

DISEÑO DE UN MODELO DE SIMULACION UTILIZANDO DINAMICA DE SISTEMAS PARA VALIDAR ESTRATEGIAS DE COMPETITIVIDAD DE PUERTO BRISA EN LA GUAJIRA

DESIGN OF A SIMULATION MODEL USING SYSTEMS DYNAMICS TO VALIDATE COMPETITIVENESS STRATEGIES OF PUERTO BRISA IN LA GUAJIRA

Resumen

La competitividad portuaria cada día toma mayor importancia, debido a la voraz competencia que se ha desatado a raíz del crecimiento de este sector de la economía mundial, razón por la cual los puertos están buscando estrategias de competitividad que les permita un posicionamiento y mayor participación en el mercado portuario, el objetivo de esta investigación está encaminado a identificar factores de competitividad que permita trazar estrategias que puedan ser validadas a través de un modelo utilizando la dinámica de sistemas en Puerto Brisa ubicado en el departamento de La Guajira en el norte de Colombia.

Palabras claves: Modelo de simulación, Dinámica de sistemas, Estrategias de competitividad, Puertos, Puerto Brisa

Summary

Port competitiveness takes on greater importance every day, due to the voracious competition that has been unleashed as a result of the growth of this sector of the world economy, which is why ports are looking for competitiveness strategies that allow them a positioning and greater participation in the port market, the objective of this research is aimed at identifying competitiveness factors that allow strategies to be drawn up that can be validated through a model using system dynamics in Puerto Brisa located in the department of La Guajira in northern Colombia.

Keywords: Simulation model, System dynamics, Competitiveness strategies, Ports, Puerto Brisa

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La economía portuaria está teniendo gran auge al punto que se ha duplicado esta actividad, causando cuellos de botella en puertos y servicios portuarios [1] y [2]; en Colombia por su parte, estudios indican que esta actividad seguirá creciendo en los próximos años, por otra parte, se ha demostrado que el 85% del comercio se lleva a cabo por vías marítimas a través de sus puertos [3], el país cuenta con una infraestructura portuaria de cerca de 150 puertos en sus costas marítimas y fluviales, gran parte de estos se encuentran en la costa atlántica colombiana, los cuales tienen una participación del movimiento de carga cercana al 70%.

La Guajira, es el departamento más septentrional de Colombia y posee una ubicación estratégica importante, sin embargo, no representa una gran participación en movimiento de carga en el país, el departamento cuenta con tres puertos: Puerto Bolívar, Pensoport y Puerto Brisa; el primero dedicado exclusivamente al transporte del carbón extraído de las minas del Cerrejón en La Guajira, el segundo, es un puerto muy artesanal, sin infraestructura tecnológica alguna y solo utilizado para el intercambio comercial con las Antillas, el tercero, es un puerto multimodal con capacidad instalada de equipos y manejo de carga de cerca de 32 millones de toneladas por año (según documento “De Colombia para el mundo” del 20 de mayo de 2017), y a 2022, sin embargo, los puertos de La Guajira registraron una actividad portuaria de cerca del 19 mil

toneladas por año (los tres puertos), incluso, mucho menor que en los años 2017 y 2018, lo cual refleja una pérdida de la participación en la actividad portuaria como lo muestra la siguiente gráfica, elaborada con datos suministrados por [4].



Gráfico 1: Actividad portuaria por zonas 2017-2022. **Santa Marta año 2021 ene-sep
Fuente: Elaboración propia

La Guajira pese a ser un departamento fronterizo y de Zona Aduanera Especial, con una posición geográfica estratégica y en cercanías del canal de Panamá, no ha logrado desarrollar sus puertos y posicionarlos en el sector, debido a que su actividad portuaria no es diversificada, ya que el 98.2% de su movimiento de carga obedece al transporte del carbón y en comparación con los puertos ubicados en la región caribe como Santa Marta, Cartagena y Barranquilla, los cuales manejan cerca del 70% de la actividad portuaria diversificada del país, según [4], no se están explotando esas ventajas competitivas.

