

Port connectivity assessment and its impact on competitiveness: the case of Buenaventura, Colombia

Mabel Nathalia Collazos-Acosta, Josué Francisco Muñoz-Rebolledo, Jorge Gallego-Méndez & Ciro Jaramillo-Molina

Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia, mabel.collazos@correounivalle.edu.co, josue.munoz@correounivalle.edu.co, jorge.gallego@correounivalle.edu.co, ciro.jaramillo@correounivalle.edu.co

Received: September 16th, 2025. Received in revised form: February 6th, 2026. Accepted: February 13th, 2026.

Abstract

This study evaluates the port connectivity of the port of Buenaventura in the context of the Pacific basin, comparing it with similar ports, using a combined approach of graph theory, spatial analysis, and principal component analysis (PCA). Topological indicators of centrality, intermediation, clustering coefficient, and structural indices (β , γ , α , μ) were used, in addition to the LSBCI competitiveness index to evaluate prospective scenarios. The results reveal that Buenaventura has geographical advantages but limited connectivity to key nodes such as Panama, Mexico, and Vietnam. The evaluation of a new connection with Mexico significantly improves its centrality in the network, and it is concluded that greater integration of Buenaventura into strategic routes can enhance its regional competitiveness and that the methodological approach applied is replicable in other port studies.

Keywords: seaports; spatial connectivity; competitiveness; maritime network; pacific region.

Evaluación de la conectividad portuaria y su impacto en la competitividad: el caso de Buenaventura, Colombia

Resumen

Este estudio evalúa la conectividad portuaria del puerto de Buenaventura en el contexto de la cuenca del Pacífico, comparándolo con puertos homólogos, mediante un enfoque combinado de teoría de grafos, análisis espacial y análisis de componentes principales (PCA). Se utilizaron indicadores topológicos de centralidad, intermediación, coeficiente de agrupamiento e índices estructurales (β , γ , α , μ), además del índice de competitividad LSBCI para evaluar escenarios prospectivos. Los resultados revelan que Buenaventura posee ventajas geográficas, pero una conectividad limitada frente a nodos clave como Panamá, México y Vietnam. La evaluación de una nueva conexión con México mejora significativamente su centralidad en la red y se concluye que una mayor integración de Buenaventura en rutas estratégicas puede potenciar su competitividad regional, y que el enfoque metodológico aplicado es replicable en otros estudios portuarios.

Palabras clave: puertos marítimos; conectividad espacial; competitividad; red marítima; región pacífica.

1 Introducción

Los puertos marítimos cumplen una función estratégica como nodos de interconexión entre sistemas de transporte marítimo, terrestre y aéreo dentro de las redes de movilidad global y del desarrollo económico de las regiones [1]. La competitividad portuaria se ve influenciada por la conectividad y la accesibilidad, siendo la primera implica la capacidad de los puertos para conectarse entre sí, y la segunda su capacidad de ser alcanzados desde diversas zonas económicas [2].

En Colombia se han conducido estudios sobre los niveles de

accesibilidad terrestre entre departamentos y principales puertos marítimos desde una visión de equidad territorial [3], sin embargo, existe déficit en estudios que enmarquen el grado de conectividad entre los puertos marítimos, debido al bajo grado de exploración del transporte marítimo a comparación a otros modos de transporte [4], esta condición prevalece en países de la región, donde la competitividad portuaria se evalúa únicamente con datos estadísticos y económicos, limitando la capacidad de toma de decisiones desde una perspectiva geográfica [5].

El puerto de Buenaventura se destaca por su importante ubicación en la Costa Pacífica del suroeste de Colombia, cerca

How to cite: Collazos-Acosta, M.N., Muñoz-Rebolledo, J.F., Gallego-Méndez, J., and Jaramillo-Molina, C., Evaluación de la conectividad portuaria y su impacto en la competitividad: el caso de Buenaventura, Colombia DYNA, (93)240, pp. 122-131, January - March, 2026.

al canal de Panamá y equidistante entre los puertos de Vancouver y Valparaíso, posicionándose estratégicamente debido a su proximidad con las principales rutas marítimas que conectan el planeta de norte a sur y de oriente a occidente, lo que lo convierte en referente de estudio y ejemplo ideal para evaluar su competitividad frente a puertos del pacífico [6].

El puerto de Buenaventura no solo es una importante conexión nacional, sino también un vínculo clave entre Centroamérica y Asia [7]. Según el Ministerio de Transporte [8], transporta alrededor de 18 millones de toneladas anuales, (9,7 millones de toneladas son de carga contenerizada), representando el 24,3% del tráfico portuario nacional en el contexto del Pacífico. La mejora de la conectividad portuaria podría reducir costos en el transporte marítimo y facilitar el comercio bilateral entre naciones económicamente asociadas, fortaleciendo las relaciones internacionales y mejorando el mercado [9], dada la influencia de conectividad marítima para superar limitaciones geográficas y logísticas [10].

Este estudio evalúa la conectividad portuaria de Buenaventura y su impacto en la competitividad regional mediante el análisis de redes y simulación de escenarios. Se emplearon técnicas de análisis espacial para medir la incidencia de la conectividad territorial en la competitividad portuaria, considerando el puerto de Buenaventura como principal nodo marítimo del Pacífico colombiano, con el objetivo de identificar patrones espaciales y relaciones funcionales que contribuyan a explicar sus características espaciales y funcionales. Los resultados buscan ofrecer evidencia técnica que sustente procesos de planificación y gestión estratégica en contextos portuarios con dinámicas regionales complejas.

2 Antecedentes

Recientes estudios han analizado cómo la infraestructura portuaria y su conectividad influyen en la jerarquía global de los puertos y en la definición de sus estrategias [11], en los que se destaca cómo factores como la estructura de red, el comercio internacional y la proximidad geográfica generan una conectividad marítima desigual [12]. Cambios en los servicios de transporte, como el tipo de carga o la organización de las rutas, pueden afectar negativamente a las comunidades portuarias [13]. El transporte de contenedores influye en el comercio bilateral entre naciones, aunque su impacto varía según región y distancia [14], y presenta diferencias entre escalas locales y globales [13]. La literatura en geografía portuaria muestra un enfoque limitado en dinámicas regionales transnacionales, con solo un 1% de estudios considerando esta dimensión [15]. En este sentido, resulta importante destacar las principales nociones asociadas a este contexto de estudio.

