

Comunidades portuarias. Una oportunidad para la competitividad

Port communities. An opportunity for competitiveness

Ciro Orjuela Pereira¹

Claudia Constanza Gavilán Díaz²

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.31.8937>

RESUMEN

Las comunidades portuarias surgen como una alternativa para impulsar la competitividad del sector productivo en el país. Este artículo pretende contextualizar acerca de estos escenarios de consenso, en los que trabajan de manera conjunta los actores involucrados y se pueden resolver problemas de orden superior en relación con sus cadenas logísticas. En tal sentido, mediante el análisis de multivariantes y simulaciones basadas en algoritmos RL es posible evidenciar los criterios relevantes para exportadores e importadores en la futura puesta en marcha de estas comunidades y el impacto en la eficiencia y la economía en procesos de importación. En el contexto nacional, a través de la caracterización de las necesidades y los perfiles de los exportadores e importadores, en relación con los servicios requeridos para crear la infraestructura necesaria para poner en práctica una comunidad portuaria, se analizaron las características de las operaciones de comercio exterior de Barranquilla a través de un estudio estadístico multivariante, en el que se analizaron trece variables principales de gestión de la cadena y servicios portuarios, tomando en cuenta las recomendaciones de la Asociación Internacional de Sistemas Comunitarios Portuarios de EPCSA (2015) para establecer comunidades portuarias en Colombia, que permitirán flexibilidad y agilizarán los procesos para mejorar la eficiencia operativa de los servicios logísticos en el país. En el contexto internacional se cita un estudio de agentes para corroborar la incidencia de la infraestructura de una comunidad portuaria en la eficiencia e impacto económico de las navieras en su tarea de distribución y entrega de contenedores en operaciones de importación.

Palabras clave: Competitividad, logística, comunidad portuaria, importación, exportación, infraestructura, tecnología.

ABSTRACT

Port communities emerge as an alternative to boost the competitiveness of the productive sector of our country. For this reason, this article intends to contextualize about these consensus scenarios that allow working together among the actors involved and solving higher order problems in relation to their port logistics chains. In this sense, there will be cases of existence, where the implementation of these communities allows progress in the competitiveness agenda. In the context of national through a characterization of the needs and profiles of exporters and importers in relation to the services necessary to create the infrastructure necessary to implement a port community, the different characteristics of foreign trade operations of Barranquilla through a multivariate statistical analysis, where thirteen main variables of chain management and port services were evaluated, taking into account the recommendations of the International Association of Community Port Systems of EPCSA (2015) to establish port communities in Colombia, which they will allow flexibility and speed up processes that seek to improve the operational efficiency of logistics services in the country.

Keywords: Competitiveness, logistics, port community, import, export, infrastructure, technology.



Cómo citar este artículo: C. Orjuela and C. C. Gavilán. "Comunidades portuarias. Una oportunidad para la competitividad". *Ingeniare*, vol. 17, no. 31, pp. 49-66, Diciembre 2021.

¹ Especializado en Logística y cadena de suministro, Universidad Libre. Barranquilla (Colombia). Contacto: cirorjuela_p@hotmail.com

² Magíster en Logística Integral, Docente de la Universidad Libre de Barranquilla. Contacto: cgavilandiaz@yahoo.com

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la competitividad y la reducción de los costos asociados a las actividades logísticas, principalmente en los puertos marítimos, cada vez toma más relevancia. Un caso particular es el de los puertos del mar Caribe, que tienen un gran potencial para desarrollarse y gozan de una privilegiada posición geográfica, pero la falta de unificación de los participantes en las operaciones de importación y exportación para presentar un bloque común no propicia escenarios para ver avances significativos en esta materia.

Las comunidades logísticas portuarias (CLP) avizoran una ruta viable hacia la competitividad, dado que son instancias de colaboración para generar consenso entre los actores de la cadena logística portuaria, para la implementación de clúster de servicios, la discusión de problemáticas locales y cerrar las brechas existentes.

