

INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN INGENIERÍAS

Integración de analítica descriptiva y un método multicriterio para la ubicación de un centro de distribución de productos masivos

Integration of business analytics and a multicriteria method for the location of a product distribution center

Lady Linibec
Díaz Molano 

Universidad del Valle, Cali,
Colombia

Victor Andres
Bucheli Guerrero 

Universidad del Valle, Cali,
Colombia

Oswaldo
Solarte Pabon 

Universidad del Valle, Cali,
Colombia

OPEN  ACCESS

Recibido: 19/02/2024

Aceptado: 22/04/2024

Publicado: 17/06/2024

Correspondencia

de autores:
victor.bucheli@
correounivalle.edu.co



Copyright 2024
by Investigación
e Innovación en
Ingenierías

Resumen

Objetivo: Proponer un modelo para determinar la ubicación de un centro de distribución de productos de consumo masivo basándose en los conceptos de data-driven decisions y expert-driven decisions. **Metodología:** El modelo propuesto incluye la inteligencia de negocios (IN), que permite identificar patrones en los datos, estos patrones sirven como insumo para el método de toma de decisiones multicriterio conocido como proceso de jerarquía analítica (PJA). Se construye un dashboard en Tableau en el cual se describe: la demanda, la proximidad a los clientes, la calidad de las vías y los costos de transporte. Éstos son el insumo para definir los criterios y las zonas de ubicación para aplicar el PJA, de esta manera los expertos comparan y ponderan los criterios. Los resultados del PJA son incluidos en el dashboard y permiten la visualización de todo el proceso. Se presenta un estudio donde se aplica el modelo para identificar el lugar idóneo en el departamento del Cauca. **Resultados:** El modelo propuesto muestra las zonas de mayor demanda, mejor calidad de vías, de mayor cercanía a puertos y centros de abastecimiento. Los resultados obtenidos muestran que el enfoque propuesto permite obtener la ubicación idónea para un centro de distribución de productos de consumo masivo. **Conclusiones:** Los resultados del modelo propuesto son prometedores, y sugieren que podría servir de guía para futuros trabajos similares.

Palabras clave: Inteligencia de negocios, Proceso analítico jerárquico (PJA), Ubicación de centros de distribución, Data-driven decisions-making, Expert-driven decisions-making.

Abstract

Objective: This paper introduces a model for identifying the location of a mass product distribution center. The proposed model seamlessly combines data-driven decisions with expert-driven decisions to facilitate the decision-making process. **Method:** The proposed model integrates Business Intelligence (BI), facilitating pattern recognition within data, which subsequently serves as input for the multicriteria decision-making approach known as the Analytic Hierarchy Process (AHP). A Tableau dashboard is constructed to delineate key factors including demand, customer proximity, road infrastructure quality, and transportation expenses. These variables inform the establishment of criteria and location zones for AHP application, enabling experts to conduct comparative analyses and weight criteria accordingly. The outcomes of the AHP are then integrated into the dashboard, providing a comprehensive visualization of the decision-making process. A case study illustrating the application of the model in identifying an optimal site within the Cauca department is also presented. **Results:** The model findings indicate that the northern zone holds the greatest significance according to the AHP. This zone demonstrates the highest demand, superior road infrastructure quality, and is perceived by experts as being the closest to ports and supply hubs. The outcomes underscore the efficacy of the proposed methodology in determining the ideal site for a product distribution center. **Conclusions:** The outcomes of the proposed model are promising, indicating its potential utility as a framework for guiding future endeavors of a similar nature.

Keywords: Business Intelligence, Analytic Hierarchy Process (AHP), Distribution Center Localization, Data-driven decision-making, Expert-driven decision-making.

Como citar (IEEE): L. Díaz Molano, V. Bucheli Guerrero, O. Solarte Pabon, "Integración de analítica descriptiva y un método multicriterio para la ubicación de un centro de distribución de productos masivos" Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 12, no. 1, pp. 169–188, 2024, doi: <https://doi.org/10.17081/invinno.12.1.7146>

Introducción

En el ámbito empresarial, el estudio técnico es crucial y requiere considerar diversos aspectos relevantes para evaluar la viabilidad de un proyecto. Los resultados del estudio técnico permiten tomar decisiones informadas. Según [1] los estudios técnicos brindan información clave acerca de los recursos requeridos, los procesos involucrados, los aspectos físicos y técnicos que influyen en la operación del proyecto. Un aspecto clave en el estudio técnico es la decisión sobre la ubicación geográfica del proyecto[2][1]. En este paper abordamos el reto de desarrollar un estudio técnico de la ubicación de un centro de distribución de productos masivos. La cual de acuerdo con [3] tiene un impacto significativo en la eficiencia de la cadena de suministro, la satisfacción al cliente y rentabilidad de la empresa que en efecto logra enmarcar una estructura sólida para la mejora continua en la gestión de los modelos tácticos para la toma de decisiones[4], [5].

La decisión de la ubicación de un proyecto es impactada por diversos factores tales como el acceso a recursos, disponibilidad de mano de obra, condiciones ambientales, regulaciones y costos operativos. La ubicación estratégica puede incrementar la eficiencia y reducir desafíos técnicos, mientras que una elección inadecuada puede plantear obstáculos significativos[6]. Por lo tanto, un análisis cuidadoso de la ubicación es esencial en la evaluación de la viabilidad técnica de un proyecto, dado que la se debe considerar cuidadosamente el método utilizado para tomar decisiones, puesto que puede tener un impacto significativo en los resultados finales[7], [8]. Esta elección estratégica implica la evaluación cuidadosa de múltiples factores, como la proximidad a los clientes y proveedores, la infraestructura de transporte, estado de vías, seguridad de estas, entre otros, concordando con lo que expresa [9] donde indica que para estos factores deben ser tácticos para los consumidores, del tal manera que, al ofrecer productos o servicios especiales, se beneficien de la sinergia del mercado[10], [11].

Para el desarrollo del estudio de la ubicación del centro de distribución nos respaldamos en trabajos investigativos anteriores que sirven como referencia. Por ejemplo, se han abordado temas específicos como la ubicación de un relleno sanitario [12], la ubicación óptima de estaciones intermodales de transporte público [13] o la determinación de la ubicación de destinos turísticos en la isla de Java[14] [15], éstos trabajos ilustran la relevancia de la elección de la ubicación en diversos estudios técnicos de proyectos y muestran diferentes métodos para la identificación de la ubicación de un proyecto.

La elección de la ubicación adecuada es una decisión intrínsecamente compleja debido a la multiplicidad de criterios a considerar[12]. Por lo cual, se resalta la importancia de considerar cuidadosamente los criterios y los límites para cada criterio al evaluar las alternativas de ubicación del almacén[16], [17], pues este depende de intereses individuales de las partes involucradas en la decisión, la subjetividad en el proceso de toma de decisiones y las regulaciones incrementan la complejidad al proceso de toma de decisiones. Adicionalmente, factores objetivos como la proximidad a los clientes, costos de transporte y disponibilidad de mano de obra entran en juego. En este trabajo se aborda el problema y se propone un modelo que integre la Analítica de Datos (AD) y el método de toma de decisiones multicriterio conocido como Proceso de Jerarquía Analítica (PJA) para identificar la ubicación de un centro de distribución de productos masivos.

Diferentes estudios muestran que frente a problemas de ubicación hay diferentes criterios relevantes y enfoques multicriterio que permitan identificar la ubicación[18][13]. Los trabajos revisados muestran diferentes propuestas, sin embargo, no se encontraron trabajos que integren la AD y PJA para la identificación idónea de la ubicación de un centro de distribución.

El modelo propuesto permite evaluar la viabilidad técnica de un proyecto de centro de distribución en términos de su ubicación geográfica. En este trabajo el modelo se probó como un caso de estudio, determinar la ubicación de un centro de distribución de productos masivos en el departamento del Cauca. Los resultados muestran que este modelo es eficaz para identificar la ubicación óptima

de un centro de distribución, lo que puede mejorar el servicio al cliente y reducir los tiempos de entrega. Este trabajo proporciona una estructura sistemática que integra el análisis de datos y la visión de los expertos para la toma de decisiones complejas.

El documento se describe en las siguientes secciones. La primera sección presenta los trabajos previos; la segunda sección aborda el modelo que integra analítica descriptiva de datos y el proceso analítico jerárquico. En la tercera sección, se muestran los resultados de la ubicación óptima de un centro de distribución en el departamento del Cauca. Finalmente, la sección cuatro presenta la discusión y las perspectivas de trabajo futuro.

Trabajos previos

En la revisión de la literatura se aborda la aplicación del método PJA a diferentes problemas, los cuales se centran en la toma de decisiones en contextos complejos que involucran múltiples criterios. Los resultados de todos los estudios incluyen la priorización de alternativas y criterios basadas en expertos, lo que ayuda al proceso de toma de decisiones. Los campos de aplicación son amplios entre los estudios está la evaluación de la competitividad en municipios mineros [19], la selección de la ubicación de un centro de atención de salud [20], la priorización de procesos en el sector de la salud [21], la inversión en acciones [22] entre otros.