2.1 Conectividad marítima y el mercado internacional

La conectividad marítima refiere a la eficiencia de las redes de transporte marítimo, incluyendo aspectos como el número de destinos servidos, la frecuencia de los servicios y los costos asociados, los cuales permiten un acceso más amplio a recursos físicos, que facilite las economías de escala y promueva la especialización, lo que puede contribuir significativamente al desarrollo económico [16]. Por su parte, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Comercio y Desarrollo [2] desde el 2010

emplea el Índice de Conectividad de Carga Marítima (LSCI), para establecer el grado de integración de los países en las redes de transporte marítimo global, a partir de cinco elementos clave del sector marítimo: la cantidad de barcos, capacidad de estos para transportar contenedores, tamaño máximo de los buques, cantidad de servicios disponibles y el número de compañías que operan buques portacontenedores en los puertos [17]. En los últimos años, este se ha consolidado como un indicador del rendimiento portuario y ha sido utilizado en investigaciones que prestan mayor atención a la conectividad portuaria, abarcando desde la definición de conceptos y la selección de indicadores, hasta la creación de métodos de evaluación que consideran diferentes técnicas [18].

2.2 El Pacífico y los puertos homólogos

Los puertos homólogos son grupos portuarios que presentan infraestructura física y operativa equivalentes, estos suelen compartir características como ubicaciones geográficas cercanas, políticas comerciales y marítimas similares, climas regionales comparables, actividades portuarias comunes y la disponibilidad de recursos similares, que pueden influir en la forma en que los puertos operan, se desarrollan y compiten en el mercado global [19].

En otros contextos, los enfoques sistemáticos han permitido identificar cohortes de puertos homogéneos antes de realizar comparaciones de eficiencia, con lo cual se evita la evaluación injusta entre puertos no comparables [20].

2.3 Puertos concentradores-distribuidores

Los puertos concentrador-distribuidor son nodos principales en una estructura jerárquica y son fundamentales para visualizar las estrategias de organización de las redes marítimas por parte de las compañías navieras. Estos son ubicados en el nivel más alto y actúan como puntos de conexión esenciales, enlazando con eficacia con nodos de menor nivel a través de diversos servicios de conexión [21]. La configuración de esta jerarquía es influenciada por factores geográficos, especialmente la concentración de actividades de transbordo en zonas cercanas a la ruta próximas al ecuador, las cuales se intersectan a los conectores norte-sur, tienden a agrupar nodos cercanos a cuellos de botella geográficos (áreas geográficas donde el movimiento de los buques está limitado), lo que optimiza la eficiencia de las operaciones [22].

3 Metodología

Con el propósito de determinar el grado de competitividad que tiene Buenaventura respecto a sus competidores en el Pacífico, esta investigación contempló un enfoque basado en teoría de grafos para estimar relaciones geográficas entre competitividad y conectividad en el contexto geográfico. La metodología incorpora métricas topológicas propias del análisis de redes espaciales —como centralidad, accesibilidad y proximidad— con el fin de caracterizar la posición relativa de Buenaventura en la red portuaria regional. Esta aproximación permite identificar configuraciones estructurales que condicionan el desempeño logístico del puerto y ofrece elementos empíricos para su comparación con nodos equivalentes en la costa Pacífica latinoamericana.

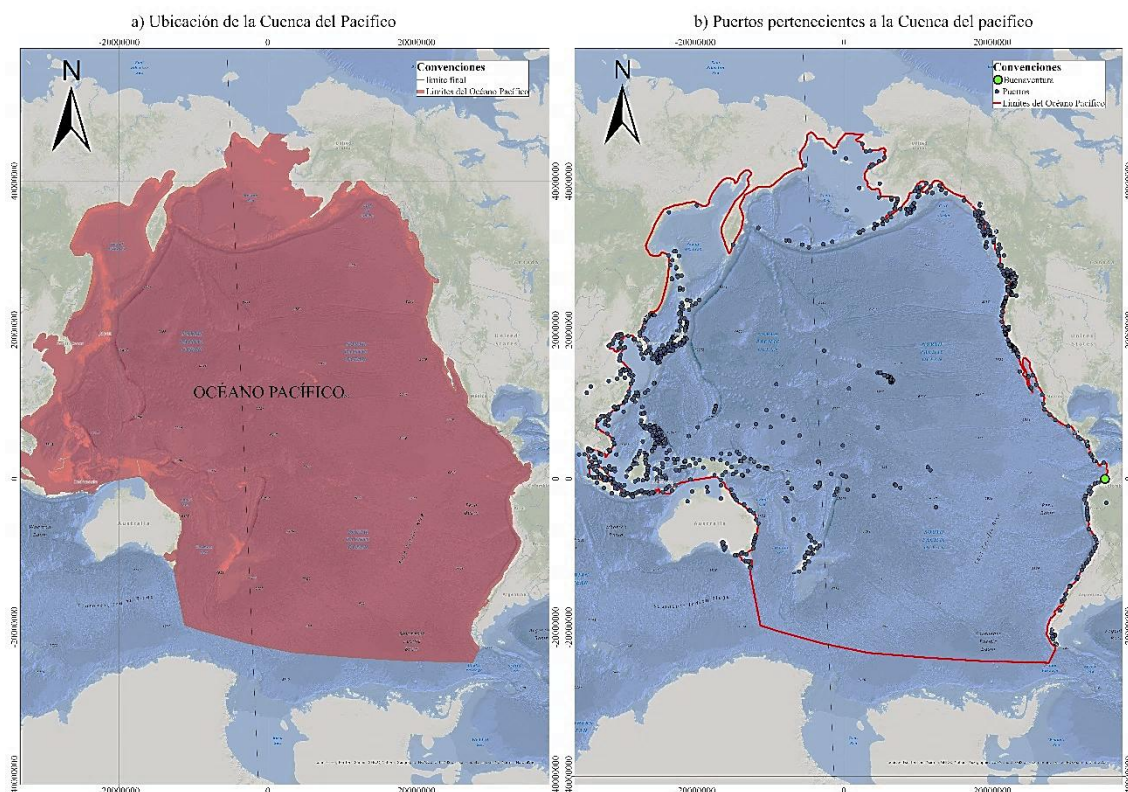


Figura 1. (a). Delimitación de la Cuenca Pacífico; (b) Puertos localizados en la Cuenca Pacífico.
Fuente: Elaboración propia.

