alrededor del 11,6% del total de desechos sólidos municipales, evidenciando la magnitud de esta problemática, especialmente en productos de uso cotidiano como los juguetes. Esta dinámica no solo evidencia la degradación ambiental, sino que también

repercute negativamente en el desarrollo psicomotriz de la niñez, al someterla a un mercado saturado de productos caracterizados por su obsolescencia programada y su escaso valor pedagógico. Frente a este panorama, metodologías pedagógicas como Pikler y Waldorf promueven el uso de juguetes simples, naturales y duraderos, favoreciendo la autonomía infantil y reduciendo el consumo de productos plásticos desechables. Sin embargo, el uso de materiales como la madera no constituye una solución definitiva, ya que requiere procesos de trazabilidad, certificación de fuentes sostenibles y prácticas de consumo responsable por parte de familias e instituciones educativas.

¹ Administración Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas

² Administración Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas

En este contexto, la investigación busca analizar de qué manera la producción y uso de juguetes en madera inciden en el cuidado ambiental y en el desarrollo psicomotriz de niños en la primera infancia, desde una perspectiva de sostenibilidad y consumo responsable. La contradicción entre el juego en la infancia, siendo un derecho fundamental (UNICEF, 2020), y el impacto ambiental derivado de la producción de juguetes crea una situación preocupante. En Colombia, los residuos plásticos representan alrededor del 11,6% del total de desechos sólidos municipales (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2023), lo que evidencia la magnitud del problema destacando los juguetes de uso cotidiano. Esta realidad contribuye a la contaminación ambiental, como también afecta indirectamente el desarrollo motriz de la infancia, al estar expuesta a un mercado saturado de juguetes de vida útil reducida. Frente a este panorama, metodologías pedagógicas como las de Emmi Pikler y la Waldorf promueven el uso de juguetes simples, naturales y duraderos, lo que favorece tanto la

autonomía infantil como la reducción del consumo de productos plásticos desechables (García & Martínez, 2021). Sin embargo, el empleo de materiales como la madera no significa una solución definitiva, ya que requiere procesos de trazabilidad, certificación de fuentes sostenibles y también un consumo responsable por parte de familias e instituciones educativas (FAO, 2022). Se comprende que los enfoques Pikler y Waldorf, aplicados desde una perspectiva ambiental y educativa, pueden disminuir el uso de juguetes electrónicos y plásticos nocivos, al tiempo que fortalecen modelos de economía circular y de consumo responsable.

INTRODUCCIÓN

El juego es la base del desarrollo integral infantil. Ha sido reconocido como un derecho por organismos internacionales como UNICEF (2022). A través de él, los niños descubren e interactúan con el mundo que los rodea. También explora sus capacidades y limitaciones físicas, cognitivas y emocionales. Esto le da a la

diversión una importancia vital en el aprendizaje. Sin embargo, existe una contradicción entre el juego como pilar del desarrollo humano y la crisis ambiental. Más del 80% de los juguetes producidos en el mundo son plástico tales como Lego, Barbie, Pelotas etc. Este material es altamente contaminante y difícil de reciclar (Greenpeace, 2019) En este escenario, se consolidan alternativas vinculadas a metodologías de crianza que rompen estos paradigmas y necesidad de consumo desproporcionado por parte de los padres Waldorf, Pikler que promueven el uso de juguetes en madera sencillos, diseñados con un propósito de desarrollo infantil que acompaña los primeros cinco años del niño y disminuye la huella ecológica en la infancia. En la tabla 1 se pretenden comparar las características de estas pedagogías y el consumo que fomentan.

Tabla 1. Comparación entre las metodologías Pikler y Waldorf en relación con el desarrollo motriz a temprana edad

METODOLOGIA	MOTRICIDAD	PRINCIPIO	CONSUMO
PIKLER	Impulsa la motricidad gruesa (trepar, saltar, equilibrio) con herramientas como el triángulo de <u>Pikler</u> .	El niño progresa gracias a su actividad y movimiento libre.	Fomenta juguetes duraderos y de múltiples usos, reduciendo compras constantes.
WALDORF	Desarrolla tanto la motricidad fina como la gruesa a través del juego imaginativo con materiales de final abierto.	El juguete debe ser sencillo para estimular la fantasía creadora.	Promueve el uso de materiales biodegradables y naturales, evitando plásticos desechables.