En la literatura se reportan trabajos que abordan problemas de ubicación desde diferentes perspectivas y se aplican diversas metodologías, en la mayoría de los casos se enfatiza la importancia de tomar decisiones informadas basadas en criterios relevantes y enfoques multicriterio en la selección de la ubicación idónea [23]. Por su parte, el [24] emplea un enfoque deductivo para tomar decisiones sobre la inclusión o exclusión de los sistemas de medición del desempeño de la cadena de suministro. Este análisis permite comprender mejor la evolución y las tendencias en la medición del desempeño de la cadena de suministro, proporcionando una base sólida para investigaciones futuras y prácticas mejoradas en este campo.

Cada trabajo contribuye a su campo particular al proporcionar orientación y metodologías para abordar problemas de ubicación específicos. En todos ellos la multiplicidad de criterios, de variables y de puntos de vista, hacen que la decisión de la ubicación apropiada sea una decisión compleja, a pesar de que existan métodos bien definidos son solo un componente en la caja de herramientas de operaciones humanitarias bien planificadas [23]

Según [25], la solución al problema de la ubicación tiene bases matemáticas y aplicaciones en diversas disciplinas [26]. Se destaca la evolución de estos problemas y su transformación en desafíos interdisciplinarios [4]. Además, se resalta la importancia de las herramientas de modelado, como el análisis multicriterio, la programación lineal entera y la programación entera mixta. Se destacan los avances en las técnicas heurísticas y metaheurísticas utilizadas en la resolución de problemas de ubicación y de investigación de operaciones [25]. Una de las herramientas más utilizadas es el análisis multicriterio, donde la herramienta de modelado multicriterio ha sido utilizada en diferentes contextos con éxito [12], [27]. De esta forma la herramienta se ha utilizado para seleccionar ubicaciones adecuadas para rellenos sanitarios, destacando la relevancia de considerar criterios ambientales, sociales y económicos, dicho trabajo se enfoca en la identificación de criterios y el uso de enfoques de análisis multicriterio, como el Proceso Analítico Jerárquico (PJA). El documento presenta la literatura existente y proporciona una guía para seleccionar ubicaciones de rellenos sanitarios utilizando enfoques de análisis multicriterio y sistemas de información geográfica [12]. Otros trabajos se enfocan en la planificación de la ubicación de edificaciones rurales, considerando criterios ambientales, físicos y económicos para evaluar la idoneidad de sitios de construcción [28], En dicho trabajo se utiliza el análisis multicriterio y un sistema de información geográfica (SIG) para tomar decisiones basadas en datos y análisis espaciales. El estudio utiliza un proceso analítico

jerárquico que abarca desde los objetivos principales hasta subcriterios y atributos espaciales, sin embargo [29] considera que en desarrollo del análisis multicriterio se debe incluir la teoría de utilidad multiatributo, relaciones de superación, y métodos interactivos para una gestión eficiente, lo que sugiere un enfoque más completo y flexible para abordar problemas de decisiones estratégicas.

Se implementan métodos de programación analítica jerárquica y la matriz de comparación de pares para determinar los pesos relativos de los criterios. Se utiliza el método de ponderación de atributos subjetivos para calcular un índice de idoneidad. A través de este estudio se genera un mapa de idoneidad que muestra las áreas adecuadas para la construcción de edificaciones rurales [28]

En la misma línea, [30][31] destaca la importancia de seleccionar estratégicamente la ubicación de las instalaciones empresariales, priorizando la proximidad a los clientes. Para lograrlo, se emplea el método P-Center, seguido del Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados para minimizar los costos de distribución y maximizar los beneficios, al igual que [32] en el que se propone un método que combina el algoritmo de agrupamiento K-means con el razonamiento D-S para ofrecer soluciones más precisas en la ubicación de estos centros, con aplicaciones prácticas en redes logísticas multinivel. Inicialmente, se utiliza el algoritmo del Vecino más Cercano para determinar rutas eficientes, y luego se refina con la Búsqueda Local Simple. Este enfoque integral proporciona resultados óptimos a nivel global, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa y una minimización de los costos de distribución[33]

Frente a la ubicación de centros de distribución, en la literatura se encuentran trabajos en los cuales se utilizan las técnicas de centro de gravedad y el método proceso analítico jerárquico. El Centro de Gravedad se utiliza para la macrolocalización, considerando la distribución geográfica de la demanda y los centros de producción, mientras que el PJA se emplea en la microlocalización para evaluar criterios específicos. Uno de los resultados destacados es la identificación de la ubicación óptima del centro de distribución en Colombia, lo que conlleva ventajas significativas en términos de eficiencia y reducción de costos [3]. El método PJA también ha sido utilizado para la ubicación de una planta industrial. Los resultados muestran que la metodología considera la naturaleza de los costos de producción y otras consideraciones no económicas, adaptándose al tipo de industria. Esto permite tomar decisiones informadas, y el método PJA se muestra como una herramienta eficaz para abordar estos desafíos, lo que es especialmente relevante para empresas de diferentes sectores[34]. Otros trabajos se centran en la mejora de la Recepción en un Centro de Distribución de una Empresa de Alimentos mediante el uso del método PJA. La investigación destaca la importancia de mejorar la operación de recepción en un centro de distribución de alimentos en Medellín. Los resultados demuestran que la metodología PJA es eficaz para identificar y priorizar áreas de mejora en la operación de recepción, lo que lleva a una mayor eficiencia y satisfacción del cliente en la cadena de suministro[35]. Finalmente, el método PJA se utiliza para abordar el problema de asignar recursos limitados de distribución a múltiples bodegas o puntos de venta cercanos. El enfoque permite priorizar las bodegas de manera óptima, teniendo en cuenta la demanda, la variabilidad y otros aspectos logísticos, lo que lleva a una mejor planificación de recursos y adaptación a cambios dinámicos en el inventario [36]

Los artículos presentados en líneas anteriores muestran cómo el método PJA es una herramienta clave para abordar problemas de ubicación, priorización y toma de decisiones en el ámbito de la gestión logística. Sin embargo, no se encontraron trabajos que integren la analítica de datos y PJA para la definición de la ubicación de un centro de distribución.

Metodología

En esta sección se describe el modelo propuesto y las herramientas que se integraron para realizar el estudio de ¿cómo identificar la ubicación de un centro de distribución de productos masivos? El modelo propuesto consiste en los siguientes elementos: construcción de un set de datos a partir de los datos transaccionales de la empresa. Definición de criterios y variables de decisión. Desarrollo de un Dashboard de analítica descriptiva. Aplicación del método multicriterio proceso de jerarquía analítica (PJA). Actualización del dashboard con las matrices de decisión. De esta forma todo el proceso del método queda mapeado en el dashboard y el proceso de decisión a partir de datos (data-driven decisions) y de expertos (expert-driven decisions) queda disponible a través de dicho dashboard.

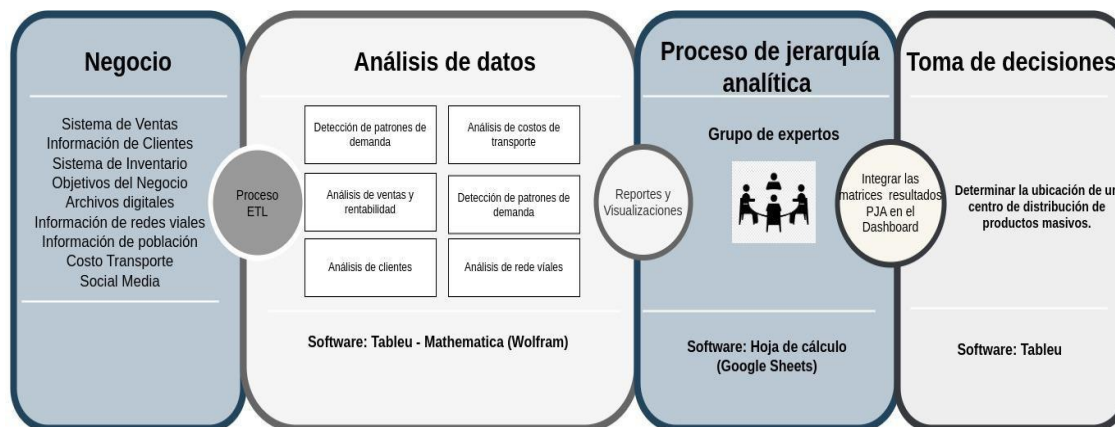
Modelo de integración de analítica descriptiva y proceso de jerarquía analítica

Tal como se explicó en líneas anteriores, el modelo propuesto en este trabajo integra componentes de analítica descriptiva y método de toma de decisiones multicriterio conocido como el proceso de jerarquía analítica (PJA).