3.1 Zona de estudio

La cuenca del Pacífico comprende territorios ubicados alrededor del océano Pacífico, con un total de aproximadamente 54 países y territorios distribuidos en tres continentes (Asia, Oceanía y América), esta configuración geográfica abarca tanto las costas como múltiples islas insulares distribuidas ampliamente por toda la región (Fig. 1) [23]. Por su parte, el puerto de Buenaventura se destaca por su localización, al suroeste de Colombia, permitiéndole acceder desde la cuenca a las principales rutas marítimas que conectan el planeta de norte a sur y de oriente a occidente [6]. Según el Ministerio de Transporte [8], el puerto de Buenaventura transporta alrededor de 18 millones de toneladas anuales y es el puerto con mayor comercio exterior en Colombia, moviendo un 44% del total de carga nacional y contribuyendo significativamente al PIB nacional.

3.2 Fuentes de información

Se recopiló información sobre el puerto de Buenaventura y los principales puertos de la cuenca del Pacífico, tomando como año base 2019, dada la disponibilidad de datos en fuentes oficiales e internacionales especializadas, lo cual permite un análisis comparativo, relacionados en la Tabla 1. Se consideraron indicadores económicos y operativos, entre los que se incluyeron el movimiento de TEU, el índice de conectividad portuaria (LSCI) y el índice de conectividad

marítima bilateral (LSBCI), con el fin de evaluar el rendimiento y la integración de cada puerto en las redes globales. Además, se identificaron las rutas marítimas comerciales activas a través del análisis operativo de las rutas establecidas por las siete principales navieras (MSC, Maersk, CMA CGM Group, COSCO Group, Hapag-Lloyd, ONE y Evergreen Line), que concentran aproximadamente el 77% del mercado de portacontenedores, aplicando la regla de Pareto para focalizar el análisis en los actores más representativos.

Tabla 1.
Fuentes de información empleada.

Información	Fuente	Año
Información espacial, física y funcional de los principales puertos del mundo.	World Port Index	2019
Índice de Conectividad del Transporte Marítimo de Línea (LSCI)	Naciones Unidas en la esfera del comercio y el desarrollo (UNCTAD)	2019
Índice de conectividad bilateral del transporte marítimo de línea (LSBCI)	Naciones Unidas en la esfera del comercio y el desarrollo (UNCTAD)	2019
Límite del Océano Pacífico y sus subdivisiones	Organización Hidrográfica Internacional (IHO)	2002
Número total de contenedores manipulados, por país, en unidades equivalentes a veinte pies (TEU)	Naciones Unidas en la esfera del comercio y el desarrollo (UNCTAD)	2019

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.

Métricas espaciales implementadas en el grafo.

Ec	Modelo	Variables
1	$\beta = a/n$	Donde (a) son los arcos y (n) representan los nodos, varía entre 0 y 1 y (g) los arcos sin conexiones.
2	$\gamma = a/((n(n-1))/2)$	Donde (μ) corresponde a el número ciclomático y (n) los nodos.
3	$\mu = a - (n - 1) - g$	Donde r_{v1v2} es la cantidad de caminos más cortos que conectan v1 con v2; $r_{v1v2}(v)$ la cantidad de caminos más cortos que conectan v1 con v2 y pasan por v.
4	$\alpha = \mu/(2 \cdot n - 5)$	En el denominador están incluidas las tripletas abiertas y cerradas.
5	$I_v = \sum_{\substack{v1,v2 \\ v1 \neq v \\ v2 \neq v}} \frac{r_{v1v2}(v)}{r_{v1v2}}$	Donde v vértices adyacentes conectados por arista y n_v cantidad de vértices que son vecinos del vértice v.
6	$C_a = \frac{\# \text{Tripletas cerradas}}{\# \text{Tripletas totales}}$	Donde x_i es el valor del componente i para la conexión entre A y B.
7	$C_{av} = \frac{\#v}{n_v(n_v - 1)}$	
8	$LSBCI_{AB} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \left(\frac{x_i - \min(x_i)}{(x_1) - \min(x_i)} \right)$	

Fuente: Elaboración propia.

Buenaventura en función de su accesibilidad relativa, su rol como nodo intermedio en las rutas marítimas y su conectividad dentro del sistema portuario regional. El grafo resultante permitió el análisis comparado de la competitividad portuaria abordado en las secciones posteriores.

Se generó la matriz de carga de arcos, donde los valores representan la media de los TEU transportados entre dos países multiplicado por la conectividad entre estos dos. A partir de esto se generó el porcentaje inverso de la carga de arcos lo cual permitió crear la matriz de Shimbeld de caminos mínimos para llegar de un nodo a otro sin estar conectados directamente.

En primer lugar, se estimó la conectividad de redes basada en teoría de grafos, la cual, por medio de la codificación topológica de redes, en conjunto de la evaluación de características intrínsecas de la misma, con el fin de identificar ubicaciones estratégicas para analizar conceptos como el rendimiento de una red conceptual de transporte, a través de estructuras simples representativas [1]. Para esta red se calculó el índice Beta (β) (Ec. 1), que representa la tasa de aumento de la conectividad de un grafo a medida que se le añaden arcos interconectados. También se estimó el índice Gamma (γ) que relaciona el número de arcos existentes en un grafo con el número máximo que puede tener (Ec. 2). Así mismo se consideró el número ciclomático que representa el número de circuitos que presenta la red (Ec. 3). Finalmente se estimó el índice Alpha (α) que relaciona el número de circuitos del grafo (μ) y los circuitos que existirán en caso de tratarse de un grafo completo (Ec. 4).

Por otro lado, se consideró el indicador de centralidad de intermediación (Ec. 5) que se basa en la identificación de las rutas más cortas entre los vértices del grafo. Este calcula el promedio de todas las rutas mínimas que pasan por un vértice específico en relación con el total de caminos más cortos posibles. De igual forma, se estimó el coeficiente de agrupamiento (Ec. 6 y 7) que mide la tendencia de los nodos para agruparse y puede medirse tanto a nivel global como local para cada nodo. Esta medida se basa principalmente en tripletas o triángulos, abierta cuando está

conectada por dos aristas y cerrada cuando está conectada por tres aristas. Las métricas consideradas se relacionan en la Tabla 2.