En afinidad con los métodos de crianza estos juguetes no solo minimizan el impacto ambiental, sino que estimulan el desarrollo de la motricidad gruesa (equilibrio, coordinación, fuerza) y la motricidad fina (precisión, manipulación, coordinación ojo-mano), aspectos fundamentales en el desarrollo integral de los niños. (MEN, 2017). ¿De qué manera la producción y uso de juguetes en madera incide en el cuidado del medio ambiente y en el desarrollo psicomotriz de niños en la primera infancia (3 a 5 años)?

La industria de juguetes tiene la facilidad de ofrecerlos en muchas presentaciones a muy bajo costo, lo que representa también

residuos y emisiones constantes ya que se estima que el 80% de estos juguetes terminan en vertederos, incineradoras o en los océanos, contribuyendo al 6% del plástico presente en los vertederos, por ejemplo, en el año se venden 60 millones de muñecas barbie generando emisiones equivalentes a la quema de 1.5 millones de galones de gasolina (Ballard Bear, 2024). Por lo que desde el inicio del ciclo de vida de estos productos se ven comprometidos diversos factores siendo afectados por la acumulación de residuos plásticos, esto no solo destruye la biodiversidad, sino que también libera micro plásticos y productos químicos nocivos en los ecosistemas acuáticos (Plastic Pollution Coalition, 2024). Los juguetes en madera se presentan como una alternativa que busca no solo incentivar el movimiento y juego real en los niños, sino también minimizar los efectos de la huella ecológica de la infancia, estos pueden adaptarse e ir a la par con cada etapa del desarrollo del niño e incluso pueden ser heredados dándole un valor ambiental significativo, Como afirma Prieto (2023), “la

demanda de productos sensoriales y naturales para la infancia no responde únicamente a una moda, sino a la necesidad de contrarrestar los efectos de una industria del plástico que domina el mercado” (p. 14). Como también existe una problemática desde otro ámbito, los juguetes plásticos tienen riesgos para la salud de la primera infancia ya que pueden contener sustancias tóxicas como bisfenol A (BPA) y ftalatos, que afectan el sistema endocrino y reproductivo de los niños (Plastic Pollution Coalition, 2024). Esta probabilidad es significativa debido a que, con el uso, algunos juguetes se desgastan y liberan micro plásticos que los bebés pueden ingerir o inhalar. Estos micro plásticos pueden acumularse en el cuerpo y alterar la microbiota intestinal y la función inmune (Smith et al., 2021). Poniendo en peligro a los bebés y niños que los utilizan, aunque en la actualidad muchos presumen ser libres de BPA esto solo soluciona un riesgo específico, debido a los químicos y aditivos que se usan para la fabricación.

No obstante, la madera por sí misma no representa un impacto ambiental positivo, esta debe de provenir de fuentes certificadas, con cadenas de transporte que contaminen mínimamente y también se debe de tener en cuenta que los juguetes producidos sean reutilizables, reciclables y biodegradables. Ya que un juguete de madera sin estas condiciones podría representar el mismo daño que uno plástico al provenir de talas indiscriminadas o prácticas extractivas no sostenibles, afectando la biodiversidad, la calidad del aire, y los ciclos de regeneración natural.

REFLEXIÓN

Se recomienda el uso y la promoción de los juguetes de madera inspirados en metodologías como Pikler o Waldorf ya que ofrecen múltiples beneficios para la salud y el desarrollo motriz de los niños, al tiempo que prescinden del uso de plásticos o dispositivos electrónicos que puedan afectar su crecimiento integro. No obstante, para que estos juguetes contribuyan realmente a la economía circular, es indispensable identificar que cumplan con

regulaciones relacionadas a la procedencia responsable de madera.

CONCLUSIONES

La industria juguetera contribuye a la generación de plástico de forma indiscriminada, con juguetes perjudiciales para el desarrollo motriz de los niños, mientras las pedagogías alternativas proponen el uso de herramientas en madera que promueven el bienestar infantil y al mismo tiempo disminuyen la huella ecológica en la infancia cuando disponen de material certificado puesto que de lo contrario solo se convertirían en un objeto más del consumo masivo. Su uso, además requiere de la intensión del adulto para que se garantice el cuidado del material haciéndolo duradero y también haga acompañamiento al niño en la interacción para así potenciar la exploración y el movimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ballard Bear. (2024). *Environmental impact of toy production: The Barbie case study*. Ballard Bear Research