Colombia debe cumplir objetivos específicos si desea explotar ese amplio potencial, entre los que se encuentra el de ser uno de los tres países más competitivos de América Latina para 2032. Para lograrlo debe incursionar en tecnologías e infraestructura que fortalezcan la capacidad logística del país, especialmente en los procesos de comercio exterior [1]. En diversos países el surgimiento de Comunidades Portuarias (PC) posibilita la colaboración entre las partes interesadas de las cadenas de suministro, reduciendo el costo y maximizando las ganancias para las empresas. En América Latina, los costos de logística pueden representar hasta el 30% del importe de un producto. Según la investigación de Amar Ramudhin, experto del Instituto Tecnológico de Georgia en Atlanta, en Colombia el PIB absorbe el 23% de los costos de logística [2]. Este bajo rendimiento y los altos costos están significativamente influenciados por la baja eficiencia y efectividad en aduanas, la falta de capacidad para rastrear bienes, la carencia de una carga eficiente en el sector del transporte y la debilidad en el diseño de las cadenas de suministro, lo cual permitiría contratar envíos a precios competitivos. Los últimos estudios han mostrado cifras alarmantes para Colombia en términos de este indicador, en el que el país ocupaba el puesto 108 entre 144 naciones en 2014-2015 [3].

Es importante tener en cuenta que esta situación se presenta en los grandes puertos marítimos y fluviales, ubicados en las zonas costeras del país. Uno en Buenaventura en la costa del Pacífico y tres en el mar Caribe (Barranquilla, Santa Marta y Cartagena). Barranquilla tiene una ubicación geográfica privilegiada, siendo un punto nodal con diversos tipos de transporte, lo cual la convierte en un centro de cargas nacionales e internacionales, que le proporciona ventajas comparativas y competitivas en diversos sectores económicos, especialmente en la prestación de servicios logísticos. Adicionalmente, allí desemboca el río Magdalena, la principal vía fluvial del país, lo que facilita el transporte a otros puertos fluviales ubicados en el centro del país, donde hay importantes centros industriales [4].

En los últimos años el departamento del Atlántico ha mostrado una evolución significativa en el sector del transporte y el movimiento de carga desde las terminales portuarias. Según las cifras reportadas por la Oficina Nacional de Estadísticas de Colombia en 2007, el sector del transporte absorbió el 13% de

la fuerza laboral empleada y representó el 19,05% del PIB provincial, distribuido en servicios de transporte terrestre (7,1%), servicios de transporte por vías navegables (3,16%), transporte aéreo (5,77%) y servicios de transporte complementarios y auxiliares (2,41%).

En este departamento, el mapa de los servicios del clúster logístico consta de 1.390 empresas, en las que las empresas de transporte (82), las terminales portuarias (20) y las instalaciones de almacenamiento (96) son los principales proveedores de servicios logísticos. También hay empresas relacionadas que brindan apoyo como operadores logísticos (113), operadores portuarios especializados en manipulación de carga y otros (27), proveedores de consultoría y consultoría en logística (34), empresas de tecnología y telecomunicaciones (154) y empresas del sector financiero y de seguros [4].

Para alcanzar este nivel se hizo un análisis estadístico multivariable como herramienta para formar grupos de requisitos de negocios portuarios, definir clientes, estandarizar y mejorar los procesos logísticos, definir las operaciones en la cadena de suministro, estandarizar las operaciones e integrar un lenguaje común para facilitar la comunicación entre los actores de la cadena logística. Todo esto proviene de la evaluación de trece variables principales de gestión de la cadena y servicios portuarios, tomando en cuenta las recomendaciones de la Asociación Internacional de Sistemas Comunitarios Portuarios de EPCSA (2015) para establecer comunidades portuarias en Colombia, que permiten la flexibilidad y agilidad en los procesos y mejorar la eficiencia operativa de los servicios logísticos en el país.