3.7 Evaluación de escenarios

Se tomaron dos escenarios de conectividad territorial para representar variaciones de la conectividad frente a los cambios físicos y operacionales de la red. Los dos escenarios corresponden a la franja y la ruta la cual es implementada por la naviera “Cosco Shipping” que busca conectar China con algunos países de la costa pacífica de Centroamérica y Sudamérica, en la cual están incluidos México, Colombia, Ecuador y Perú [24]. Aquí se calculó el índice LSBCI (Ec. 8) para posteriormente estimar la conectividad de aquellos países que pertenecen a esta ruta antes de la nueva conexión entre Buenaventura y México y se calculó de nuevo para todos los países con esta nueva conexión.

El índice LSBCI calculado constituye una variable proxy que permite analizar cómo varía la conectividad en la red frente a nuevos escenarios que alteran su estructura. Este índice se calcula a partir de cinco componentes: el número de transbordos, el número de países que pueden ser alcanzados desde A y desde B con un solo transbordo, el número de navieras, la frecuencia del servicio y la cantidad de TEU transportados entre el par de países A y B.

4 Resultados

4.1 Reducción de dimensionalidad del ACP

La Dimensión 1 (24.3% de la varianza) se asocia principalmente con variables de infraestructura portuaria, como el tamaño del puerto, la profundidad del canal y el tamaño máximo de embarcaciones, por lo que se usa como eje X. La Dimensión 2 (14.2%) está relacionada con servicios portuarios, como

Tabla 3.

Descripción de las variables analizadas en el PCA

Variable	Descripción
Tamaño del puerto	Se establece teniendo en cuenta factores, como superficie, tipo de infraestructura y espacio disponible en los muelles.
Grado de protección (contra viento, oleaje y mar)	En la zona en la que se llevan a cabo las operaciones portuarias habituales, generalmente en los muelles, también se especifica el nivel de protección en zona de fondeo.
Profundidad del canal	Se refiere a la profundidad en el canal principal, presentada en intervalos de 5 pies (1.5 metros), basándose en el datum de la carta náutica.
Tamaño máximo de buque permitido	Capacidad del puerto para recibir embarcaciones, siendo 500 pies (152.4 metros) de eslora el tamaño máximo permitido. Además, la letra "M" señala que el puerto puede albergar barcos de menos de 500 pies (152.4 metros).
Puerta de despacho de aduanas y migración	Es un puerto en el que una embarcación puede ingresar y gestionar la descarga de mercancías extranjeras y el desembarco de personal.
Carga en muelle	Hace referencia a la zona en la que se realizan las operaciones portuarias habituales de carga y descarga.
Grúas	Especifica la disponibilidad de grúas, el tipo de cada una y su capacidad de carga expresada en toneladas.
Servicios	Indica si los servicios portuarios estándar están disponibles.

Fuente: Elaboración propia.

carga/descarga y grúas. En el análisis de componentes principales (PCA), PC1 refleja la disponibilidad de servicios portuarios clave, mientras que PC2 agrupa aspectos técnicos y de soporte. Aunque ambas dimensiones incluyen variables de servicios, las de infraestructura influyen más en PC1, y las de servicios, en PC2. Por ello, se seleccionaron solo las variables más representativas para facilitar la interpretación del análisis, descritas en la Tabla 3.

4.2 Parámetros para seleccionar los puertos homólogos

Al realizar la selección de los puertos homólogos para la red, se utilizó el “Z Score” para filtrar los países y una diferencia respecto al puerto de interés el cual es Buenaventura (Fig. 3a).

Después de aplicar el Z-Score (Fig. 3b) en la base de datos se obtuvo una diferencia significativa mayor a la media de los TEU transportados para algunos países como Estados Unidos, Singapur, Malasia, Japón, Corea del Sur y Hong Kong.

Para la selección de los puertos homólogos al puerto de Buenaventura se obtuvo como resultado que hay 6 países que no cumplen con la condición de puertos homólogos y son los mismos mencionados anteriormente. Los puertos mencionados tienen una diferencia respecto a Colombia menor a -1 y aquellos que no están en el rango (-1, 1) no cumplen con la condición

para pertenecer a un puerto homólogo a Colombia y no pertenecen al 68,27% de datos con comportamiento normal o típico.

4.3 Creación del grafo y estimación de indicadores para los diferentes escenarios

4.3.1 Estimación de indicadores estructurales

En la estimación de los indicadores se obtuvieron resultados tanto estructurales de la red como de cada uno de los nodos y enlaces. Dentro de los resultados después de calcular los indicadores estructurales para la red general se encontró que el índice beta es mayor en el escenario del año 2019 respecto a los demás escenarios. Este indicador nos dice como está en cuanto a conectividad la red en general mediante la relación entre los nodos y los enlaces, lo cual sugiere que entre más cantidad de enlaces tenga una red, esto implica mayor conectividad. Otro de los aspectos que se tuvo en cuenta es que el índice gamma es directamente proporcional al número de arcos e inversamente proporcional al número de nodos lo cual es reflejado en el cambio de estos valores para los diferentes escenarios.