- Institute
- Departamento Nacional de Planeación. (2023). *Gestión de residuos sólidos en Colombia: Informe anual 2023*. DNP. <https://www.dnp.gov.co>
 - FAO. (2022). *Forests and sustainable production: Traceability and certification*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
 - García, L., & Martínez, A. (2021). Juguetes sostenibles y desarrollo infantil: Un análisis desde la pedagogía alternativa. *Revista Latinoamericana de Educación Infantil*, 15(2), 45-62.
 - Greenpeace. (2019). *Plastic pollution and the toy industry*. Greenpeace International.
 - Naciones Unidas. (2020). *Reporte mundial sobre residuos plásticos*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
 - Pikler, E. (2001). *Moverse en libertad: Desarrollo de la motricidad global*. Graó.
 - Plastic Pollution Coalition. (2024). *Plastic toys and child health: Risks of microplastics and toxic chemicals*. Plastic Pollution Coalition.
 - Predassi, S. (2023). Futuro circular: Estrategias de ecodiseño y economía circular. *Proyectual D*, 1, e004.
 - Ramírez, A., & Ibarrola, C. (2022). Adaptación tecnológica de juguetes de bajo costo para apoyo en el tratamiento de niños con discapacidad motriz. *Revista Universidad Internacional Tres Fronteras*.
 - Smith, J., Torres, M., & Allen, R. (2021). Microplastics exposure in early childhood: Health implications of toy degradation. *Journal of Environmental Health*, 83(4), 12-25. <https://doi.org/4812>
 - Soto, R. (2021). *Evaluación de factibilidad estratégica, técnica y económica para la creación de una empresa de venta online de juguetes para el desarrollo cognitivo de niños de 0 a 5 años en Chile*. Universidad de

Chile.

- Steiner, R. (2004). *La educación del niño desde la perspectiva de la ciencia espiritual*. Rudolf Steiner Verlag.
- UNICEF. (2020). *El derecho al juego en la infancia*. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. <https://www.unicef.org>
- UNICEF. (2022). *El poder del juego en la primera infancia*. Fondo de Naciones Unidas para la Infancia.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICOS EN LA OFERTA HÍDRICA DE LA PRINCIPAL CUENCA ABASTECEDORA DEL SISTEMA CHINGAZA POR MEDIO DE UN MODELO SWAT

Autora: Danna Lorena Fuquene Garcia¹ – dlfuqueneg@udistrital.edu.co

Docente director: José Alberto Figueroa Fernández

Semillero de Investigación Agua y territorio (AGUAYTER)

RESUMEN DE TRABAJO DE GRADO

Los desafíos crecientes asociados al cambio climático han centrado la atención mundial en sus efectos sobre el recurso hídrico, pues el agua es el medio a través del cual la sociedad percibe muchos de los impactos de la crisis climática (UNESCO & ONU-Agua, 2020). En consecuencia, se ha generado una creciente necesidad de comprender los sistemas socioecológicos de las cuencas hidrográficas como proveedores de servicios esenciales para el bienestar humano (Perdinan et al., 2024). A nivel global, se estima que cerca del 40 % de la población vive en cuencas de ríos que nacen en regiones montañosas (Beniston, 2003). En estos territorios, el recurso hídrico es altamente valorado por las comunidades debido a su calidad y a sus múltiples usos domésticos,

industriales, agrícolas, recreativos y para la generación de energía hidroeléctrica (Buytaert et al., 2006). La principal cuenca abastecedora del Sistema Chingaza se encuentra en la cuenca alta del río Guatiquía, ubicada en el páramo de Chingaza, comprendiendo la principal cuenca abastecedora de la infraestructura de abastecimiento y almacenamiento denominado Sistema Chingaza por la Empresa de Acueducto de Bogotá. Este sistema sigue operando desde 1983 como la principal fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de Bogotá en al menos un 70 % (Autoridad Nacional de Licenciamiento Ambiental, 2021). El trasvase de aguas, la disminución de los niveles de los embalses y los cambios en los patrones de precipitación

¹ Doctorado en Ambiente e Ingeniería Sustentable, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

amenazan la sostenibilidad de este recurso hídrico. Comprender este sistema es crucial para tomar decisiones informadas sobre la gestión del recurso hídrico y para promover un desarrollo sostenible en la cuenca. En ese sentido, el presente estudio tiene como objetivo principal analizar la influencia del cambio y variabilidad climáticos sobre la oferta hídrica superficial de la principal cuenca abastecedora del Sistema Chingaza. El análisis y tratamiento estadístico de datos hidrometeorológicos constituyó la fase inicial de esta investigación, abarcando un período de 36 años (1988- 2023). Se recopilaron datos diarios de precipitación, caudal y temperatura, provenientes de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La imputación de datos faltantes se realizó mediante el método MissForest para precipitación y caudal. Para temperatura se aplicó la imputación de medias. Se aplicaron métodos de análisis de consistencia de datos, con el fin de detectar y corregir datos atípicos.