La analítica descriptiva se enfoca en resumir y describir características importantes de un conjunto de datos. Ésta se centra en revelar patrones, tendencias o resúmenes estadísticos para comprender mejor la información y tomar decisiones informadas[37] . El modelo de igual manera, integra el método de toma de decisiones multicriterio conocido como el proceso de jerarquía analítica (PJA), el cual permite a los tomadores de decisiones comparar y priorizar alternativas considerando múltiples criterios. Éste se basa en la descomposición jerárquica de un problema en criterios y subcriterios, seguido por la asignación de valores numéricos que representan las preferencias relativas entre ellos, por parte de los expertos. Posteriormente se utiliza un sistema de comparaciones emparejadas para determinar pesos relativos y obtener una jerarquía de prioridades que ayuda en la selección de la mejor alternativa [38]

Así, el modelo propuesto no sólo se tiene en cuenta el enfoque de las decisiones basadas en datos, o el enfoque de decisiones basadas en expertos. Éste crea un flujo de trabajo que permite integrar las dos visiones en el proceso de toma de decisiones. Todo el proceso de toma de decisiones queda mapeado en un dashboard que permite identificar la alternativa apropiada en la toma de decisiones. La Figura 1. muestra el proceso descrito, sus entradas, los procesos y las salidas.

Figura1. Modelo que integra la analítica descriptiva y proceso de jerarquía analítica



Fuente: Elaboración Propia.

Para el proceso de toma de decisiones de la ubicación de un centro de distribución, se tomó la información: sistema de ventas, información de clientes, sistema de inventario, información de redes viales, información de población de los municipios y costo de transporte. A partir de dichas fuentes de datos se cargaron los datos en cuatro vistas de un dashboard desarrollado en Tableau[39]. Las vistas creadas son patrones de: demanda, cercanía a los clientes, costos de transporte y redes viales. En el trabajo se construyó un conjunto de datos a través de (Extraction Transformation Load) ETLs que extraen los datos desde las fuentes de datos y permiten construir un conjunto de datos analizable. El dashboard construido permitió a través de reportes y visualizaciones identificar patrones en los datos, lo que en medida logra generar una cohesión entre la información general sobre los reportes y visualizaciones que son el insumo para el PJA, donde los expertos ponderan y dan su visión de la mejor ubicación del centro de distribución. Finalmente, las matrices resultado del PJA son incluidas en el dashboard[40][41][42].

Los software utilizados para implementar el modelo propuesto son: el dashboard fue desarrollado en la versión libre de Tableau [43]. Para este trabajo los datos se enriquecen semánticamente[44], para ello las distancias entre municipios fue construida a través de Mathematica, la entidad Municipio y sus características permiten obtener una matriz de las distancias entre cada uno de los municipios del departamento del Cauca. Para otros proyectos y el enriquecimiento semántico, se pueden utilizar ontologías o rdfs disponibles en internet[45]. Las matrices propias de la metodología PJA se llevó a cabo en Google Sheets [46]

Proceso de analítica descriptiva – dashboard

La metodología de diseño de dashboards UX dice que la interpretación ágil de datos es esencial[47]. Los dashboards exponen información clave de manera comprensible, así presentan insights que revelan información y patrones para el apoyo a la toma de decisiones estratégicas en las organizaciones. El diseño UX tiene en cuenta diferentes tipos de controles para el desarrollo del dashboard es a través del control indicador clave de rendimiento [48]

El dashboard desarrollado para este trabajo es del tipo control de KPI (indicador clave de rendimiento) es uno de los patrones de diseño de paneles más comunes. Los paneles de control de KPI se centran en mostrar los puntos de datos y métricas más críticos para un negocio u organización. En este caso centrado en la decisión de la ubicación del centro de distribución, en el cual se presenta un diseño minimalista, con gráficos simples que resaltan los puntos de datos más importantes.

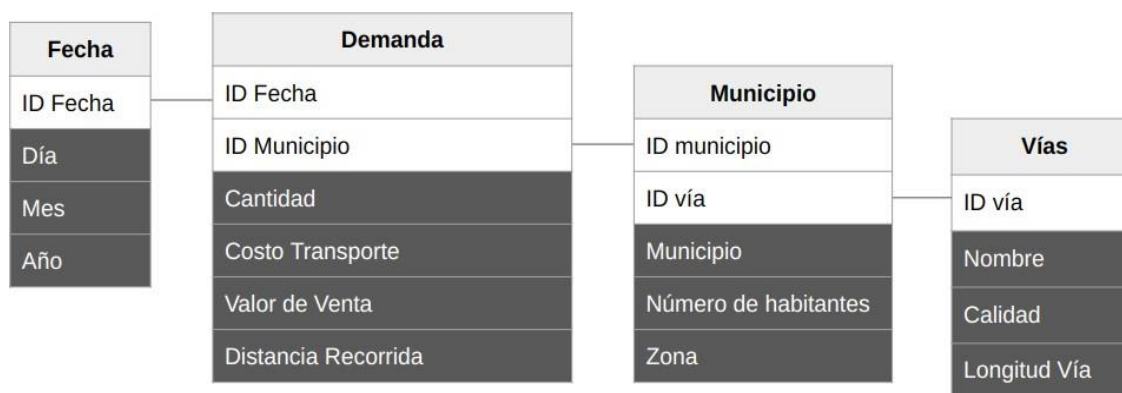
Modelamiento de datos: tabla de hechos y tabla de dimensiones

Para el diseño del dashboard se procede con el diseño de la tabla de hechos y las tablas de dimensiones. La tabla de hechos es una parte fundamental en la inteligencia de negocios, ya que almacena los detalles específicos de las actividades de distribución, como las ventas. Esta tabla contiene campos cuantificables, como cantidad, importe o número de operaciones, brindando los indicadores clave de rendimiento (KPI). Además, integra elementos como la clave principal y claves externas que permiten vincular información entre distintas tablas, proporcionando el contexto para entender las medidas, como por ejemplo la demanda por municipio o zona del departamento.

El modelo de datos se construye a partir de una tabla de hechos demanda. La cual contiene las ventas de productos masivos y los cuales corresponden al histórico de ventas de la empresa de distribución de productos masivos en el departamento del Cauca, empresa que actualmente opera desde la ciudad de Cali. En la tabla de demanda se encuentra el costo de transporte que se

pagó por llevar la mercancía desde Cali hasta el municipio en el que se realizó la venta. La tabla de hechos tiene tres dimensiones, la primera la fecha, el municipio y las vías. La tabla municipio tiene la característica de la zona a la que pertenece, esta será la variable de interés en el estudio, identificar la zona en la cual ubicar el centro de distribución de productos masivos. Por último, se tiene la tabla de vías, en la cual la calidad de las vías se considera como vías nacional, departamental y municipal, donde como un proxy de la calidad se entiende que las de mejor calidad son las vías nacionales. Adicionalmente, contiene el nombre de la vía y la longitud de la vía que permite evaluar la calidad de las vías, los kilómetros de vías con la que cuenta el departamento del Cauca y la cercanía entre sus municipios. La Figura 2. muestra el diagrama del modelamiento de datos.

Figura. 2 Modelo de datos para la ubicación de un centro de distribución



Fuente: Elaboración Propia.

Dashboard: KPIs

Los siguientes KPIs para el problema de identificar la ubicación de un centro de distribución son los siguientes.

El total de la demanda: en un centro de distribución se refiere a la cantidad acumulada de productos o servicios solicitados por los clientes dentro de una región o área geográfica determinada en un período específico. Se determina a través del análisis de datos históricos de ventas, en este caso para el total de la demanda por municipio se sumaron todas las ventas del histórico para cada municipio en un año.

La cercanía con los clientes: para un centro de distribución se refiere a la proximidad geográfica o ubicación estratégica de los clientes con respecto a las instalaciones del centro de distribución. Este factor es clave en la planificación logística y de entrega, ya que impacta directamente en la eficiencia y rapidez de la distribución de productos. Se calcula como el total de kilómetros que hay entre dos municipios, este dato se construyó a través del enriquecimiento semántico en Mathematica [45], y se construyó una matriz de cercanía donde para cada par de municipios se construye su distancia correspondiente. Finalmente, para determinar la cercanía de cada municipio, se calcula como el promedio de sus distancias en la matriz de cercanía.

La calidad de las vías de transporte: para un centro de distribución hace referencia a la eficiencia de las rutas disponibles para el traslado de productos desde la ubicación del centro de distribución hacia los clientes o entre diversos puntos logísticos. Este aspecto engloba la evaluación de la infraestructura vial, abarcando carreteras, autopistas o vías secundarias, considerando su

capacidad y accesibilidad. El tipo de estas vías en el Cauca son nacional, municipal o departamental por lo que se evaluó el total de kilómetros de cada uno de estos tipos de vías que cuenta cada municipio.