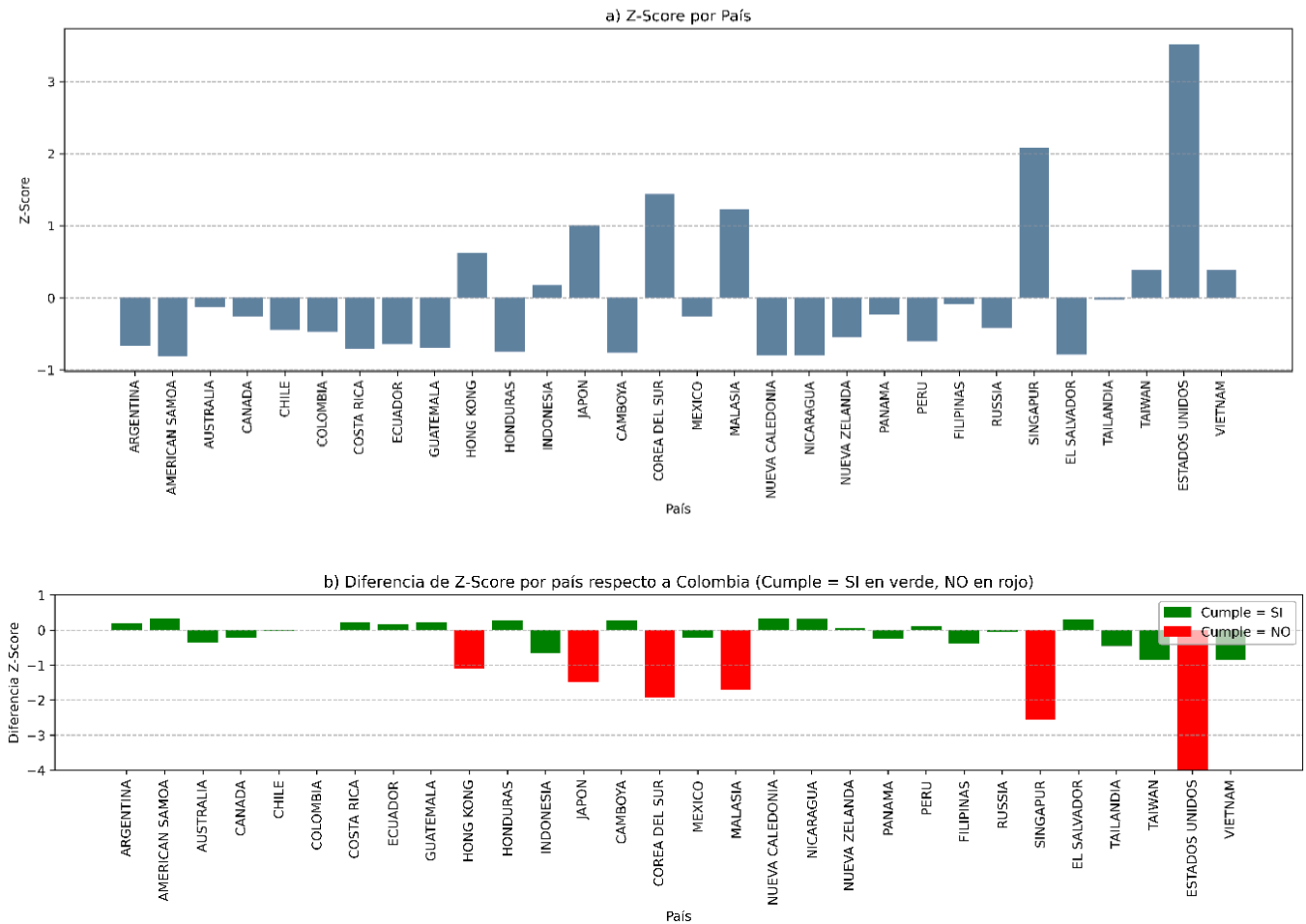


Figura 3. a) Z-Score por país y b) criterio de selección de puertos homólogos
Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Estimación de indicadores individuales por país

Se presentan los resultados asociados a los indicadores de centralidad de intermediación y el coeficiente de agrupamiento para todos los países de la red perteneciente al escenario principal del año 2019 y para los demás escenarios (Tabla 4).

Los resultados están representados gráficamente mediante georreferenciación y se aplicaron rangos específicos para clasificar estos indicadores y a su vez los enlaces. Para aquellos países que su centralidad y agrupamiento es menor a 0.33 se considera bajo, para los que el resultado de sus indicadores está

Tabla 4.
Resultado de las variables estimadas para los diferentes escenarios

Puerto	Teus	Escenario 2019		Ruta de la Seda (Sin conexión Colombia-México)		Ruta de la Seda (conexión Colombia-México)	
		Centralidad	Agrupamiento	Centralidad	Agrupamiento	Centralidad	Agrupamiento
Argentina	1833964	0,88	0,00				
Samoa Americana	42102	0,65	0,00				
Australia	8778913	1,06	0,10				
Canadá	7000133	0,83	0,33				
Chile	4641633	0,79	1,00				
Buenaventura (COL)	4316862	0,75	0,67	0,00	1,00	0,67	0,67
Costa Rica	1300785	0,79	1,00				
Ecuador	2194042	0,79	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00
Guatemala	1529010	0,79	0,50				
Honduras	790707	0,65	0,00				
Indonesia	12615422	0,87	0,00				
Camboyua	639211	0,79	0,00				
México	7113878	0,97	0,27	0,00	0,00	0,00	1,00
Nueva Caledonia	111875	0,65	0,00				
Nicaragua	175370	0,65	0,00				
Nueva Zelanda	3430977	0,79	1,00				
Panamá	7346859	1,21	0,32				
Perú	2677239	0,79	0,60	0,67	0,33	0,00	0,67
Filipinas	9333428	0,87	0,33				
Rusia	4967133	0,65	0,00				
El Salvador	249472	0,80	0,00				
Tailandia	10130294	0,79	0,00				
Taiwán	15298285	0,97	0,33				
Vietnam	15297028	1,08	0,10				

Fuente: Elaboración propia.

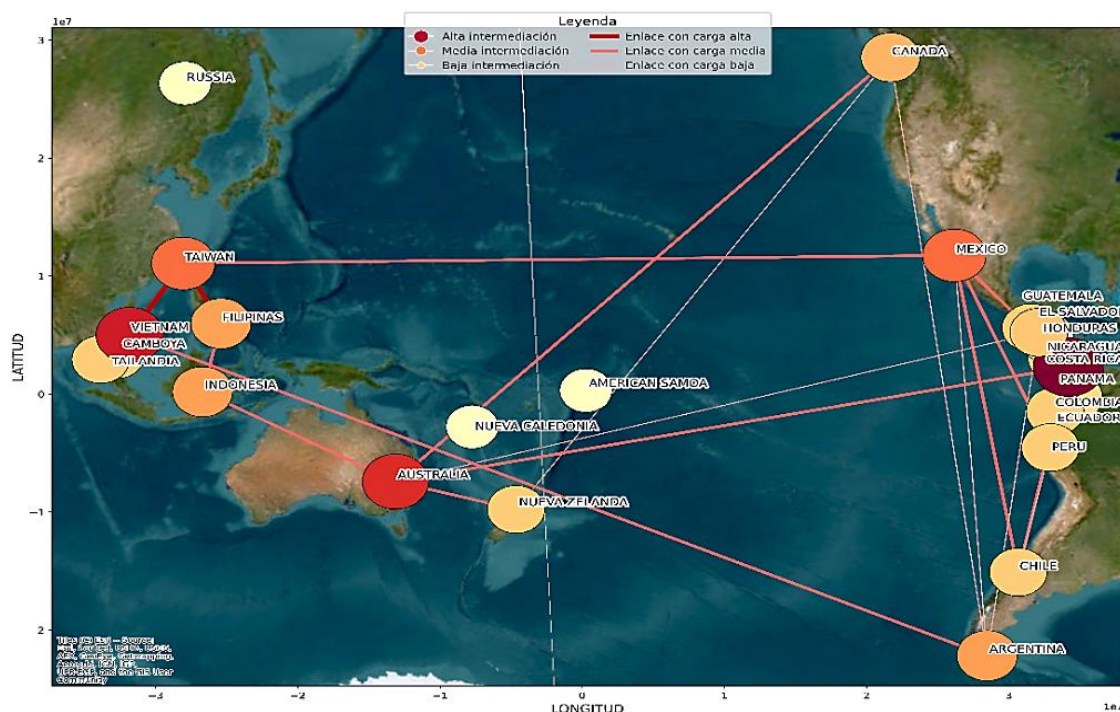


Figura 4. Centralidad de intermediación de cada nodo
Fuente: Elaboración propia.