La modelación hidrológica de la cuenca se llevó a cabo utilizando el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT). La implementación del modelo requirió la delimitación precisa del área de estudio a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM); la generación de Unidades de Respuesta Hidrológica (URH) a partir de datos de suelos, uso del suelo y pendientes; y, la calibración y validación del modelo mediante el programa SWAT-CUP4, evaluando su rendimiento con el coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE) y el sesgo porcentual (PBIAS). Posteriormente se examinó la influencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en las variables hidrometeorológicas, y se identificaron puntos de cambio significativos en la precipitación mediante las pruebas estadísticas de Pettitt, Fligner-Killeen, Kruskal-Wallis y Dunn-Bonferroni, y, Mann-Kendall y Sen's Slope. La caracterización espacio-temporal del caudal y la precipitación históricas, junto con la generación de escenarios de cambio

climático a partir de modelos climáticos del CMIP6, permitió proyectar el comportamiento futuro de la oferta hídrica en la cuenca. La reducción de escala y corrección de sesgo de los datos de los modelos climáticos, utilizando métodos como Quantile mapping y Variance Scaling, aseguró la adaptación de los escenarios a las condiciones locales. El modelo SWAT permitió modelar y delimitar adecuadamente la cuenca en estudio, con resultados de calibración y validación de los caudales del Río Chuza y Río Guatiquía que oscilaron entre una modelación buena ($NSE=0.74$) y muy buena ($NSE=0.91$). El análisis de variabilidad climática reveló que el régimen de precipitaciones de la principal cuenca abastecedora del Sistema Chingaza está fuertemente influenciado por las fases del fenómeno ENSO. Se demostró estadísticamente que existen diferencias significativas en la distribución de las lluvias entre las distintas fases, pero no en la cantidad de lluvias multianuales. Durante los eventos de El Niño, se observa una disminución del 4,11%

en las precipitaciones, especialmente en los meses secos (diciembre-marzo), mientras que La Niña provoca una reducción del 2,13% en los meses más lluviosos (junio-julio). La estacionalidad de los caudales, con picos en época de lluvias y mínimos en época seca, está estrechamente ligada a la estacionalidad de las precipitaciones en ambas cuencas. En el río Chuza, la fase Niña incrementa los caudales en un 4.36% y El Niño en un 11.83% respecto a la fase Neutra, sugiriendo precipitaciones que intensifican la escorrentía superficial. En contraste, en el río Guatiquía, la fase Niña disminuye el caudal en un 10.96% y El Niño en un 4.12%, debido a reducciones significativas en la época de mayores picos de caudal, especialmente en julio durante la fase Niña. La estacionalidad de los caudales muestra una tendencia significativa decreciente posiblemente vinculada al cambio climático. En cuanto al cambio climático, los escenarios SSP2-4.5 (mitigación intermedia) y SSP5-8.5 (alta emisión) proyectan para el

período 2024–2100 reducciones progresivas y significativas en la oferta hídrica. Se estima una disminución de la precipitación media anual de entre 10,85 % y 14,75 % bajo SSP2-4.5, y entre 19,47 % y 24,75 % bajo SSP5-8.5. Dichas reducciones impactan directamente en los caudales de los principales ríos: el río Chuza podría experimentar descensos de 10,69 % a 42,87 %, mientras que el río Guatiquía presentaría reducciones de 11,20 % a 39,67 %, dependiendo del escenario. Estos resultados evidencian un riesgo creciente hacia finales del siglo XXI, donde incluso bajo un escenario de mitigación intermedia se proyectan impactos considerables sobre la disponibilidad hídrica. Se concluyó que el modelo SWAT demuestra ser una herramienta efectiva para simular la hidrología de la cuenca, aunque con limitaciones en la representación de procesos hidrológicos y antrópicos. Además, la influencia del fenómeno ENSO en el área de estudio difiere del comportamiento generalizado de las precipitaciones en la región andina. Finalmente, los hallazgos confirman