Los costos de transporte: para un centro de distribución se refieren a los gastos asociados al traslado de mercancías desde el centro hacia los clientes o entre diferentes puntos logísticos. Estos costos pueden variar según la distancia recorrida, el tipo de mercancía y la cantidad de la misma, que representa el espacio físico que ocupa. Se mide en unidades cúbicas, como metros cúbicos (m^3)[49]. Los costos de transporte se calcularon como el promedio de los costos pagados en el histórico de ventas por municipio en un año.

Proceso de jerarquía analítica de la ubicación de un centro de distribución

El método PJA es una herramienta para la toma de decisiones que fue desarrollada por Thomas Saaty en 1970 [6]. Se basa en la descomposición de un problema en una jerarquía de elementos interrelacionados, y en la asignación de prioridades a cada elemento de la jerarquía. El proceso de jerarquía analítica (PJA) es una metodología para la toma de decisiones en la ubicación de elementos críticos, como centros de distribución[35]. El Proceso Analítico Jerárquico (PJA) se fundamenta en tres matrices cruciales que estructuran y guían el proceso de toma de decisiones multicriterio. La primera, la Matriz de Comparación Pareada (PCM), captura las relaciones de preferencia entre criterios o alternativas, permitiendo comparar sistemáticamente su importancia relativa. Los criterios utilizados son: demanda de clientes, cercanía relativa de clientes, calidad de vías, costos de transporte. A partir de la PCM, se deriva la Matriz de Ponderación, donde se calculan los pesos relativos de cada elemento, fundamentales para la toma de decisiones. Esta matriz fue construida a partir de expertos y los datos observados. Finalmente, la Matriz de Consistencia que se emplea para garantizar la fiabilidad y coherencia de las comparaciones realizadas en la PCM, asegurando que las preferencias sean lógicamente consistentes. Estas matrices no sólo estructuran el proceso, sino que también proporcionan una base matemática sólida para evaluar y priorizar criterios y alternativas de manera transparente y estructurada en entornos complejos de toma de decisiones basadas en expertos [38]. El método PJA se compone de los siguientes pasos y las siguientes matrices:

1. Descomponer el problema en una jerarquía. En este paso, se identifican los elementos principales del problema.
2. Desarrollar la matriz de prioridades de criterios, este paso es desarrollado con ayuda de los expertos. En este paso, se comparan cada par de criterios de la jerarquía, asignando una prioridad relativa a cada uno. Para ello, se utiliza una escala de 0 a 5. En la cual 0 significa que no tiene ninguna importancia y 5 significa que tiene total prioridad. Para cada criterio, se asignaron valores proporcionales a los valores relativos de cada zona. Por ejemplo, la zona con el mayor volumen de ventas recibió el valor de (5), y la zona con el menor volumen de ventas recibió el valor (1/5).

Matriz de prioridades de criterios: con ayuda de los expertos se evalúan cada par de criterios de la jerarquía, asignando una prioridad relativa a cada par de ellos. Se utiliza una escala de 0 a 5.

3. Normalizar la matriz de prioridades de criterios. En este paso, se normaliza la matriz de prioridades por el total de cada criterio. La matriz computa el valor de la matriz de prioridades por el valor total del criterio. Esta operación se hace para todas los criterios a evaluar.
4. Matriz normalizada de criterios: esta matriz permite comparar la importancia relativa de los criterios.

5. Evaluar las alternativas. En este paso, se comparan cada par de alternativas, teniendo en cuenta cada uno de los criterios. Para ello, se construyen tantas matrices de alternativas como criterios, la matriz se construye de forma similar a la matriz de prioridad de criterios. Con las matrices de alternativas se construyen sus matrices normalizadas correspondientes.

Matriz normalizada de alternativas por criterio demanda clientes: esta matriz permite comparar la demanda de los clientes por cada zona computando la importancia relativa.

Matriz normalizada de alternativas por criterio cercanía a clientes: esta matriz permite comparar la cercanía de los municipios computando la importancia relativa.

Matriz normalizada de alternativas por criterio calidad de vías: esta matriz permite comparar la calidad de las vías entre los municipios computando la importancia relativa.

Matriz normalizada de alternativas por criterio costos de transporte: esta matriz permite comparar los costos de transporte entre los municipios computando la importancia relativa.

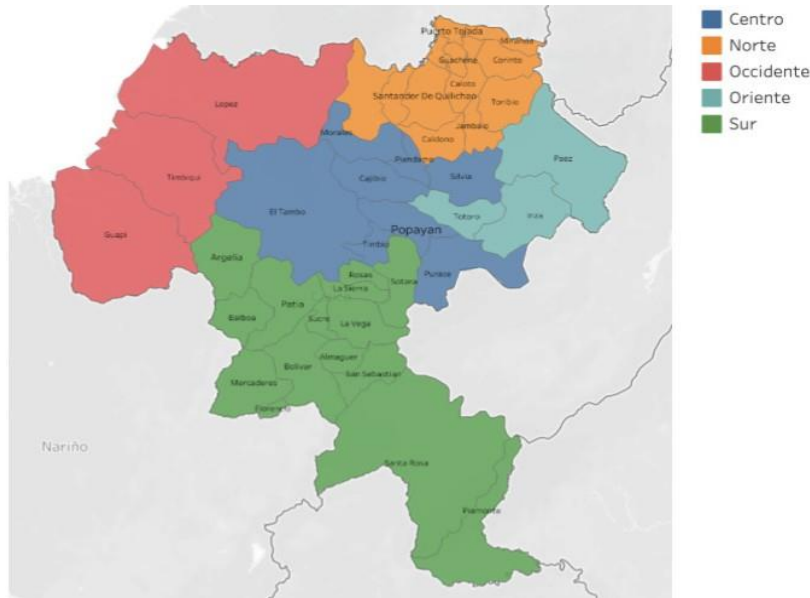
Matriz de resultados PJA. La matriz contiene la priorización de cada uno de los criterios y de cada una de las alternativas. Estos valores se computan como la suma de los productos y se obtiene la priorización final, la cual muestra con un mayor valor la alternativa que se prioriza.

Matriz de resultados PJA: esta matriz resume el resultado de aplicar la metodología PJA a la ubicación de un centro de distribución.

Resultados

La aplicación de la analítica descriptiva en la determinación de la ubicación de un centro de distribución representa un paso crucial en un estudio técnico de viabilidad. Mediante el análisis exhaustivo de datos demográficos, geoespaciales y de patrones de demanda, se puede obtener una visión de las áreas potenciales. Este proceso facilita la toma de decisiones estratégicas informadas, lo que conduce a una ubicación de centro de distribución soportada en los datos. La Figura 3. muestra el departamento del Cauca sus municipios y zonas, en el mapa se puede notar su complejidad sociopolítica y su ubicación estratégica dado que es un departamento que hace de corredor entre los departamentos de Tolima, Caquetá, Huila, Putumayo, Nariño y Valle del Cauca. En el mapa se sigue una convención de colores que identifican las zonas piedemonte amazónico, sur y macizo, que para efecto de este trabajo la hemos agrupado en zona sur la cual se representa por el color verde. En este trabajo representaremos la zona centro por el color azul, norte por el color naranja, occidente por el color rojo y oriente por el color verde aguamarina.

Figura. 3 Departamento del Cauca por municipios y zonas.

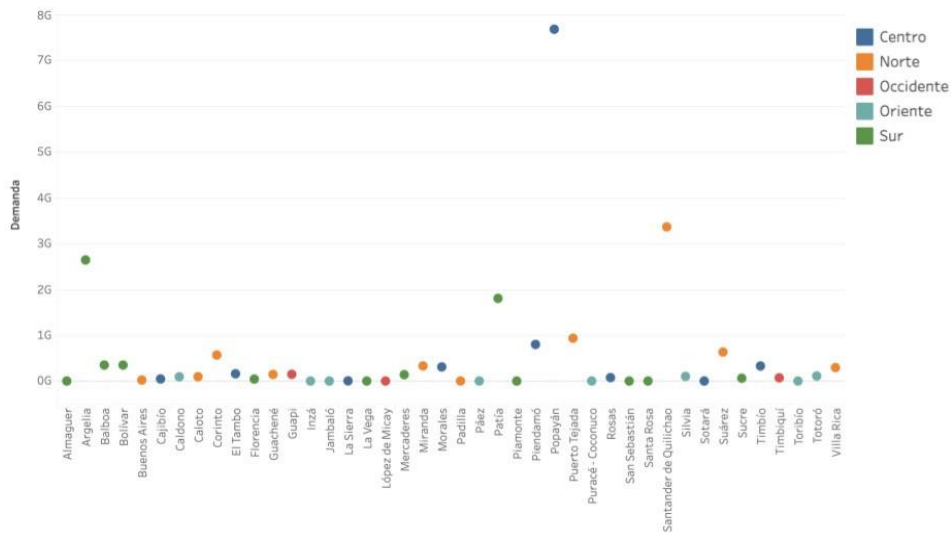


Fuente: Elaboración Propia.