2. SISTEMAS DE COMUNIDAD PORTUARIA (PCS)

Según [5], una de las mejores prácticas para mejorar la eficiencia sin necesidad de incurrir en cuantiosas inversiones de capital es adoptar un Sistema de Comunidad Portuaria (PCS, por su sigla en inglés), una plataforma electrónica que permite el intercambio inteligente y seguro de información entre los participantes de los sectores público y privado; además, optimizar, gestionar y automatizar los procesos logísticos a través de un único envío de datos, que conecta las cadenas logísticas y de transporte.



Figura 1. Flujos de interacción entre participantes de la cadena logística antes y después de la implementación de un PCS.

Fuente: puerto de Amberes.

El PCS proporciona el intercambio de información, simplifica la comunicación entre las diversas entidades y ayuda a mejorar el flujo de trabajo dentro y fuera de las organizaciones de la comunidad portuaria. Esto, a su vez, elimina los cuellos de botella y aumenta la eficiencia.

La implementación de un PCS no necesariamente compite con los sistemas existentes de los usuarios, más bien integra en una plataforma la información necesaria para los procesos de la cadena de valor. Buena parte de esta información ya está disponible en otros sistemas, como en los de las terminales, los de registro aduanero y las ventanillas únicas electrónicas de comercio exterior.

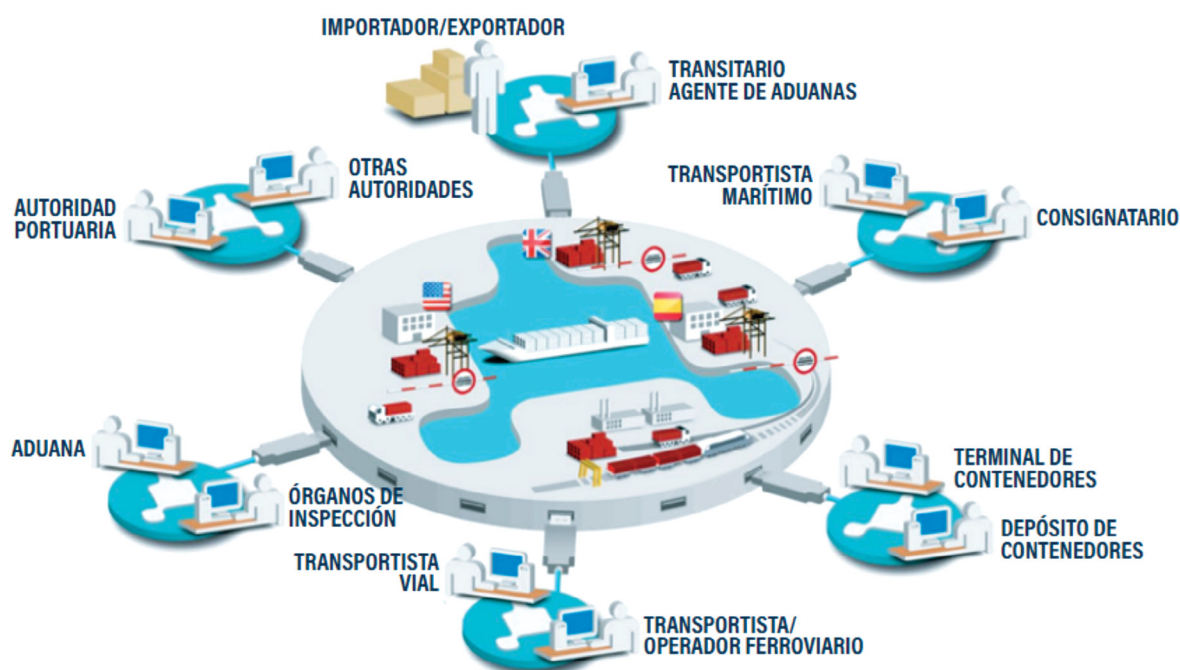


Figura 2. Un PCS se puede considerar una «mesa virtual» formada por la comunidad portuaria.

Fuente: [6].