Pero lo más preocupantes radica en que el mismo boletín revela que a 2021 Ciénega presentó el 52.4% de la movilización de carbón, mientras que los puertos de La Guajira solo el 38.3%, lo cual refleja una pérdida en la participación de las exportaciones de carbón, esto si se tiene en cuenta que gran parte de este mineral es extraído de La Guajira y el Cesar, por lo que surge la necesidad de investigar sobre este fenómeno, con miras a cerrar brechas y aumentar la competitividad de estos puertos.

Puerto Brisa por su parte, fue creado como puerto multipropósito, iniciando operaciones en el año 2015 con la meta de convertirse a mediano plazo, según su portal institucional, “en un Centro Logístico de distribución de carga, comercialización y mercadeo de productos y materia prima de importación y exportación, generando una gran dinámica en la oferta y demanda de los recursos a nivel local, regional y nacional”; sin embargo, a la fecha no ha logrado desarrollarse como tal, ya que a 2022 su actividad portuaria refleja una movilización de carga de 1.782.093 toneladas, lo que representa el 1,8% de la carga movilizada en Colombia, siendo el carbón el 94,6% de su movilización de carga y solo el 5,4% de carga general, cifras que no

ayudan al cumplimiento de su meta como puerto multipropósitos, lo cual podría entenderse como baja competitividad en el mercado portuario.

Por todo lo anterior, se hace necesario hacer un análisis de la competitividad de Puerto Brisa que permita recaudar información pertinente con el fin de diseñar estrategias que sean validadas mediante un modelo de simulación en búsqueda de la competitividad de Puerto Brisa.

I. ESTADO DEL ARTE

Mucho autores han investigado como optimizar la actividad portuaria utilizando diferentes métodos y metodologías, siempre en búsqueda de la competitividad, teniendo en cuenta la voraz competencia producto del crecimiento del sector a nivel mundial, la presente investigación se centra en hacer un análisis de la competitividad de Puerto Brisa frente a puertos como: Contecar, Puerto de Barranquilla, Puerto de Santa Marta, ubicados en la costa atlántica, que permita identificar factores, con el fin de diseñar estrategias que puedan ser modeladas y verificadas en un modelo de simulación haciendo uso de la Dinámica de Sistemas.

El análisis de competitividad ha sido estudiado y aplicado por muchos autores como herramienta para identificar factores de competitividad, es así como, por ejemplo, en [5], se trazaron el objetivo de responder a las preguntas ¿Cuál es la configuración de las condiciones de las ciudades del interior que afecta la competitividad portuaria? ¿Qué condiciones juegan un papel más importante en esto? ¿Cuál es la relación entre estas condiciones?, para lo cual se decidió utilizar una metodología basada en análisis comparativo cualitativo de conjunto difuso (fsQCA), con base en el marco de tecnología-organización-entorno (TOE), con el cual realizaron un análisis de configuración de condición de 21 puertos costeros y sus ciudades del interior en China. Así mismo, [6] utilizó el análisis de competitividad para estudiar el grado de influencia de los factores útiles para identificar la estructura del sistema portuario, con el objetivo de analizar los factores que influyen en la competitividad de los puertos utilizando el modelo de ecuaciones estructurales (SEM), argumentando que “el sistema de competencia portuaria es un sistema complejo con muchos factores de influencia, y algunos factores de influencia no se pueden medir, por lo que es urgente introducir el modelo SEM y otros métodos de análisis”