Considerando los factores de la localización del centro de distribución en el departamento del Cauca, a continuación, se presentan los resultados del análisis descriptivo de datos, el dashboard se desarrolló en Tableau y se puede ver en el siguiente enlace [39]

Los resultados permiten identificar mediante criterios la zona con mayores oportunidades para la ubicación del nuevo centro de distribución, considerando que uno de los principales objetivos se quiere cubrir es la demanda del Departamento del Cauca.

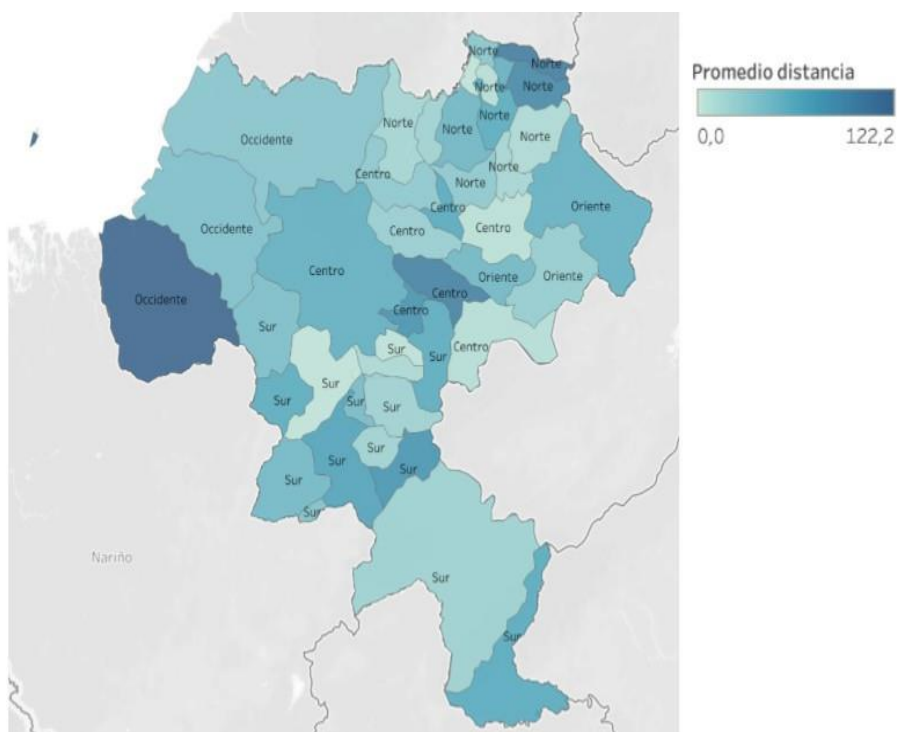
Figura. 4 El total de la demanda por municipio de un centro de distribución en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados que se presentan en la Figura 3. muestran que hay tres grupos de municipios de acuerdo con la demanda. Los municipios cuya demanda es por debajo de los 100 Millones de pesos, en la Figura estos se identifican porque están sobre el eje de los 0 Giga pesos, en los que se encuentran municipios tales como Cajibío, Sucre, Totoró, entre otros. Este grupo es heterogéneo y hay municipios con demanda cero, y municipios de distintas zonas del departamento. Es decir, los municipios de esta zona no pertenecen sólo a una zona del departamento. De otra parte, están los municipios con demanda superiores a 100 millones y menores a 1 Giga de pesos. En este grupo encontramos municipios como Corinto, Piendamó, Timbió, entre otros. En este grupo aparecen 10 municipios de características heterogéneas en su población y zonas del departamento. De este grupo podrían salir candidatos para la ubicación del centro de distribución. Finalmente, el tercer grupo en el cual se encuentran municipios con demanda superior a 1G de pesos, en este grupo hay cuatro municipios que son: Argelia, Patía, Santander de Quilichao y Popayán. De este grupo podrían salir candidatos para la ubicación del centro de distribución dado que capturan el 20% superior del total de la demanda. De igual forma hay municipios en diferentes zonas por lo que la decisión necesita de los otros KPIs. Con respecto a la distancia entre municipios y la calidad de las vías se presentan las Figuras 5 y 6. En la Figura 5 se puede apreciar que principalmente en la zona sur y norte es donde los valores promedio de cercanía entre los municipios es más baja por lo que estas zonas serían indicadas para ubicar el centro de distribución. El mapa de la Figura 5. muestra el promedio de las distancias relativas entre municipios por carretera, por lo que municipios como Guapi se pintan de azul oscuro dado que no es posible llegar por carretera, en otros casos no se cuenta con datos y por lo tanto el valor es cero.

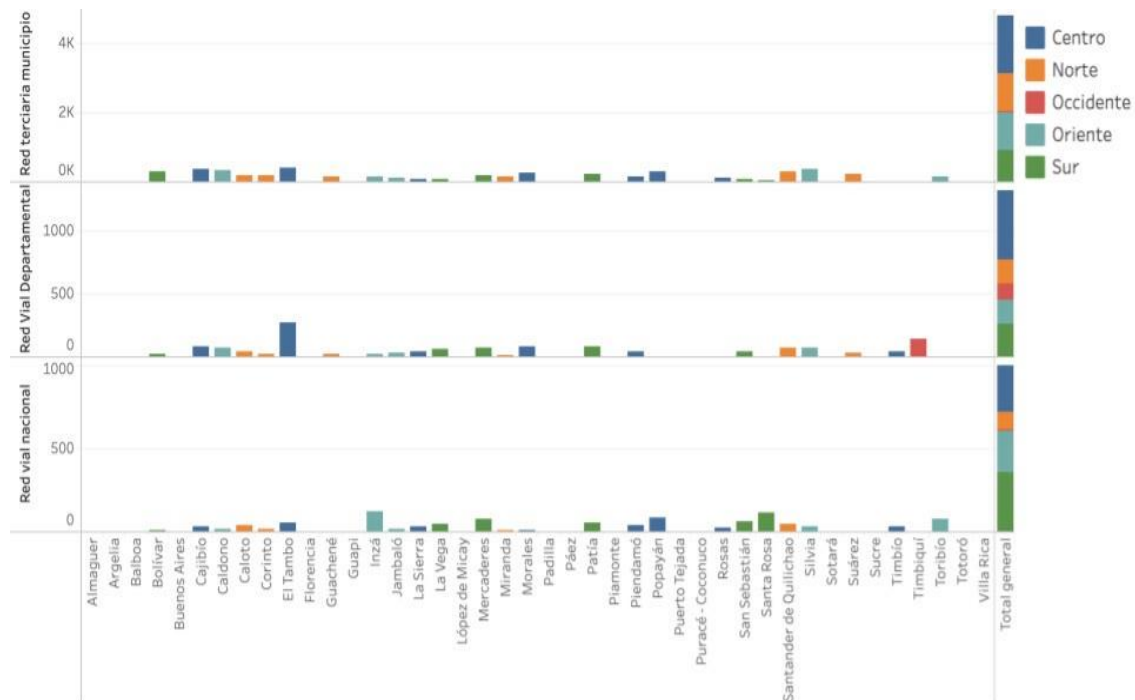
Figura. 5 Mapa de cercanía entre municipios en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración Propia.

Frente a La calidad de las vías de transporte se presenta en la Figura 6. La variable observada es el tamaño de la red vial de cada municipio como un proxy de la calidad de vías que tiene cada municipio, las vías están categorizadas como red de vías nacional, red de vías departamental y red terciaria de municipio. Frente a la red nacional la zona que mayor red nacional presenta es la zona sur seguida de la zona oriente, mientras que la red departamental la zona con mayor red es el centro seguido por las zonas sur y norte, frente a la red terciaria las zonas centro y norte cuentan con más kilómetros de vías. Si bien esta variable nos ayuda a entender la capacidad que tiene cada zona o cada municipio en términos de vías, son necesarias las variables de costos de transporte, demanda para definir la zona y el municipio indicados para abrir un centro de distribución, frente a esos resultados la zona centro, sur o norte son zonas potenciales para abrir dicho centro.