Según [6], contar con una definición clara y una visión común del concepto de soluciones de PCS es esencial para comprender su importancia estratégica. De hecho, es el primer paso que recomienda [7] la IPCSA (2011) en su guía para el desarrollo de PCS. Las partes interesadas deben acordar una definición desde el comienzo, que debe hacer parte de los resultados previstos. Según [7], un PCS es una plataforma electrónica abierta y neutral que optimiza, gestiona y automatiza de manera sencilla los procesos de despacho y logísticos a través de un único envío de datos, lo cual permite un intercambio inteligente y seguro de la información entre las partes involucradas de los sectores público y privado. Los PCS tienen dos rasgos claves: deben consistir en una plataforma electrónica abierta y neutral; así mismo, optimizar, gestionar y automatizar procesos portuarios y logísticos eficientes a través de un único envío de datos, que conecte las cadenas logísticas y de transporte.

En algunos países ya es común la coexistencia de una ventanilla única de comercio exterior, una ventanilla única marítima y sistemas de comunidad portuaria (Tabla 1). Los Países Bajos, por ejemplo, incorporaron sus ventanillas únicas marítimas en sus PCS. Otros tienen los tres sistemas por separado (España es un excelente ejemplo de esta modalidad, que se puede tomar como referencia). En América Central y en Suramérica, la mayoría de los países tienen una ventanilla única de comercio exterior, pero pocos han implementado un PCS o una ventanilla única marítima.

Las cadenas logísticas modernas exigen eficiencia en cada paso y, a diferencia de las tradicionales, contemplan un flujo ininterrumpido de productos y de información, lo cual, eventualmente, permite la minimización de los inventarios. Las operaciones logísticas deberían poder cubrir todos los pasos de la cadena, en la que los puertos se posicionan como nodos de transporte intermodal y centros logísticos que permiten integrar la información a lo largo de la cadena logística

Tabla 1. Entornos de ventanilla única

Tipo	Función
Ventanilla única de comercio exterior	Gestiona las licencias y los permisos para importar y exportar bienes. Una ventanilla única de comercio exterior actúa bajo la autoridad del Gobierno de un país.
Ventanilla única marítima	Gestiona las formalidades que deben informar los buques, como el arribo, la permanencia y la partida; la información electrónica previa sobre la carga; las instalaciones portuarias receptoras; y los permisos para bajar a tierra para la tripulación.
Sistema de comunidad portuaria	El PCS es la ventanilla única logística y se ocupa de los conocimientos electrónicos de embarque, los servicios portuarios, los servicios de transporte, etc.

Fuente: [5].

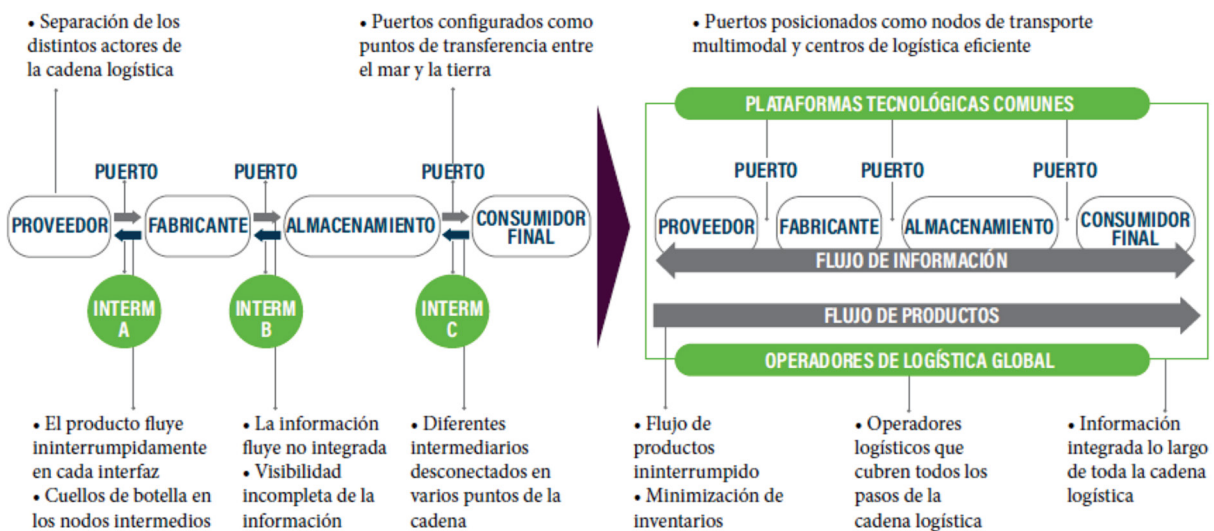


Figura 3. Cadenas logísticas modernas vs. tradicionales.