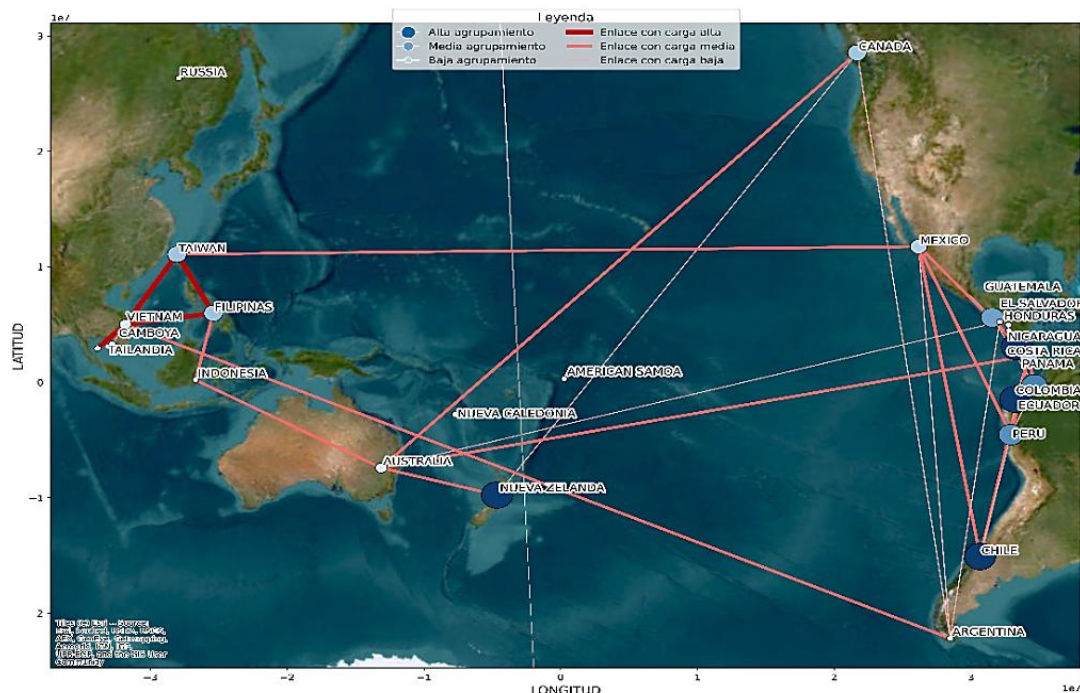


Figura 5. Coeficiente de agrupamiento para cada nodo
Fuente: Elaboración propia.

entre 0.33 y 0.66 se considera medio y para los que su valor es mayor a 0.66 se consideran países con alta intermediación y agrupamiento. Por otra parte, las cargas de los arcos también se clasificaron según tres rangos que son; carga baja para los enlaces entre 1 y 1695155.5, carga media para enlaces entre 1695155.5 y 3390309.9 y carga alta para enlaces entre 3390309.9 y 5085464.4.

Se presenta la centralidad de intermediación para todos los países de la red donde se puede evidenciar la diferencia entre cada uno y resaltando los países con mayor centralidad (Fig. 4) los cuales son; Vietnam, Australia, Taiwán, México y Panamá. Por otro lado, el resultado para los países pertenecientes a la “franja y la ruta” pero sin incluir la nueva conexión entre Colombia y México evidencia que Perú es el país con mayor centralidad de intermediación con mucha diferencia de los demás. Del mismo modo, el resultado para el otro escenario con la nueva conexión entre Colombia y México dio como resultado que Colombia es el país con mayor centralidad de intermediación y aunque Perú tiene la misma cantidad de enlaces, Colombia es el país con mayor cantidad de caminos cortos para llegar de un nodo a otro.

Al calcular el coeficiente de agrupamiento para cada país de la red general (Fig. 5), se evidenció que no precisamente los países más centralizados son los mejor agrupados y en este caso los países con mayor agrupamiento son; Nueva Zelanda, Chile, Ecuador y Costa Rica. Por otro lado, para los países del primer escenario sin la nueva conexión entre Colombia y México se obtuvo que los países con mayor agrupamiento son Ecuador y Colombia debido a su cercanía entre sí. Así mismo, cambió el agrupamiento para el segundo escenario debido al nuevo enlace entre Colombia y México en donde los países mejor agrupados son Ecuador y México.

5 Discusión

A diferencia de otros estudios, como el caso del análisis de los puertos de las Islas Canarias [1], el cual se basa fundamentalmente en datos cuantitativos secundarios que permiten una caracterización detallada del estado actual de la red portuaria local, el presente trabajo incorpora herramientas metodológicas complementarias como el análisis de componentes principales (PCA) y la ley de Pareto, con el objetivo de integrar elementos tanto cualitativos como estratégicos. Esta combinación metodológica busca ofrecer una visión más amplia y contextualizada del entorno competitivo del puerto de Buenaventura.

En cuanto a los resultados, existen diferencias derivadas del alcance geográfico de cada estudio. Mientras que el caso de [1] se enfoca en una escala local entre los puertos de Las Palmas y Santa Cruz de Tenerife, el presente estudio adopta una perspectiva regional que abarca toda la cuenca del Pacífico, identificando cuatro nodos principales de concentración-distribución: Panamá, México, Australia y Vietnam. Al igual que el puerto de las Las Palmas, Panamá y Vietnam presentan altos niveles de centralidad. Sin embargo, este trabajo incorpora más indicadores de teoría de grafos, permitiendo una caracterización robusta de estructura la red marítima analizada.