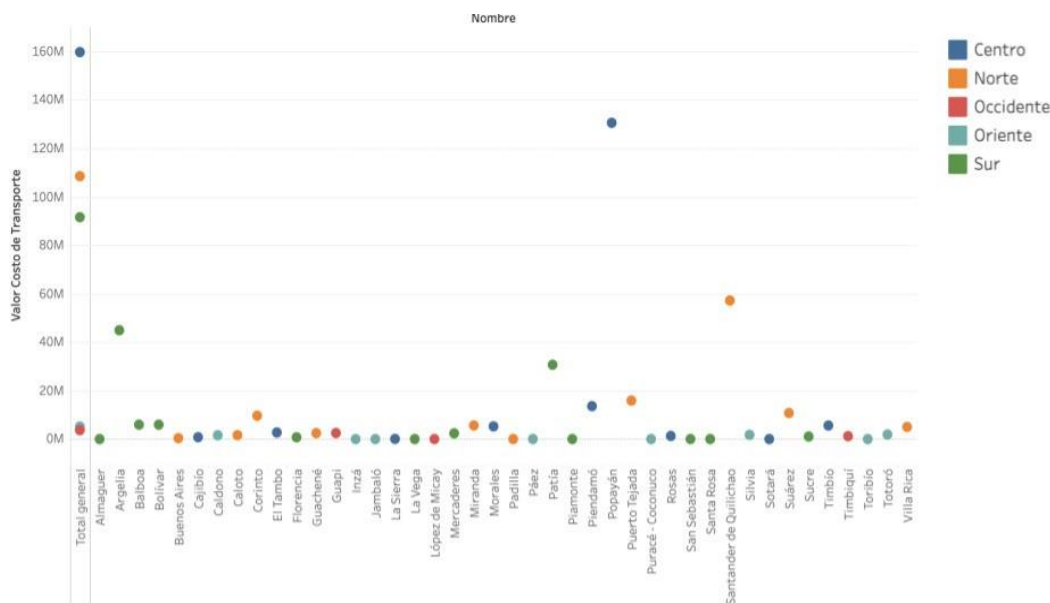
Figura. 6 Cantidad de vías entre los municipios en el departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración Propia.

Los costos de transporte o costos del flete de cada municipio es una variable importante en la definición de la ubicación de un centro de distribución, para esta variable se tomó el valor máximo pagado por concepto de transporte de un envío a ese municipio por la empresa desde la ciudad de Cali. En la Figura 7. Se observa que el transporte para la zona occidente y Oriente es menor a 20 Millones, sin embargo, esto puede ser un efecto de la falta de vías en la zona o que son zonas rurales con acceso solo por vías municipales. Es decir, los fletes de transporte grande no se ven reflejados en estas zonas, como sí sucede en las zonas centro, norte y sur. En este sentido estas últimas zonas son buenos candidatos para la ubicación del centro de distribución.

Figura. 7 Costos de transporte en los municipios del departamento del Cauca.



Fuente: Elaboración Propia.

Método PJA aplicado a la ubicación de un centro de distribución en el departamento del Cauca

Una vez se hizo el análisis descriptivo de los datos se encontraron patrones que muestran tres zonas con mayor potencial para la ubicación de un centro de distribución en el departamento del Cauca. Estas zonas son centro, norte y sur, esto lo muestran los datos en términos de calidad de las vías, de costos de transporte y de la demanda. Sin embargo, la decisión no es clara pues todos comparten características que en mayor o menor medida dan como idónea una u otra solución. En este trabajo se aplicó el método PJA para la identificación óptima de un centro de distribución. A continuación, se presentan las matrices de todo el proceso PJA.

Matriz de prioridad de criterios

Tabla 1. Matriz prioridad de criterios.

Matriz de prioridad de criterios				
	Demanda Clientes	Cercanía Clientes	Calidad de Vías	C o s t o transporte
Demanda Clientes	1,00	0,33	3,00	5,00
Cercanía Clientes	3,00	1,00	3,00	5,00
Calidad de Vías	0,33	0,33	1,00	3,00
Costo transporte	0,20	0,20	0,20	1,00
	4,53	1,87	7,20	14,00

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la matriz de criterios muestran los pesos que se tienen en cuenta para evaluar cada una de las relaciones entre criterios y su prioridad. De esta forma los expertos evalúan que la demanda de clientes es cinco veces más importante que el costo de transporte, con un peso de 5 mientras que la calidad de las vías es lo inverso a la demanda de clientes con $\frac{1}{5}$ de importancia, y de igual forma con cada par de criterios.

Matriz normalizada de criterios.

Tabla 2. Matriz de comparación normalizada de criterios

Matriz de comparación normalizada de criterios							
	Demanda Clientes	Cercanía Clientes	Calidad de Vías	Costo transporte	Suma	Wi	Porcentaje
Demanda Clientes	0,221	0,179	0,417	0,357	1,173	0,293	29,32%
Cercanía Clientes	0,66	0,536	0,417	0,357	1,97	0,493	49,28%
Calidad de Vías	0,074	0,179	0,139	0,214	0,605	0,151	15,13%
Costo transporte	0,044	0,107	0,028	0,071	0,250	0,063	6,26%
	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000	1,000	100,00%

Fuente: Elaboración Propia

Con base en la tabla anterior se computó la normalización de la Tabla 2. Con base en este total se calcula el porcentaje o peso W_i como el peso relativo frente a cada criterio, siendo cercanía con los clientes y demanda de clientes los criterios con mayor peso. El siguiente paso en la metodología es construir la matriz normalizada de alternativas por criterio demanda clientes, ver Tabla 3. La matriz muestra que los expertos evalúan la zona centro como tres veces más importante que la zona sur en términos de la demanda, es decir en su percepción para responder a la demanda es preferible ubicar el centro de distribución en el centro que en el sur. Dicha percepción puede ser corroborada por los datos ver Figura 4. Para los expertos la zona norte es la preferida para ubicar el centro de distribución. Esto se debe a que tiene el mayor volumen de demanda, seguida por la zona central, ver Tabla 3.

Tabla 3. Matriz normalizada de alternativas por criterio demanda clientes

Zonas	Matriz de comparación de criterios				matriz normalizada				Suma	Wi	Porcentaje
	Zona centro	Zona norte	Zona oriente	Zona sur	Zona centro	Zona norte	Zona oriente	Zona sur			
Zona centro	1,00	0,33	5,00	3,00	0,221	0,179	0,441	0,375	1,215	0,30	30,38%
Zona norte	3,00	1,00	5,00	3,00	0,662	0,536	0,441	0,375	2,014	0,50	50,34%

Zona oriente	0,20	0,20	1,00	1,00	0,044	0,107	0,088	0,125	0,364	0,09	9,11%
Zona sur	0,33	0,33	0,33	1,00	0,074	0,179	0,029	0,125	0,407	0,10	10,16%
4	4,53	1,87	11,33	8,00	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000		

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la Tabla 4. la zona norte es la opción preferida y la zona centro es la segunda opción preferida, ya que es la zona más cercana entre los municipios del departamento del Cauca. En este criterio la zona norte tiene mayor peso según los expertos por su cercanía con los proveedores y los puertos que se encuentran en el Valle del Cauca, departamento y puertos ubicados al norte del departamento del Cauca.

Tabla 4. Matriz normalizada de alternativas por criterio cercanía a clientes.

	Matriz de comparación de criterios				Matriz normalizada				Suma	Wi	Porcentaje
	Zona	Zona	Zona	Zona	Zona	Zona	Zona	Zona			
	centro	norte	oriente	sur	centro	norte	oriente	sur			
Zona centro	1,00	0,33	2,00	2,00	0,200	0,143	0,364	0,286	0,992	0,25	24,81%
Zona norte	3,00	1,00	2,00	2,00	0,600	0,429	0,364	0,286	1,678	0,42	41,95%
Zona oriente	0,50	0,50	1,00	2,00	0,100	0,214	0,182	0,286	0,782	0,20	19,55%
Zona sur	0,50	0,50	0,50	1,00	0,100	0,214	0,091	0,143	0,548	0,14	13,70%
	5,00	2,33	5,50	7,00	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000		

Fuente: Elaboración Propia

Frente al criterio de calidad de vías, la zona norte es la opción idónea y la zona centro es la segunda opción, ya que es la zona con mejores calidad de vías del departamento del Cauca. En este criterio la zona norte tiene mayor peso según los expertos por sus vías de doble calzada que no hay en otras zonas del departamento, ver Tabla 5.

Tabla 5. Matriz normalizada de alternativas por criterio calidad de vías.

	Matriz de comparación de criterios				Matriz normalizada				Suma	Wi	Porcentaje
	Zona	Zona	Zona	Zona	Zona	Zona	Zona	Zona			
	centro	norte	oriente	sur	centro	norte	oriente	sur			
Zona centro	1,00	0,50	2,00	1,00	0,222	0,167	0,444	0,167	1,000	0,25	25,00%
Zona norte	2,00	1,00	1,00	2,00	0,444	0,333	0,222	0,333	1,333	0,33	33,33%

Zona oriente	0,50	1,00	1,00	2,00	0,111	0,333	0,222	0,333	1,000	0,25	25,00%
Zona sur	1,00	0,50	0,50	1,00	0,222	0,167	0,111	0,167	0,667	0,17	16,67%
	4,50	3,00	4,50	6,00	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000		

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 6. muestra que la zona oriente es la que menores costos de transporte tiene, sin embargo, los costos de transporte están asociados a la cantidad de carga. En este sentido la siguiente zona es la norte, logrando así que, para diferentes criterios tanto en los datos como en los pesos relativos ofrecidos por los expertos, esta zona sea la que predominantemente aparece como mejor opción en la toma de decisiones.

Tabla 6. Matriz normalizada de alternativas por criterio costos de transporte.