Por su parte en [7], exploraron la importancia relativa de los factores que influyen en la competitividad de un puerto de contenedores, la disponibilidad de capacidad y el tamaño y la conectividad de las zonas interiores, con el objetivo de conocer la importancia de los factores que determinan la

competitividad portuaria de contenedores desde la perspectiva de los usuarios y evaluar la competitividad de los principales puertos de contenedores en China continental, Hong Kong, Taiwán y otras ciudades asiáticas, utilizando la metodología de procesos de jerarquía analítica (AHP), en el cual se dirigió a los usuarios del puerto tres grupos jerárquicos: transportistas, transitarios y cargadores. Así mismo, en [8] por ejemplo, llevaron a cabo una investigación centrándose en las terminales de contenedores brasileñas que manejaron contenedores en 2009 para comparar la competitividad portuaria centrada en los indicadores de desembarque, los cuales clasificación diecisiete terminales de contenedores brasileñas en tres grupos distintos, con el objetivo de clasificar estas terminales en diferentes grupos según los criterios competitivos disponibles para los puertos de contenedores en Brasil. Utilizando la metodología análisis de conglomerados jerárquicos, lo cual permitió una fácil comparación de terminales portuarias con diferentes características y limitaciones.

Como es de notar los análisis de competitividad ha hecho un gran aporte en estudiar la competitividad portuaria, identificando factores como: la oferta financiera gubernamental, desarrollo económico, la apertura del mercado, la eficiencia del sistema de recolección, el nivel de modernización, los costos portuarios, la ubicación del puerto, entre otros; igualmente han utilizado muchos métodos para estudiar el análisis de la competitividad como: análisis envolvente de datos (DEA), Análisis comparativo cuantitativo de conjuntos difuso (fsQCA), modelos de ecuaciones estructurales (SEM) o procesos de jerarquías analíticas (AHP), entre otros; los cuales han arrojado buenos resultados.

De la misma manera, el modelado por simulación ha aportado a la competitividad portuaria, es así como en [9], se desarrolló un simulador de transporte marítimo (MarTrans) que integra el modelado basado en agentes, la simulación de eventos discretos, la dinámica del sistema y el análisis de entrada-salida multirregional para ilustrar las relaciones entre los componentes del sistema de transporte por vías navegables interiores y sus impactos económicos asociados, teniendo como objetivo comprender y medir estas relaciones para evaluar los impactos económicos futuros, respaldar las decisiones de inversión en infraestructura y reducir el riesgo. Así mismo, en [10], utilizaron modelos de simulación genérica de eventos discretos con el fin de modelar operaciones portuarias utilizando recursos como camiones, trenes que entran y salen, grúas pórtico, espacios, puertas de seguridad, grúas de muelle, donde la carga cambia de modo de transporte en barco a modo de transporte terrestre y viceversa, se buscaba modelar la ruta de los contenedores desde su llegada y hasta su salida, con el objetivos de

estudiar las operaciones complejas involucradas, así como la utilización de recursos, además, se estudió el resultado del flujo portuario simulando diferentes escenarios.

Por su parte, en [11], utilizaron modelo basado en agentes para suplir la necesidad del puerto de Rotterdam de crear una mejor comprensión de los procesos náuticos portuarios y encontrar una forma de realizar un diagnóstico del impacto de las medidas de mejora, para lo que se trazaron como objetivo, obtener información más cuantitativa sobre los factores y elementos decisivos en los servicios náuticos portuarios y su influencia en el atractivo general del puerto. En [12], utilizaron la simulación de eventos discretos para estudiar la formación de colas antes de que los barcos atraquen en el puerto, así como a la naturaleza basada en eventos de las actividades portuarias, trazándose el objetivo de construir un modelo para ayudar en la planificación de inversiones a largo plazo y las estrategias de toma de decisiones, con el fin de predecir y evaluar la ganancia de rendimiento en el sistema portuario en el contexto de largo plazo. Igualmente en [13], realizaron simulación por eventos discretos en su trabajo de grado con el fin de abordar los problemas se relacionan con la eficiencia de las operaciones manuales y la restricción de espacio, debido a que los puertos se encuentran dentro de la ciudad, y en algunos casos son concesiones del gobierno, por lo que su expansión no es posible más allá de la zona designada, para lo cual se trazaron el objetivo de Simular un puerto marítimo de contenedores modelo basado en los elementos, operaciones y tecnologías aplicadas en la Sociedad Portuaria de Cartagena.