Fuente: elaboración propia.

3. LOS PCS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

A pesar de haber sido adoptados en grandes puertos de contenedores de todo el mundo, el interés por implementar los PCS en América Latina y el Caribe es aún incipiente. No obstante, algunos países han iniciado la conectividad portuaria y de PCS, hasta la fecha sólo dos miembros del BID tienen soluciones de PCS, implementadas, Chile (Puerto Valparaíso y Puerto San Antonio) y en proceso de implementación, Jamaica (Terminal de Contenedores de Kingston).

El PCS de Valparaíso está en su segunda iteración, con la migración a la nube y la inclusión de más servicios. En Jamaica, la autoridad portuaria está implementando el PCS con gran entusiasmo y aceptación por parte de las autoridades aduaneras. La cooperación institucional es crucial para garantizar los ahorros a lo largo de la cadena de valor y para asegurar su sostenibilidad.

En Argentina, Perú, Surinam y Trinidad y Tobago el BID está colaborando con préstamos para apoyar el diseño y la implementación de soluciones de PCS. Además, a través de la RedVUCE (Encuentro de la Red de Ventanillas Únicas de Comercio Exterior) y de asistencia técnica, la División de Comercio e Inversión del BID está generando cada vez más conocimientos sobre las mejores prácticas mundiales y regionales. Adicionalmente, está empezando a coordinar a las partes involucradas de las aduanas, las autoridades portuarias y los ministerios de comercio, y ofreciendo oportunidades de coordinación regional [5].

4. BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNIDAD PORTUARIA

Para [5] los beneficios de un PCS incluyen costos menores de acceso a la información y de comunicación, una reducción en las transacciones ilegales y una menor tasa de errores e inconsistencias en los datos. Específicamente, además de los beneficios adicionales que trae a cada tipo usuario, la comunidad logra las siguientes mejoras:

- Reducción del tiempo de comercialización gracias a los servicios de reserva, manejo y seguimiento.
- Capacidad de localización y seguimiento del proceso de envío puerta a puerta.
- Simplificación de las declaraciones para obtener las licencias de comercio mediante el uso de servicios PCS para ayudar en el despacho de carga.
- Despacho automatizado de puertas en el puerto marítimo.
- Información adicional que permite que los transportadores y los camioneros planifiquen los traslados, mejorando los plazos de entrega.

- Menor cantidad de trámites y de intercambios de documentación.
- Manejo más rápido de grandes cantidades de información.
- Eliminación de entradas de datos redundantes a través de interfaces entre sistemas, haciendo más confiable la adquisición de datos.

En términos generales, los PCS permiten ahorrar dinero en las operaciones y agregar valor. En el caso de Valeciaport (España), se estima que el PCS le permitió a esa comunidad portuaria ahorrar aproximadamente 23 millones de euros por año (unos US\$25,6 millones). A su vez, Portnet, el PCS de Singapur, generó ahorros superiores a los US\$80 millones durante tres años, de acuerdo con PortStrategy [5].

La implementación exitosa de un PCS está directamente relacionada con el diseño de su modelo de negocios. Temas relativos a la propiedad, el modelo operativo, los flujos de ingresos y la orientación de los servicios deben definirse tomando en cuenta a todos los participantes. Por lo tanto, cada comunidad portuaria tiene sus propias características legales e institucionales. Si bien la solución tecnológica es crucial, el verdadero desafío para una implementación exitosa es superar la resistencia al cambio de las diversas partes involucradas de los sectores público y privado [5].