	Matriz de comparación de criterios				Matriz normalizada				Suma	Wi	Porcentaje
	Zona centro	Zona norte	Zona oriente	Zona sur	Zona centro	Zona norte	Zona oriente	Zona sur			
Zona centro	1,00	0,33	0,33	1,00	0,125	0,071	0,167	0,143	0,506	0,13	12,65%
Zona norte	3,00	1,00	0,33	3,00	0,375	0,214	0,167	0,429	1,185	0,30	29,61%
Zona oriente	3,00	3,00	1,00	2,00	0,375	0,643	0,500	0,286	1,804	0,45	45,09%
Zona sur	1,00	0,33	0,33	1,00	0,125	0,071	0,167	0,143	0,506	0,13	12,65%
	8,00	4,67	2,00	7,00	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000		

Fuente: Elaboración Propia

El método PJA, es un método de decisión multicriterio que permite seleccionar entre diversas alternativas en función de una serie de criterios o variables de selección. Por lo anterior, para la selección de la zona donde se ubicará el centro de distribución. Los criterios fueron contrastados con la zona centro, norte, occidente, oriente y sur del departamento del Cauca. Ahora bien, a nivel general la zona occidente no cumple con los parámetros de selección, debido a que la calidad de vida es baja y se considera la zona de alto riesgo y la calidad de sus vías no son las adecuadas para el constante traslado de la mercancía. Finalmente, en la Tabla 7. Se observa que la zona que mayores ventajas ofrece al nuevo centro de distribución es la zona norte con el 42%. Cada zona ha sido computada la prioridad específica para cada criterio, indicando su nivel de cumplimiento en relación con el total. La columna priorización representa la ponderación de cada criterio, que se calcula dividiendo el porcentaje de cada zona entre el total del respectivo criterio. Estas ponderaciones reflejan la importancia relativa de cada criterio en la toma de decisiones. Además, se identifican áreas de mejora en el uso de big data en la segmentación de clientes y la falta de utilización de la evolución diferencial para clasificar datos.

Este enfoque crítico y propositivo concuerda con [50, 51], el cual fomenta futuras investigaciones que podrían integrar la evolución diferencial y mejorar la protección contra resultados prematuros en el software de minería de datos, ofreciendo una perspectiva valiosa para avanzar en el campo de

la evaluación de las categorías y la segmentación de clientes. Por ejemplo, en el criterio demanda de clientes, la zona centro tiene un porcentaje de 30,38%, lo cual indica que su demanda de clientes contribuye con el 30,38% del total. Este procedimiento se aplica a todos los criterios y zonas. Al final, se obtiene una ponderación para cada criterio, que refleja su relevancia en la evaluación de las zonas. De esta manera, la zona indicada para abrir el centro de distribución es la zona norte seguida por la zona centro.

Tabla 7. Matriz de resultados PJA.

	Demanda Clientes	Cercanía Clientes	Calidad de Vías	Costo transporte	Priorización
Zona centro	30,38%	24,81%	25,00%	12,65%	26%
Zona norte	50,34%	41,95%	33,33%	29,61%	42%
Zona oriente	9,11%	19,55%	25,00%	45,09%	19%
Zona sur	10,16%	13,70%	16,67%	12,65%	13%

Fuente: Elaboración Propia

La integración del AD y la metodología multicriterio PJA se identifica la ubicación óptima de un centro de distribución para una empresa de productos de consumo masivo en el suroccidente de Colombia. Se consideran cuatro factores principales: la demanda, la cercanía a los clientes, la calidad de las vías de acceso y el costo del transporte.

Los resultados del análisis indican que el municipio de Santander de Quilichao es la ubicación más favorable para establecer el centro de distribución. Este municipio se encuentra en el departamento del Cauca, y es uno de los municipios con mayor demanda de productos de consumo masivo en el suroccidente del país. Además, Santander de Quilichao tiene una buena calidad de vías de acceso, lo que facilita el transporte de los productos.

El análisis también indica que la ubicación en Santander de Quilichao reduciría los costos de transporte en comparación con otras opciones consideradas. Esto se debe a la cercanía del municipio a los principales proveedores de la empresa, que se encuentran en el departamento del Valle del Cauca.

Conclusiones

En este artículo, se utilizaron la analítica descriptiva (AD) y la metodología multicriterio Proceso Analítico Jerárquico (PJA) para apoyar la toma de decisiones en la ubicación de un centro de distribución de productos masivos en el departamento del Cauca.

La AD se utilizó para analizar la demanda de productos, los costos de transporte y el estado de las vías. Estos análisis proporcionaron información relevante para la toma de decisiones, como los patrones de demanda de productos por municipio, las rutas de transporte más eficientes y económicas, y la mejor vía para transportar la mercancía.

El PJA se utilizó para identificar los criterios más importantes para la ubicación del centro de distribución y para comparar las alternativas en función de estos criterios. Los resultados de este trabajo sugieren que la integración de AD y PJA es una herramienta valiosa para apoyar la toma

de decisiones en la ubicación de centros de distribución. Se muestra así un modelo que aporta al conocimiento dado que no se encontró en la literatura la integración de AD y PJA para el apoyo a la toma de decisiones de ubicación. En este sentido se integra las decisiones basadas en datos y las decisiones basadas en expertos en un solo modelo que permite complementar los dos puntos de vista.

Como trabajo futuro se propone mejorar la precisión de los análisis de AD utilizando datos históricos más completos. Esto permitiría identificar tendencias de demanda más precisas y determinar rutas de transporte más eficientes. En segundo lugar, se propone considerar otros criterios para la ubicación del centro de distribución. Por ejemplo, se podría considerar la disponibilidad de mano de obra calificada, la facilidad de acceso a la infraestructura y el impacto ambiental. Este trabajo demuestra que la combinación de AD y JPA es un modelo útil para apoyar la toma de decisiones en la ubicación de centros de distribución. Los resultados de este trabajo pueden ser utilizados por empresas y organizaciones que buscan ubicar centros de distribución de manera eficiente y efectiva.

Referencias

1. T. Santos, "Estudio de factibilidad de un proyecto de inversión: Etapas en su estudio," *Contribuciones a la Economía*, vol. 11, 2008.
2. A. Awasthi, S. S. Chauhan, and S. K. Goyal, "A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty," *Math Comput Model*, vol. 53, no. 1–2, pp. 98–109, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.mcm.2010.07.023.
3. Ó. D. Urango Licon, G. Pérez Ortega, and G. Romo Morales, "Aplicación de las técnicas de gravedad y AHP para la localización de un centro de distribución de productos industriales en Colombia (Application of the Techniques of Gravity Center and AHP for the Location of a Distribution Center for Industrial Products in Colombia)," *Revista CEA*, vol. 1, no. 2, 2015.
4. A. Cintron, A. R. Ravindran, and J. A. Ventura, "Multi-criteria mathematical model for designing the distribution network of a consumer goods company," *Comput Ind Eng*, vol. 58, no. 4, pp. 584–593, May 2010, doi: 10.1016/j.cie.2009.12.006.
5. M.-S. Kuo, "Optimal location selection for an international distribution center by using a new hybrid method," *Expert Syst Appl*, vol. 38, no. 6, pp. 7208–7221, Jun. 2011, doi: 10.1016/j.eswa.2010.12.002.
6. J. S. Bacalla, M. L. Caballero, and A. C. Fiestas, "Modelo del proceso jerárquico analítico para optimizar la localización de una planta industrial," *Industrial data*, vol. 17, no. 2, pp. 112–119, 2014.
7. R. Chakraborty, A. Ray, and P. K. Dan, "Multi criteria decision making methods for location selection of distribution centers," *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 4, no. 4, pp. 491–504, 2013, doi: 10.5267/J.IJIEC.2013.06.006.
8. M. Keshavarz-Ghorabae, "Assessment of distribution center locations using a multi-expert subjective-objective decision-making approach," *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, p. 19461, Sep. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-98698-y.
9. S. Burnaz and Y. I. Topcu, "A multiple-criteria decision-making approach for the evaluation of retail location," *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, vol. 14, no. 1–3, pp. 67–76, Jan. 2006, doi: 10.1002/mcda.401.
10. V. Azizi and G. Hu, "Multi-product pickup and delivery supply chain design with location-routing and direct shipment," *Int J Prod Econ*, vol. 226, p. 107648, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107648.
11. C. Caprioli and M. Bottero, "Addressing complex challenges in transformations and planning: A fuzzy spatial multicriteria analysis for identifying suitable locations for urban infrastructures," *Land use policy*, vol. 102, p. 105147, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.landusepol.2020.105147.
12. C. Canelo, "Criterios y métodos para seleccionar la ubicación de los rellenos sanitarios," *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, vol. 5, no. 2, p. 9, 2021, doi: 10.25127/aps.20212.764.