Finalmente, [14] señala que se “han desarrollado varios modelos de simulación en las últimas décadas con diferentes objetivos, pero sus capacidades para representar el tráfico de buques en los puertos de forma realista difieren”. El autor identificó los principales procesos y operaciones de navegación relacionados con la infraestructura náutica portuaria, y revisó y evaluó los modelos de simulación portuaria actuales; y señaló que “los futuros modelos de simulación portuaria deberían incluir los criterios adecuados para una representación del tráfico más realista que permita un adecuado análisis y evaluación de la seguridad y la capacidad portuaria”.

Esta revisión de la literatura revela que los modelos de simulación están siendo utilizados por investigadores en sus estudios de temas logísticos y portuarios tratando de comprender procesos, diagnosticar funcionamiento de las terminales portuarias e incluso para investigar la formación de colas en las terminales, así como estudiar operaciones portuarias, evaluar puertos y tecnología utilizada en ellos; sin embargo, estos no se han ocupado en validar estrategias de competitividad de los puertos utilizando un modelado por

simulación mediante la metodología de la dinámica de sistemas, que como decía [14], permite un análisis y evaluación de la actividad portuaria.

II. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Diseñar un modelo de dinámica de sistemas que permita validar estrategias establecidas a partir de un análisis de competitividad del puerto multipropósitos Brisa de La Guajira frente a otros puertos multipropósitos de la costa atlántica colombiana.

Objetivos específicos

- Identificar los elementos que se deben tener en cuenta en un análisis de competitividad de Puerto Brisa frente a otros puertos multipropósitos de la Costa Atlántica colombiana.
- Determinar los objetivos, variables y restricciones para analizar la competitividad de Puerto Brisa frente a otros puertos multipropósitos de la Costa Atlántica colombiana.
- Realizar un análisis de competitividad del puerto multipropósito Brisa de La Guajira frente a los puertos multipropósitos Contecar, Puerto de Barranquilla y puerto de Santa Marta ubicados en la Costa Atlántica colombiana.
- Diseñar estrategias tendientes a mejorar la competitividad de Puerto Brisa
- Estructurar un modelo de simulación utilizando la Dinámica de Sistemas que permita validar las estrategias de competitividad de puerto Brisa.
- Validar el modelo de simulación diseñado.

III. METODOLOGÍA

El presente proyecto está comprometido con la realización de un análisis de la competitividad de Puerto Brisa frente a otros puertos de la costa atlántica colombiana que permita diseñar estrategias de competitividad y validadas bajo un entorno simulado utilizando la Dinámica de Sistemas, la cual según [15] permite enfocar el proceso de modelado en todo un sistema complejo.

Por lo que se plantea para este proyecto en un tipo de investigación mixto, en donde fungen la investigación la descriptiva y empírica, toda vez que se pretende estudiar como está funcionando el puerto en este momento y como podría funcionar mejor manipulando algunas variables con el fin de hacerlo más competitivo.

La investigación descriptiva en [16] “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”, lo

cual se ajusta con lo que se espera en este proyecto, si se tiene en cuenta que éste busca caracterizar los puertos Brisa, Contecar, Puerto de Barranquilla y Puerto de Santa Marta con el fin de conocer su estructura y el comportamiento en el mercado portuario de la Costa Atlántica colombiana.

Por otra parte, [17] menciona, “es aquella tomada de la práctica, analizado y sistematizado por vía experimental mediante la observación reiterada y la experimentación”. En este tipo de investigación se puede enmarcar el estudio de casos mencionado por [18] como, “una investigación empírica que estudia un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto de la vida real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y su contexto no son claramente evidentes”. ahora bien, bebido a que un estudio de caso es una metodología cualitativa diseñada para analizar situaciones donde los fenómenos son poco conocidos [18], por tanto, si se tiene en cuenta que en la metodología de dinámica de sistemas se puede modelar y analizar comportamientos de sistemas complejos, cuyo propósito es la identificación de bucles de realimentación entre las variables del sistema, con el fin de observar sus relaciones, causalidades e influencias dentro de éste; esta metodología se ajusta perfectamente en un estudio de casos; además, cuando son poco conocido los fenómenos. [19] por su parte menciona “se puede comprender que el estudio de caso se enfoca en analizar de manera profunda la naturaleza de una determinada situación o caso, sobre la base de diversas técnicas de investigación, por ejemplo, la entrevista, la observación, entre otros”.