5. ESTUDIO ESTADÍSTICO

Tomando como referencia el estudio multivariable realizado por [4], que busca definir las operaciones en la cadena de suministro, estandarizar las operaciones e integrar un lenguaje común que facilite la comunicación entre los actores de la cadena logística, para el presente estudio se adelantó el siguiente procedimiento: primero, se realizó un diseño y una estrategia de muestreo, utilizando la base de datos Sicex como fuente de información. Se obtuvieron datos de importadores y exportadores durante un año (2013). Se consiguió información general e información de contacto de la empresa, tipo de carga e información sobre los agentes externos utilizados. Posteriormente, se seleccionaron los datos por empresa y se agruparon las importaciones o exportaciones según la forma como fueron transportadas. El total de las empresas incluidas se muestra en la población inicial, clasificado por tipo de operación y modo (Tabla 2).

Tabla 2. Muestra de importadores y exportadores.

Activity	By air	By sea
Imports	515	1.559
Exports	106	302

Fuente: [4].

El muestreo se realizó seleccionando las empresas que cumplieran con las características de un sustrato al que los investigadores tuvieron mayor acceso para obtener información sobre el análisis de costos y el tiempo. Los tamaños de muestra obtenidos por tipo de operación (importaciones o exportaciones) son los siguientes:

Tabla 3. Tamaño de las muestras por actividad.

Activity	Size
Imports	60
Exports	15
Total	75

Fuente: [4].

Para cada empresa se hizo una encuesta, con base en factores asociados con procesos de comercio exterior. Esta investigación tomó alrededor de seis meses y se realizó en el marco del proyecto LogPort en la ciudad de Barranquilla.

Las variables se establecieron en función del instrumento que se utilizó para la evaluación de los exportadores/importadores. Dichas variables se centraron en la percepción de los servicios portuarios, considerando la posibilidad de consolidar en una etapa temprana un PCS. Es decir, cada variable puede describir las necesidades de un exportador o un importador.

El análisis de la encuesta se basó en trece variables relacionadas con los procedimientos administrativos y logísticos. La operación se evaluó en escalas adaptadas a un análisis multivariable, utilizando el análisis factorial de componentes principales y el análisis discriminante. El objetivo era reducir variables significativas en grupos más pequeños. Cada grupo ilustra las necesidades de suministro en infraestructura, sin discriminación concentrada en categorías de importadores o exportadores. Las variables evaluadas fueron las siguientes [4]:

Tabla 4. Variables sujetas de estudio.

V1. Modo de transporte para importar o exportar: se define como marítimo o aéreo
V2. Preparación de documentos
V3. Tipo de empresa: fabricante, distribuidor o ambos
V4. Incoterm: ilustra todos los tipos posibles utilizados por los clientes
V5. Ubicación del cliente
V6. Unidad de carga: contenedor, paleta, carga suelta o a granel
V7. Tipo de puerto
V8. Ubicación del puerto
V9. Nivel de eficiencia percibida: evaluado en una escala de 1 a 5
V10. Gestión de la cadena: partes interesadas
V11. Costos tecnológicos
V12. Costos de equipo
V13. Inversión logística

Fuente: [4].

6. ANÁLISIS DE DATOS

Con base en el estudio de [4], que emplean el *software* Minitab 17, se hizo un análisis de componentes principales y uno factorial multivariable.

Es importante destacar que el 95% mostró que las variables eran confiables y no actuaban como independientes; además, que el modelo general era lo suficientemente robusto para discriminar entre tipos de clientes, como se explica a continuación (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de la matriz de correlación: importadores.

Eigenvalue	2,3449	2,025	1,4053	1,2264	1,1343	1,0339	0,8948
Proportion	0,18	0,156	0,108	0,094	0,0807	0,08	0,069
Cumulativa	0,18	0,336	0,444	0,539	0,626	0,705	0,774

Fuente: [4].