13. S. López, P. Chung, and M. Ramírez, "Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como método multicriterio para la localización óptima de estaciones intermodales," *Economía Sociedad y Territorio*, vol. 21, no. 66, pp. 315–358, 2021, doi: 10.22136/est20211583.
14. A. S. Yalcin, H. S. Kilic, and D. Delen, "The use of multi-criteria decision-making methods in business analytics: A comprehensive literature review," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 174, p. 121193, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.techfore.2021.121193.
15. W. Winarso, S. Sukardi, A. Azizah, K. Kuswantinah, S. Su'aidy, and D. Untari, "Optimization of the Ahp Method in Determining the Location of Touristdestinations on the Island of Java, Indonesia," *International Journal of Professional Business Review*, vol. 7, no. 3, p. e440, 2022, doi: 10.26668/businessreview/2022.v7i3.440.
16. T. Özcan, N. Çelebi, and Ş. Esnaf, "Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem," *Expert Syst Appl*, vol. 38, no. 8, pp. 9773–9779, Aug. 2011, doi: 10.1016/j.eswa.2011.02.022.
17. M. Keshavarz-Ghorabae, "Assessment of distribution center locations using a multi-expert subjective-objective decision-making approach," *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, p. 19461, Sep. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-98698-y.
18. D. Soto-de la Vega, J. G. Vidal-Vieira, and E. A. Vitor-Toso, "Metodología para localización de centros de distribución a través de análisis multicriterio y optimización," *Dyna (Medellin)*, vol. 81, no. 184, pp. 28–35, 2014, doi: 10.15446/DYNA.V81N184.39654.
19. S. A. Berumen and F. Llamazares Redondo, "La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente," *Cuadernos de administración*, vol. 20, no. 34, pp. 65–87, 2007.
20. J. C. O. Gómez and J. P. O. Cabrera, "El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación.," *Scientia et technica*, vol. 2, no. 39, 2008.
21. V. Jiménez, "Aplicación de metodología multicriterio para la priorización de los procesos objeto de costeo en entidades del sector de la salud," *Libre empresa*, vol. 9, no. 1, pp. 99–123, 2012.
22. J. Willmer Escobar, "Metodología para la toma de decisiones de inversión en portafolio de acciones utilizando la técnica multicriterio AHP," *Contaduría y Administración*, vol. 60, no. 2, pp. 346–366, Apr. 2015, doi: 10.1016/S0186-1042(15)30004-8.
23. W. J. Gutjahr and P. C. Nolz, "Multicriteria optimization in humanitarian aid," *Eur J Oper Res*, vol. 252, no. 2, pp. 351–366, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.12.035.
24. H. Balfaqih, Z. Mohd. Nopiah, N. Saibani, and M. T. Al-Nory, "Review of supply chain performance measurement systems: 1998–2015," *Comput Ind*, vol. 82, pp. 135–150, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.compind.2016.07.002.
25. E. Carrizosa, "Algunas aportaciones de la investigación operativa a los problemas de localización," *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, no. 5, pp. 268–277, 2005.
26. R. A. Stine, "Data analysis using Mathematica," *Sociol Methods Res*, vol. 23, no. 3, pp. 352–372, 1995.
27. H. Hoogeveen, "Multicriteria scheduling," *Eur J Oper Res*, vol. 167, no. 3, pp. 592–623, Dec. 2005, doi: 10.1016/j.ejor.2004.07.011.
28. J. S. Jeong, L. G. Moruno, D. G. Gómez, and S. Carver, "Implementación de un método para alcanzar un paisaje resiliente mediante la ubicación apropiada de edificaciones rurales," *Economía Agraria y Recursos Naturales-Agricultural and Resource Economics*, vol. 16, no. 1, pp. 19–38, 2016.
29. B. Roy and P. Vincke, "Multicriteria analysis: survey and new directions," *Eur J Oper Res*, vol. 8, no. 3, pp. 207–218, Nov. 1981, doi: 10.1016/0377-2217(81)90168-5.
30. M. R. Azzindani, N. F. Kusuma Ningrum, M. R. Sudiar, and A. A. N. P. Redi, "Two-Phase Optimization Method for Determining Distribution Center Locations and Distribution Routes (Case Study: X Ltd.)," *IPTEK Journal of Proceedings Series*, vol. 0, no. 5, p. 45, Nov. 2020, doi: 10.12962/j23546026.y2020i5.7930.
31. S. Sutaji and S. Hasibuan, "Determination of distribution center location for paper packaging using Center of Gravity method and Analytical Hierarchy Process," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Michigan, USA: IEOM Society International*, Mar. 2021. doi: 10.46254/AN11.20210707.
32. P. Wang, X. Chen, and X. Zhang, "Research on Location of Logistics Distribution Center Based on K-Means Clustering Algorithm," *Security and Communication Networks*, vol. 2022, pp. 1–9, Jul. 2022, doi: 10.1155/2022/2546429.

33. A. Puška, A. Štilić, and Ž. Stević, "A Comprehensive Decision Framework for Selecting Distribution Center Locations: A Hybrid Improved Fuzzy SWARA and Fuzzy CRADIS Approach," *Computation*, vol. 11, no. 4, p. 73, Apr. 2023, doi: 10.3390/computation11040073.
34. J. R. Medina, R. L. Romero, and G. A. Pérez, "Localización de una planta industrial: Revisión crítica y adecuación de los criterios empleados en esta decisión," *Rev Mex Ing Quim*, vol. 8, no. 3, pp. 271–274, 2009.
35. R. A. G. Montoya, A. Z. Mazo, and G. L. V Noreña, "Método AHP utilizado para mejorar la recepción en el centro de distribución de una empresa de alimentos," *Ingenierías USBMed*, vol. 6, no. 2, pp. 5–14, 2015.
36. J. J. Bravo Bastidas, J. C. Osorio Gómez, and J. P. Orejuela Cabrera, "Modelo para la priorización dinámica de despachos de vehículos utilizando el proceso analítico jerárquico," *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 48, pp. 201–215, 2009.
37. F. Provost and T. Fawcett, "Data science for business," *Mach. Learn. Mach. Learn*, 2011.
38. E. A. Amaya Franco, V. M. Beltrán Bacca, D. L. Castellanos, and others, "Selección de una propuesta de renovación urbana a nivel de prefactibilidad a través de una matriz de decisiones como apoyo socioeconómico y ecológico del tramo 4 Puerto Berrio-Puerto Salgar contemplado en el plan de dragado y mantenimiento para la navegabilidad 2020 del río Magdalena," 2022.
39. Formato de datos, "Tableau Software." [Online]. Available: <https://public.tableau.com/authoring/Formatodedatos/RedVial#1>
40. S. Tolun and H. A. Tayali, "Data Mining for Multicriteria Single Facility Location Problems," 2016, pp. 147–170. doi: 10.4018/978-1-5225-0075-9.ch007.
41. E. M. Rodríguez, "Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME," *Anuario jurídico y económico escurialense*, no. 40, pp. 523–542, 2007.
42. S.-C. Wang, Y.-T. Tsai, and Y.-S. Ciou, "A hybrid big data analytical approach for analyzing customer patterns through an integrated supply chain network," *J Ind Inf Integr*, vol. 20, p. 100177, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jii.2020.100177.
43. J. Hoelscher and A. Mortimer, "Using Tableau to visualize data and drive decision-making," *Journal of Accounting Education*, vol. 44, pp. 49–59, 2018.
44. H. E. Banguero, "Estructura y dinámica de la población del departamento del Cauca y de Colombia. 1938-2025. Un análisis comparativo," *El Hombre y la Máquina*, no. 24, pp. 72–91, 2005.
45. S. Suchok, *Mathematica Data Analysis*. Packt Publishing Ltd, 2015.
46. C. Burnay, F. Dargam, and P. Zarate, "Data visualization for decision-making: an important issue," *Oper Res Int*, no. 19, pp. 853–855, 2019, doi: 10.1007/s12351-019-00530-z.
47. J. Díaz et al., "Website transformation of a Latin American airline: Effects of cultural aspects and user experience on business performance," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 17, no. 05, pp. 766–774, 2019.
48. D. Bucher, V. Francisco, A. Amaro, and I. Pedrosa, "Monitoring the business process using dashboards: The case study of an organisation from the research and innovation system," in *16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2021, pp. 1–6.
49. C. T. Giraldo, R. A. H. Isaza, and R. A. Gallego, "Ubicación óptima de elementos de protección en sistemas de distribución de energía eléctrica," *Scientia et Technica*, vol. 2, no. 48, pp. 13–18, 2011.
50. A. Maluf Blanco y E. S. Michelena Fernández, "Estudio de factores que afectan la integración de los sistemas de gestión en el Centro Nacional de Biopreparados, Cuba", *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 8, n.º 1, pp. 37–53, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3592>
51. E. R. Kaur, G. N. Devuniversity, and I. E. Kiranbir Kaur, "Data Mining on Customer Segmentation: A Review," *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 8, no. 5, Accessed: Mar. 07, 2024. [Online]. Available: www.ijarcs.info