que la variabilidad climática histórica y el cambio climático proyectado a largo plazo representan riesgos complementarios y significativos para la sostenibilidad del abastecimiento de agua del Sistema Chingaza, lo que subraya la necesidad de fortalecer estrategias de gestión, adaptación y planificación del recurso hídrico en la región frente a diferentes trayectorias climáticas futuras.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los amigos que hice en el camino, a todos los compañeros y profesores que conocí en esta vivencia universitaria. Al profesor Rodolfo Franco y Alberto Figueroa por su guía, enseñanza y mentoría en la realización de la presente investigación. Al profesor Fernando Ortiz por aportar en cultivar mi interés por el estudio del recurso hídrico. Finalmente, quiero extender el agradecimiento a mis padres Rosa García y Oscar Fúquene y a mis hermanos Camilo y Andrés Fúquene por siempre creer en mí y apoyarme en toda mi formación académica y

personal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (2021, 7 abril). Reporte regional Ríos Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro. ArcGIS StoryMaps.<https://storymaps.arcgis.com/stories/47bcd8331b2049a5894a428aadb2d426>
- Beniston, M. (2003). *Climatic Change in Mountain Regions: A Review of Possible Impacts*. *Climatic Change* 59, 5–31. <https://doi.org/10.1023/A:1024458411589>
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). *Human impact on the hydrology of the Andean páramos*. *Earth-Science Reviews*, 79(1-2), 53–72. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Perdinan, Tjahjono, R. E. P., Infracwan, D. y. D., Aprilia, S., Adi, R. F., Basit, R. A., Wibowo, A., Kardono, & Wijanarko, K. (2024). *Translation of International Frameworks and National Policies on Climate Change, Land Degradation, and Biodiversity to Develop Integrated Risk Assessment for Watershed Management in Indonesia*. *Watershed Ecology And The Environment*, 6, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.10.001>
- UNESCO, ONU-Agua, (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*, París, UNESCO

EFFECTO DE LA FRECUENCIA DEL FUEGO EN LA INFLAMABILIDAD DE LOS BS-T INTERANDINOS COLOMBIANOS

Autora: Alejandra Paola Tirado León¹ – aptiradol@udistrital.edu.co

Docentes directores: Ángela Parrado Rosselli y Raúl Giovanni Bogotá Ángel

Grupo de investigación Uso y Conservación de la Diversidad Forestal

RESUMEN DE TRABAJO DE GRADO

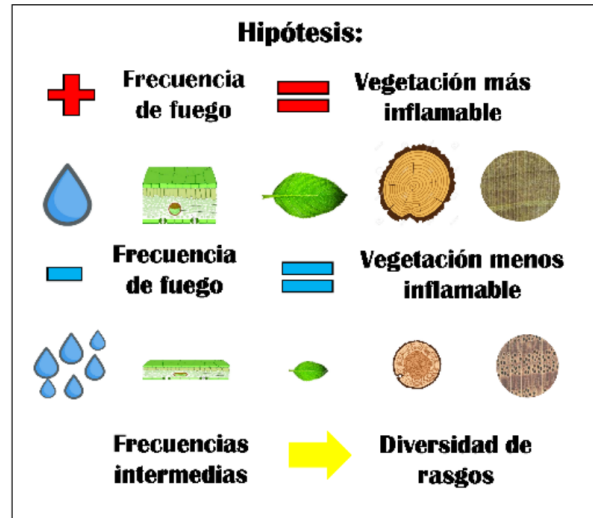
Los cambios en los regímenes del fuego (severidad, intensidad, estacionalidad, extensión y/o frecuencia) en diferentes ecosistemas, han causado alteraciones en sus comunidades vegetales, haciéndolas más o menos susceptibles o tolerantes a este disturbio (Ratto, 2017; Armenteras et al., 2020; Loto & Bravo, 2020; Meza et al., 2023). Se ha comprobado en distintos ecosistemas, como en los subalpinos, esclerófilos secos, matorrales y bosques semiáridos, que fuegos frecuentes en regímenes alterados han favorecido la aparición de rasgos funcionales asociados a inflamabilidad (Watson et al., 2009; Saura-Mas et al., 2010; Keeley et al., 2011; Pausas et al., 2012, 2017); esta entendida como la capacidad que tiene la biomasa vegetal de encender,

mantener y propagar el fuego (Murray et al., 2013; Pausas et al., 2017). En los Bosques Secos Tropicales (Bs-T) colombianos, la presencia de rasgos asociados a inflamabilidad se relacionan con cortezas más gruesas y regeneración sexual resistente al fuego (GutiérrezRincón & Parrado-Rosselli, 2019; Segura, 2019). Sin embargo, se desconoce cómo estos cambian ante alteraciones en la recurrencia de incendios. Esta investigación evaluó la relación entre la frecuencia del fuego y la diversidad funcional asociada a la inflamabilidad de la vegetación de los Bs-T de la Cuenta Alta del Río Magdalena. Se plantearon las siguientes preguntas ¿Qué tipos funcionales de plantas asociados a inflamabilidad se presentan en los Bs-T estudiados? ¿Cómo varían los