Los resultados obtenidos para la consistencia del análisis y las pruebas son MSA = 0,805 de linealidad y un valor de KMO = 0,724, que describe con alta fiabilidad el comportamiento de las variables correspondientes a la elección de los siguientes factores descritos (Tabla 6).

Tabla 6. Variable y factores: importadores.

Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7
V1	0,669	0,248	-0,183	-0,235	0,314	-0,109	-0,134
V2	0,132	0,371	0,454	-0,043	-0,459	0,316	-0,355
V3	0,047	0,158	0,649	0,305	0,095	0,372	0,225
V4	-0,031	0,428	-0,264	-0,232	0,017	0,776	0,715
V5	-0,109	0,203	0,355	-0,351	0,598	0,4	-0,027
V6	0,729	0,233	-0,05	-0,062	0,289	0,246	-0,149
V7	0,523	0,648	0,172	0	-0,072	0,195	0,224
V8	0,493	0,712	-0,092	-0,072	-0,057	-0,04	-0,007
V9	-0,38	0,088	0,059	0,626	0,415	-0,073	-0,052
V10	0,079	0,558	-0,491	0,248	0,372	-0,106	0,034
V11	0,481	0,414	0,028	0,377	0,051	0,601	-0,157
V12	0,597	0,31	0,269	0,12	0,724	-0,293	0,248
V13	0,281	0,093	0,436	0,53	-0,196	0,506	0,16

Fuente: [4].

La Tabla 5 muestra que se deben extraer seis factores porque poseen valores propios mayores o iguales a 1,0. Esto se demostró utilizando el método Varimax, en el que juntos representan el 70,5% de la variabilidad en los datos originales para importadores.

Así mismo, se concluyó el comportamiento de los exportadores, a través del cual las variables pueden relacionarse con cada factor, con las variables y con los factores para los exportadores (Tablas 7 y 8).

Tabla 7. Análisis de la matriz de correlación: exportadores.

Eigenvalue	2,3025	2,0219	1,4275	1,29	1,158	1,0705	0,8462
Proportion	0,177	0,156	0,11	0,099	0,089	0,082	0,065
Cumulative	0,177	0,333	0,442	0,542	0,631	0,713	0,778

Fuente: [4].

Tabla 8. Variable y factores: exportadores.

Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7
V1	0,557	-0,208	0,093	0,117	-0,066	0,187	0,002
V2	0,084	-0,267	0,319	-0,235	0,642	-0,173	0,502
V3	0,035	-0,106	0,626	-0,224	-0,029	0,167	-0,397
V4	-0,023	-0,316	-0,107	0,65	0,164	0,464	-0,349
V5	-0,081	-0,135	-0,133	0,516	-0,056	0,578	0,195
V6	0,572	-0,185	0,15	0,207	-0,061	0,211	0,207
V7	0,348	0,545	-0,078	0,081	0,085	0,038	-0,16
V8	0,36	0,575	-0,026	-0,082	0,062	-0,004	0,077
V9	-0,267	0,535	0,172	0,031	0,668	-0,059	0,052
V10	0,086	0,377	0,215	-0,387	-0,33	0,347	0,181
V11	0,293	-0,31	-0,111	-0,206	-0,419	0,732	0,279
V12	0,37	-0,238	-0,258	-0,001	-0,155	0,773	-0,457
V13	-0,03	-0,043	0,533	-0,493	-0,018	0,243	0,186

Fuente: [4].

El siguiente análisis discriminante define las características de las condiciones portuarias para los exportadores e importadores, las cuales se pueden agrupar en diferentes servicios y tipos de clientes para un sistema de comunidad portuaria.

Los resultados determinan las características que se deben considerar en un servicio de una sola ventana, en función de los detalles y necesidades de los exportadores e importadores que utilizan los puertos. Uno de los resultados más relevantes es que las necesidades de los exportadores de economías emergentes como Colombia difieren de las del importador en cuatro factores: costo de equipo, área de origen o destino, inversiones (nuevos equipos, tecnología, personal o capacitación) y redes y costos de tecnología. Cada factor se puede asociar con un nuevo servicio, que a su vez se puede ofrecer como soporte adicional para los usuarios de la PCS.