Resulta pertinente comparar este estudio con el trabajo [25], en el que se analizó el impacto de la reapertura del Canal de Suez durante la década de 1970. En dicho caso, se observó cómo el restablecimiento de esta ruta estratégica propició una red marítima más equilibrada entre Europa y Asia, permitiendo una redistribución del tráfico marítimo global. En contraste, el presente estudio evalúa el efecto de la apertura del puerto de

Chancay, que representa un nodo emergente con potencial para generar beneficios logísticos significativos para Perú.

La apertura del puerto de Chancay incorporaría un nuevo nodo portuario de alto nivel en el Pacífico sur, comparable al “nodo clave” descrito en el trabajo [10]. Este nodo tendría el potencial de redistribuir los flujos comerciales, optimizando la conexión de rutas con Asia y modificando la estructura actual de la red marítima. Con ello, podría superar las limitaciones logísticas y de conectividad que caracterizan a la configuración vigente [10].

Los resultados muestran que el índice beta es directamente proporcional con el número de enlaces, lo que confirma que la densidad de conexiones es clave para optimizar la red [1]. Por otra parte, la centralidad de intermediación, calculada a partir de la matriz de Shimmel, evidenció cambios estructurales significativos: en el primer escenario, Perú registraba la mayor centralidad (0,67), pero tras la conexión directa entre Colombia y México, esta pasó a 0, mientras que Colombia alcanzó el valor máximo (0,67), reforzando su papel estratégico [6]. Esto respalda lo planteado por [1] sobre cómo modificaciones puntuales en la estructura de la red pueden alterar jerarquías y flujos.

El coeficiente de agrupamiento también varió según la configuración de los enlaces, con valores heterogéneos en la red general y un valor uniforme de 1 en el escenario de conectividad total, indicando que cada nodo está directamente conectado con todos los demás, formando grupos completamente cerrados. Este resultado coincide con lo planteado por [2], quienes señalan que la interconexión directa entre todos los puntos de una red maximiza su cohesión y eficiencia operativa.

Asimismo, resulta pertinente considerar que, si bien el presente estudio se enfoca principalmente en indicadores de conectividad, la competitividad portuaria también está condicionada por factores logísticos internos y de operación. Tal como señalan [26], la identificación y superación de barreras logísticas puede potenciar la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta de los puertos. Por ello, un siguiente paso de investigación podría integrar indicadores logísticos junto a los de conectividad, para obtener una visión más integral del desempeño portuario y proponer estrategias que optimicen tanto las redes marítimas como las operaciones internas.

6 Conclusiones

El presente estudio evaluó la conectividad portuaria y su impacto en la competitividad del puerto de Buenaventura en el contexto de la cuenca del Pacífico, estructurando una metodología basada en el análisis de redes espaciales y en la estimación de indicadores derivados de la teoría de grafos. Esta metodología permitió establecer relaciones cuantitativas entre el grado de conectividad y la posición competitiva de Buenaventura respecto a sus puertos homólogos. No obstante, el análisis presenta limitaciones derivadas de la disponibilidad de información, ya que se trabajó con datos del año 2019, con cobertura cuantitativa y cualitativa limitada para algunos puertos, centrado en la carga contenerizada y sin incluir variables logísticas internas.

La caracterización de factores físico-espaciales y operativos evidenció que, si bien Buenaventura cuenta con ventajas geográficas y de infraestructura, su nivel de centralidad y

accesibilidad en la red regional es inferior al de nodos estratégicos como Panamá o México. Este hallazgo confirma que la competitividad portuaria no depende únicamente de la capacidad instalada, sino también del posicionamiento en la red marítima y de la integración en rutas clave.

Por otro lado, la estimación de indicadores como el índice beta, gamma, centralidad de intermediación y coeficiente de agrupamiento permitió identificar patrones estructurales que condicionan la conectividad regional, demostrando que pequeñas modificaciones en la red pueden alterar significativamente el rol estratégico de un puerto, incrementando su intermediación y mejorando su integración con mercados internacionales.

Finalmente, la evaluación de escenarios demostró que la incorporación de Buenaventura en rutas estratégicas, como la conexión directa con México, podría incrementar su centralidad y competitividad, reduciendo distancias logísticas y diversificando flujos comerciales. No obstante, alcanzar una conectividad óptima requiere complementar las mejoras en enlaces marítimos con estrategias logísticas internas, de modo que los beneficios de una mayor integración se traduzcan en un mejor desempeño operativo y económico.

Bibliografía

- [1] Tovar, B., Hernández, R., and Rodríguez-Déniz, H., Container port competitiveness and connectivity: the Canary Islands main ports case. *Transport Policy*, 38, pp 40–51, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.11.001>
- [2] Oportus, O.S., and Echeverría, P.C., External connectivity analysis of the ports of Chile as a factor of competitiveness. *Ingeniare*, 20(1), pp 25–39, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0718-33052012000100004>
- [3] Rodríguez, D., García, C., and Jaramillo, C., La accesibilidad terrestre a los puertos marítimos de Colombia. Una aproximación desde la equidad territorial. *En Entorno Geográfico*, 15, pp. 8–46, 2018.
- [4] García, N., Adenso-Díaz, B., and Calzada-Infante, L., Identifying port maritime communities: application to the Spanish case. *European Transport Research Review*, 13(1), 36, 2021.
- [5] Cantillo, J., Cantillo-García, V., Cantillo, V., and Arellana, J., Port choice using aggregate open data: an application to Colombian port zones. *Maritime Economics and Logistics*, 25(3), pp 520–548, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00235-9>
- [6] Castro-Castell, O., Soler-Niño, E., and Umaña-Castellanos, R., Asimetrías entre el puerto de Buenaventura y el puerto de Cartagena para el año 2015. *Infraestructura Portuaria en Colombia*, 19(32), pp 87–106, 2017.
- [7] Jenss, A., Global flows and everyday violence in urban space: the port-city of Buenaventura, Colombia. *Political Geography*, 77, Art. 102113, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2019.102113>
- [8] Ministerio de Transporte de Colombia. Boletín estadístico, tráfico portuario en Colombia, pp 1–45, [en línea]. 2022. Disponible en: https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2022/Febrero/Puertos_07/BOLETIN-TRAFICO-PORTUARIO-2022.pdf
- [9] Martínez, J.H., Costes de transporte y conectividad en el comercio internacional entre la Unión Europea y Latinoamérica. pp 1–59, 2007.
- [10] Rizaldi, A., Muzwardi, A., Santoso, E., Iffan, M., and Fera, M., The strategic development of maritime connectivity in the border area in Indonesia. *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 10(4), pp. 701–711, 2023.
- [11] Arrieta-Tejada, A.C., Cure-Gaviria, J.S., and Pérez-Buelvas, P.C., Análisis teórico de la conectividad portuaria, 2017.
- [12] Liu, C., Wang, J., and Zhang, H., Spatial heterogeneity of ports in the global maritime network detected by weighted ego network analysis. *Maritime Policy and Management*, 45(1), pp 89–104, 2018.
- [13] Rodrigue, J., The geography of maritime ranges: interfacing global maritime shipping networks with hinterlands. *GeoJournal*, 87(2), pp 1231–1244, 2022.