¹ Maestría en Manejo, Uso y Conservación del Bosque, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

rasgos funcionales de hojas, ramas y madera asociados a inflamabilidad en relación con la frecuencia del fuego en los Bs-T? y ¿Cómo cambia la diversidad funcional de la vegetación ante alteraciones en la recurrencia de incendios? Para dar respuesta a estas, (1) se caracterizó la variabilidad en la frecuencia del fuego en relictos de Bs-T en el área de estudio mediante Sistemas de Información Geográfica, (2) se compararon los rasgos funcionales asociados a inflamabilidad entre las distintas frecuencias de fuego, y (3) se evaluaron los cambios en las métricas de diversidad funcional y tipos funcionales de plantas asociadas a inflamabilidad en los distintos sitios. Se manejó la hipótesis de que, en sitios con mayores frecuencias de fuego, predominarían rasgos funcionales asociados a mayor inflamabilidad, que, en sitios con menores frecuencias de fuego, dominarían rasgos de menor inflamabilidad, y que, en sitios con frecuencias de fuego intermedias, habría diversidad de rasgos tanto de alta como baja inflamabilidad (Figura 1).

Figura 1. Hipótesis del estudio



El estudio se realizó en los Bs-T interandinos colombianos de la Cuenca Alta del Río Magdalena, presentes en los municipios de Honda, Mariquita y Guayabal (Tolima, Colombia). Para la determinación de las frecuencias de fuego y selección de los sitios de muestreo, se utilizó la plataforma geomática de Google Earth Engine y el conjunto de datos de MODIS FireCCI51 (PadillaParellada, 2018). Con esta información, para el periodo 2000 al 2020, se diferenciaron sitios que respondieran a tres frecuencias distintas de fuego: cero fuegos (frecuencia nula), un fuego (frecuencia baja) y dos fuegos

(frecuencia alta) (DíazTimoté, 2019). En las diferentes frecuencias de fuego se instalaron dos parcelas de 0.1 ha. Allí, se inventariaron todas las plantas: herbáceas, arbustivas y arbóreas ($DAP > 2.5$ cm). Con base en la teoría de la relación de masa (Grime, 1998; Cornelissen et al., 2003; Yang et al., 2019), que plantea que la función de los ecosistemas está determinada por los rasgos funcionales de aquellas especies dominantes, se calculó el Índice de Valor Importancia (IVI) para cada parcela y se seleccionaron las especies predominantes que en conjunto representaran entre el 70 y 80% del IVI. De estas especies, se tomaron tres individuos al azar para caracterizar ocho rasgos funcionales asociados a inflamabilidad (Santacruz-García et al., 2019). Los rasgos funcionales evaluados fueron: contenido de humedad en hojas y ramas (CHH, CHR), contenido de materia seca en hojas y ramas (CMSH, CMSR), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), grosor de corteza (GC) y densidad básica de la madera (DB). Los valores obtenidos de CMSH, CMSR

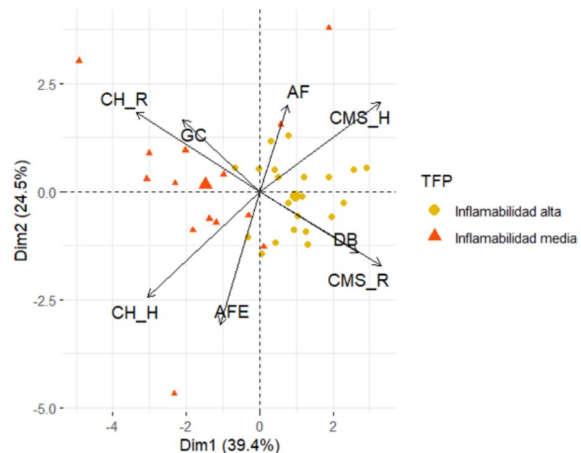
y el AF se categorizaron de 1 a 5 según lo propuesto por PérezHarguindeguy et al. (2013), dichas categorías se usaron para asignar un grado de inflamabilidad a cada especie (siendo 1 la menor inflamabilidad y 5 la mayor inflamabilidad). Para diferenciar grupos funcionales según el grado de inflamabilidad, se realizó un análisis de conglomerados según el método de vinculación de Ward (1963) y la distancia euclidiana. Posteriormente, se hizo un análisis de componentes principales (PCA) para evaluar las asociaciones de los grupos de inflamabilidad con respecto a los rasgos funcionales estudiados.