Por todo lo anterior el tipo de investigación será empírica-descriptiva lo que la enmarcaría en una metodología mixta.

Teniendo en cuenta lo anterior y lo objetivos trazados en la investigación, se hace necesario establecer las actividades, materiales y documentos necesarios para el cumplimiento de estos, por lo que para el primer objetivo de tipo descriptivo “Identificar los elementos que se deben tener en cuenta en un análisis de competitividad de Puerto Brisa frente a otros puertos multipropósitos de a Costa Atlántica colombiana”, se revisaran fuentes bibliográficas físicas y digitales de autores, así como entrevistas que permitan caracterizar los puertos con el fin de identificar elementos relevantes a tener en cuenta en la descripción de los procesos portuarios que serán tenidos en cuenta en la simulación.

En relación con los objetivos específicos “Determinar los objetivos, variables y restricciones para analizar la competitividad de Puerto Brisa frente a otros puertos multipropósitos de la Costa Atlántica colombiana” y “Realizar un análisis de competitividad de puerto multipropósito Brisa de La Guajira frente a los puertos multipropósitos Contecar, Puerto de Barranquilla y puerto

de Santa Marta ubicados en la Costa Atlántica colombiana”, se revisarán y tendrán en cuenta posturas de autores que hablen de metodologías para realizar análisis comparativos tales como: El análisis de patrones, el filtrado, el análisis de árboles de decisión y Análisis envolvente de datos (DEA), las cuales son formas de análisis comparativos; sin embargo, en esta investigación se hará un análisis de patrones, el cual consiste en identificar elementos comunes o como dice [20] “En términos más concretos, el Reconocimiento de Patrones como una disciplina científica tiene el objetivo de clasificar objetos en un número específico de categorías o clases”, lo cual permitirá hacer comparaciones de los puertos.

En el cuarto objetivo específico “Diseñar estrategias tendientes a mejorar la competitividad de Puerto Brisa”, para lo cual se tendrá en cuenta en el diseño de estas estrategias los resultados arrojados en los objetivos anteriores.

En el objetivo, “Estructurar un modelo de simulación utilizando la Dinámica de Sistemas que permita validar las estrategias de competitividad de puerto Brisa”, se utilizará como se mencionó antes el estudio de casos enmarcado en la metodología experimental, en el cual se diseñara con el aporte de los objetivos anteriormente mencionados los procesos portuarios para luego, aplicando la dinámica de sistemas, hacer simulaciones con las estrategias diseñadas con el fin de observar y discutir acerca del comportamiento de Puerto Brisa en términos de competitividad.

Por último, para Validar el modelo de simulación diseñado, se tendrá en cuenta las opiniones de expertos, quienes expresarán sus posturas en relación con el modelo propuesto.