- [14] Del-Rosal, I., Trade effects of liner shipping across world regions. *Maritime Business Review*, 9(1), pp. 2–16, 2024.
 - [15] Marei, N., and Ducruet, C., The regionalization of maritime networks: evidence from a comparative analysis of maritime basins. *Maritime Networks*, pp. 330–350, 2015.
 - [16] Tovar, B., and Wall, A., The relationship between port-level maritime connectivity and efficiency. *Journal of Transport Geography*, 98, art. 103213, 2022.
 - [17] Asariotis, R., Benamara, H., Hoffmann, J., Misovicova, M., Núñez, E., Premti, A., Sitorus, B., Valentine, V., and Violh, B., El transporte marítimo en 2010, [en línea]. 2011. Disponible en: <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789213634493/read>
 - [18] UNCTAD, Review of Maritime Transport, pp. 1–26, 2023. DOI: <https://doi.org/10.18356/9789213584569c006>
 - [19] Ji, Z., Wu, X., Chen, X., Zhou, W., and Song, M., Finding green performance targets globally closest to management goals for ports experiencing similar circumstances. *Resources Policy*, 85, art. 103897, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103897>
 - [20] Tongzon, J.L., Determinants of port performance and efficiency. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 29(3), pp. 245–252, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0965-8564\(94\)00032-4](https://doi.org/10.1016/0965-8564(94)00032-4)
 - [21] Notteboom, T., and Rodrigue, J.P., Maritime container terminal infrastructure, network corporatization, and global terminal operators: Implications for international business policy. *Journal of International Business Policy*, 6(1), pp 67–83, 2023.
 - [22] Rodrigue, J.P., and Notteboom, T., Regionalización basada en el foreland: integración de los centros intermedios con el hinterland portuario. *Investigación en Economía del Transporte*, 27(1), pp 19–29, 2010.
 - [23] Nunn, P.D., Classifying Pacific islands. *Geoscience Letters*, 3(7), art. 8, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40562-016-0041-8>
 - [24] COSCO, Shipping Lines inauguró el servicio WSA5 con recalada en el Puerto de Buenaventura y conexión con Shanghai y Chancay, COSCO SHIPPING Lines News Center, [en línea]. 2025. Disponible en: https://en.coscoshipping.com/col/col6923/art/2025/art_c0cc7b98fe13464aa473c271ede75adf.html
 - [25] Saito, T., Shibasaki, R., Murakami, S., Tsubota, K., and Matsuda, T., Global maritime container shipping networks 1969–1981: emergence of container shipping and reopening of the Suez Canal. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), art. 602, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse10050602>
 - [26] Sarkar, B.D., and Shankar, R., Understanding the barriers of port logistics for effective operation in the industry 4.0 era: Data-driven decision making. *International Journal of Information Management Data Insights*, 1(2), art. 100031, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2021.100031>
- M.N. Collazos-Acosta**, Investigadora del Grupo de Investigación en Transporte, Tránsito y Vías (GITTV) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Su trabajo se centra en el análisis espacial aplicado al estudio de sistemas de transporte marítimo y redes logísticas, con especial énfasis en la evaluación de la conectividad y accesibilidad portuaria desde una perspectiva territorial. Ha participado en investigaciones orientadas a caracterizar patrones espaciales de flujos de carga y a modelar la estructura de redes mediante indicadores topológicos y técnicas de teoría de grafos, con el propósito de fortalecer la planificación y la competitividad portuaria. ORCID: 0009-0001-4763-0785
- J.F. Muñoz-Rebolledo**, Investigador del Grupo de Investigación en Transporte, Tránsito y Vías (GITTV) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Su actividad investigativa se enfoca en el análisis espacial de sistemas de transporte marítimo y logística portuaria, abordando la conectividad y la accesibilidad territorial como factores determinantes de la competitividad. Ha desarrollado estudios sobre redes portuarias utilizando métricas de teoría de grafos y análisis de componentes principales para identificar configuraciones espaciales y funcionales que optimicen la integración de los puertos en el sistema logístico global. ORCID: 0009-0002-4048-150X
- J. Gallego-Méndez**, Ing. Topográfico, Sp. en Geomática de la Universidad del Valle. Docente e investigador de la Escuela de Ingeniería Civil y Geomática y miembro del Grupo de Investigación en Transporte, Tránsito y Vías (GITTV). Su labor académica e investigativa se centra en el análisis espacial aplicado a sistemas de transporte, con énfasis accesibilidad y conectividad territorial mediante sistemas de información geográfica, análisis de redes y modelación geoespacial. Ha liderado proyectos de movilidad urbana, redes portuarias y plataformas geográficas para la gestión de datos territoriales, integrando metodologías cuantitativas y herramientas de análisis geográfico. ORCID: 0009-0006-6046-0713
- C. Jaramillo-Molina**, Ing. Civil de la Universidad del Valle, Dr. en Ingeniería de Transportes de la Universidad Politécnica de Valencia (España) y PhD. en Planificación Urbana y Uso del Suelo en la Universidad de Granada (España). Es profesor titular de la Escuela de Ingeniería Civil y Geomática de la Universidad del Valle e investigador y director del Grupo de Investigación en Transporte, Tránsito y Vías (GITTV). Sus líneas de investigación se centran en la accesibilidad y la equidad territorial, el análisis espacial aplicado al transporte, la conectividad y la planificación urbana, integrando metodologías cuantitativas y análisis geoespacial para el estudio de la movilidad y su relación con el uso del suelo. ORCID: 0000-0002-8820-2314