La diversidad funcional se determinó a partir de índices multidimensionales y multirasgos que se asocian a la abundancia de individuos. Se calculó el índice de riqueza funcional (FRic), uniformidad funcional (FEve), divergencia funcional (FDiv), dispersión funcional (FDis) (Laliberte & Legendre, 2010) y la redundancia de rasgos funcionales mediante el índice multirasgo

unidimensional de Rao (RaoQ) Casanoves et al., 2011; Mason et al., 2013; Mouillot et al., 2013). Se encontró que todas las especies evaluadas (35) presentan algún grado de inflamabilidad (de 2 a 4) (Figura 2), y que, una mayor frecuencia de fuego generó cambios significativos en la diversidad funcional asociada a la inflamabilidad. Así pues, se diferenciaron dos tipos funcionales de planta, uno asociado a inflamabilidad media, las cuales presentaron mayor CH y otro a inflamabilidad alta, que presentaron mayor CMS y DB. Adicionalmente, se detectó que las especies más inflamables, *Mayna odorata* Aubl., *Trichilia oligofoliolata* M.E. Morales, *Eugenia uniflora* L., entre otras, presentaron una fuerte asociación con los CMSH y CMSR, y la DB. La mayoría de las especies (21 de 35) pertenecieron al grupo de inflamabilidad alta, lo que sugiere que el fuego recurrente favorece la selección de especies inflamables y desplaza progresivamente a aquellas con menor resistencia al fuego. Estos resultados coinciden con lo reportado por Pausas & Moreira (2012),

quienes indican que la inflamabilidad puede ser una estrategia adaptativa en ecosistemas con alta incidencia de fuego.

Figura 2. Tipos funcionales de planta (TFP) encontrados en el estudio



En términos de diversidad funcional, la FRic no varió significativamente entre los sitios, pero la FEve fue mayor en sitios con alta frecuencia de fuego, indicando una mayor redundancia funcional (Pakeman, 2011). Por otro lado, la FDiv, la FDis y la RaoQ fueron mayores en los sitios sin incendios, lo que sugiere que el fuego actúa como un filtro ambiental, homogeneizando la comunidad vegetal (Bond & Keane, 2017). Estos resultados sugieren que los Bs-T interandinos colombianos podrían ser

tolerantes al fuego, y que una mayor frecuencia de fuego podría conducir a que estos ecosistemas sean más inflamables. Lo que debe considerarse en programas de manejo y restauración de los Bs-T colombianos en la búsqueda de sistemas menos inflamables ante escenarios de cambio climático y de alteraciones en los regímenes de incendios.

AGRADECIMIENTOS

A la Oficina de Investigaciones de la Universidad Distrital por financiar este estudio a través de la Convocatoria 05 del año 2022. A la Maestría en Manejo, Uso y Conservación del Bosque por la formación como investigadora y el acompañamiento en la elaboración del estudio. Al laboratorio de Sanidad Forestal de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales que amablemente permitió el uso de sus espacios y equipos para el análisis de las muestras. A los propietarios de las Haciendas y Reservas por permitir realizar la investigación en sus propiedades y por el acompañamiento, hospedaje y alimentación proporcionada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armenteras, D., González, T. M., Vargas Ríos, O., Meza Elizalde, M. C., & Oliveras, I. (2020). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasia*, 42(1), 1–16. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>
- Bond, W. J., & Keane, R. E. (2017). Fires, Ecological Effects of. Reference *Module in Life Sciences*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809633-8.02098-7>
- Casanoves, F., Pla, L., & Di Rienzo, J. A. (2011). Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. *Serie técnica. Informe técnico*.
- Cornelissen, J. H., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E. & Poorter, H. (2003).

A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of Botany*, 51(4), 335-380.