REFERENCIA

- [1] H. Okorie, N. Tipi y N. Hubbard, “Analysis of the potential contribution of value-adding services (VAS) to the competitive logistics strategy of ports”. *Maritime Economics and Logistics*. Vol.18. no. 2. pp. 158-173. 2016)
- [2] H. Wei y M. Dong, “Import-export freight organization and optimization in the dry-port-based cross-border logistics network under the Belt and Road Initiative”. *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 130. Pp. 472–484. March 2019
- [3] J. Vilorio, “Ciudades portuarias del Caribe colombiano: propuestas para competir en una economía globalizada”. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana; Economía Regional. Banco de la República. No. 80. pp.1692-3715. Nov. 2006
- [4] Supertransporte “Boletín estadístico Tráfico portuaria en Colombia 2022”, Bogotá, PP. 5-6 febrero 2023.
- [5] Z. Huang, Y. Yang, F. Zhang, “Configuration Analysis of Factors Influencing Port Competitiveness of Hinterland Cities under TOE Framework: Evidence from China”. *Journal of Marine Science and Engineering* Vol.10, no. 10: 1558. Octubre 2022.
- [5] Z. Huang, Y. Yang, F. Zhang, “Configuration Analysis of Factors Influencing Port Competitiveness of Hinterland Cities under TOE Framework: Evidence from China”. *Journal of Marine Science and Engineering* Vol.10, no. 10: 1558. Octubre 2022.
- [6] W. Chen, “Statistical Analysis of Coastal Port Competitiveness Factors Based on SEM Model”. *Journal of Coastal Research*, vol. 103, no SI, pp. 190-193. 2020.
- [7] C. Yuen, A. Zhang, W. Cheung, “Port competitiveness from the users' perspective: An analysis of major container ports in China and its neighboring countries”. *Research in transportation economics*, vol. 35, no 1, pp. 34-40. diciembre 2012.
- [8] A. Cabral, F. De Sousa, “Cluster analysis of the competitiveness of container ports in Brazil”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 69, pp. 423-431. Oct. 2014
- [9] F. Oztanrıseven, H. Nachtmann, “Modeling dynamic behavior of navigable inland waterways”. *Maritime Economics & Logistics*. Vol. 22. pp. 173–195. 2020.
- [10] M. Kotachi, G. Rabadi, M. Obeid, F. Mohammad “Simulation Modeling and Analysis of Complex Port Operations with Multimodal Transportation”. *Procedia Computer Science*. vol 20. Pp. 229 – 234. Sep 2013
- [11] R. Fransen, I. Davydenko, “Empirical agent-based model simulation for the port nautical services: A case study for the Port of Rotterdam”. *Maritime Transport Research*. Vol. 2. 1000400. Nov. 2021.
- [12] O. Kulak, O. Polat, R. Gujjula, R. “Strategies for improving a long-established terminal’s performance: a simulation study of a Turkish container terminal”. *Flex Serv Manuf.* vol. 25, pp. 503–527 (2013). <https://doi.org/10.1007/s10696-011-9128-x>
- [13] S. De La Osa, P. Hoyos, “Modelación y simulación de un puerto marítimo de contenedores basado en las características de operación de la sociedad portuaria de Cartagena” Tesis Doctoral. Universidad de Cartagena. Marzo 2017.
- [14] X. Bellsolà, W. Daamen, T. Vellinga, S. Hoogendoorn, “State-of-the-art of port simulation models for risk and capacity assessment based on the vessel navigational behaviour through the nautical infrastructure”. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. Vol. 5. Issue 5. Pp. 335-347. Oct. 2018.
- [15] H. Álvarez, “A diagnostic investigation and a corrective model for implementing change in response to

- innovation”. Tesis doctoral. University of Missouri-Columbia. Diciembre. 2002.
- [16] C. M. Romero Zúñiga; A. M. Alfaro Fonseca; E. J. Ramirez Freyle. “Mercados potenciales de camarón para exportación en «Corregimiento de Camarones» Distrito Turístico y cultural de Riohacha – Colombia” *Espacios*. vol. 39. N° 33. Abril 2018
- [17] A. Rodríguez Jiménez; A. O. Pérez Jacinto. “Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento”. *Revista EAN*. no. 82. marzo 2017.
- [18] R. K. Yin “Discovering the future of the case study. Method in evaluation”. *Evaluation practice*, vol. 15 no. 3, pp. 283-290. 1994
- [19] D. Salas Ocampo (2021). El estudio de caso. [En línea]. Disponible: <https://investigaliacr.com/investigacion/el-estudio-de-caso/> [Último acceso: 28 04 2023]
- [20] R. Reynaga, & W. Mayta. (2009). Introducción al reconocimiento de patrones. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 3(3), 41-44. Recuperado en 28 de abril de 2023, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2009000100005&lng=es&tlng=es [Último acceso: 28 04 2023].