- Díaz-Timoté, J.J. (2019). *Descripción del régimen de incendios del Bosque seco tropical de la cuenca alta del Río Magdalena y su relación con la variación climática*. (Tesis de maestría) Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/23232>.
- Grime, J. P. (1998). Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology*, 86(6), 902-910.
- Gutiérrez-Rincón, A., & ParradoRosselli, A. (2019). Post-fire regeneration of woody species in a colombian tropical dry forest, in: Bhadouria, R., Tripathi, S., Srivastava, P., Singh, P. (Eds.), *Handbook of Research on the Conservation and Restoration of Tropical Dry Forests*. IGI Global, Nueva Delhi, India, pp. 324–345. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0014-9.ch017>
- Herrera-Motta, C.A. (2020). *Respuesta de la vegetación leñosa del bosque seco tropical ante cambios en la frecuencia de incendios en la cuenca alta del río Magdalena*. (Tesis de maestría) Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/25493>.
- Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J., & Bradstock, R. A. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*, 16(8), 406–411. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.04.002>
- Laliberté, E., & Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, 91(1), 299-305.

- Loto, D., & Bravo, S. (2020). Species composition, structure, and functional traits in Argentine Chaco forests under two different disturbance histories. *Ecological Indicators*, 113(106232), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106232>
- Mason, N. W., de Bello, F., Mouillot, D., Pavoine, S., & Dray, S. (2013). A guide for using functional diversity indices to reveal changes in assembly processes along ecological gradients. *Journal of Vegetation Science*, 24(5), 794-806.
- Meza, M. C., Espelta, J. M., González, T. M., & Armenteras, D. (2023). Fire reduces taxonomic and functional diversity in Neotropical moist seasonally flooded forests. *Perspectives in Ecology and Conservation*.
- Mouillot, D., Graham, N. A., Villéger, S., Mason, N. W., & Bellwood, D. R. (2013). A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in ecology & evolution*, 28(3), 167-177.
- Murray, B. R., Hardstaff, L. K., & Phillips, M. L. (2013). Differences in leaf flammability, leaf traits and flammability-trait relationships between native and exotic plant species of dry sclerophyll forest. *PLoS ONE*, 8(11), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079205>
- Padilla- Parellada, M. (2018): ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci): MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1. Centre for Environmental Data Analysis, 01 November2018. <https://doi.org/10.5285/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537>.
- Pakeman, R. J. (2011). Functional diversity indices reveal the impacts of land use intensification on plant community assembly. *Journal of Ecology*, 99(5), 1143-1151.

- Pausas, J.G., Alessio, G. A., Moreira, B., & Corcobado, G. (2012). Fires enhance flammability in *Ulex parviflorus*. *New Phytologist*, 193, 18–23.
- Pausas, J. G., Keeley, J. E., & Schwilk, D. W. (2017). Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology*, 105, 289–297. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12691>
- Pausas, J. G., & Moreira, B. (2012). Flammability as a biological concept. *New Phytologist*, 194, 610–613. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04132.x>
- Perez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., ... & Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Aust. Bot.* 61, 167–234.
- Ratto, N. (2017). El fuego, los ecosistemas y la gente del pasado. Intersecciones *En Antropología*, 18(2), 257–259.
- Santacruz-García, A. C., Bravo, S., del Corro, F., & Ojeda, F. (2019). A comparative assessment of plant flammability through a functional approach: The case of woody species from Argentine Chaco region. *Austral Ecology*, 44, 1416– 1429. <https://doi.org/10.1111/aec.12815>
- Saura-Mas, S., Paula, S., Pausas, J. G., & Lloret, F. (2010). Fuel loading and flammability in the Mediterranean Basin woody species with different post-fire regenerative strategies. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 783–794. <https://doi.org/10.1071/WF09066>
- Segura, L.C. (2019). *Efecto del espesor de corteza en la respuesta al fuego de Cordia alliodora* (Ruiz &

Pav.) Oken. Tesis de pregrado (Ingeniería forestal) Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/23114>.

- Ward, J. H., Jr. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236–244.
- Watson, P. J., Bradstock, R. A., & Morris, E. C. (2009). Fire frequency influences composition and structure of the shrub layer in an Australian subcoastal temperate grassy woodland. *Austral Ecology*, 34, 218– 232. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2008.01924.x>
- Yang, Y., Dou, Y., Cheng, H., & An, S. (2019). Plant functional diversity drives carbon storage following vegetation restoration in Loess Plateau, China. *Journal of environmental management*, 246, 668-678