En la Tabla 9 se detalla la clasificación de importadores y exportadores en los grupos 1 y 2, respectivamente, mostrando una alta proporción de correlación y variabilidad asociada con el grupo de importadores. Además, establece que las necesidades de los importadores están relacionadas con las transacciones del proceso de comercio exterior. Por lo tanto, una sola ventana podría centralizar todos los servicios, estandarizándolos y reduciendo su dispersión. Esto se refleja en un resultado preliminar de la encuesta, asegurando un diseño eficiente de la PCS.

Tabla 9. Resumen de la clasificación.

Group	1	2
Count	14	14

	True	Group
Put into Group	1	2
1	13	3
2	1	11
Total N	14	14
N correct	13	11
Proportion	0,929	0,786

Fuente: [4].

Para un tamaño de $N = 28$, con 24 datos correctos y una proporción adecuada de 85,7%, los resultados se describen a continuación (Tabla 10).

Tabla 10. Distancia al cuadrado entre grupos.

	1	2
1	0	4,85609
2	4,85609	0

Fuente: [4].

La Tabla 11 es el resultado de la clasificación de los dos grupos de interés (importadores y exportadores), cada uno tiene una función discriminante con las trece variables evaluadas y sus respectivos coeficientes.

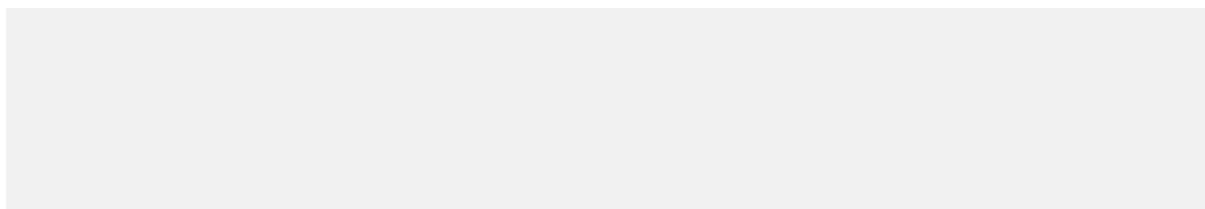


Tabla 11. Función discriminante lineal para grupos.

	1	2
Constant	-154,43	-157,3
V1	26,96	27,99
V2	4,37	3,79
V3	10,87	9,69
V4	0,96	1,05
V5	3,64	2,29
V6	5,48	7,11
V7	0,73	-1,45
V8	4,13	6,67
V9	34,37	36,5
V10	1,76	1,67
V11	-6,69	-5,2
V12	37,03	34,84
V13	1,11	1,37

Fuente: [4].

Con un valor de $F = 3,86$ y F calculado = 161,18 se puede concluir que el modelo es lo suficientemente robusto para discriminar. A continuación, los valores describen el comportamiento del tipo de cliente: importador o exportador (Tabla 12).

Tabla 12. Comportamiento de las variables evaluadas.

Variable	F
V1	156,96
V2	44,37
V3	64,87
V4	5,96
V5	5,64
V6	6,21
V7	4,23
V8	4,63
V9	134,22
V10	8,76
V11	6,95
V12	131,8
V13	4,97

Fuente: [4].

Las funciones creadas con estos datos pueden definir un tipo de cliente (importador o exportador) e identificar precisamente la clase de servicios que pueden usar en la comunidad portuaria. Además, según los coeficientes obtenidos en las funciones, se pueden inferir los aspectos que deben mejorar los puertos, a partir de la inversión y la asociación entre empresa privada y gobierno.

El análisis discriminante se realizó con todas las variables porque representan actividades y operaciones de procesos logísticos necesarios para el servicio que no pueden ignorarse. Por esta razón, los factores encontrados en la sección anterior sólo se consideran para rediseñar los procesos, lo cual permite mejorar la eficiencia de las actividades portuarias.

Según estos resultados, las variables tienen una discriminación significativa en el modelo, con $MBox = 41,68$, y una significancia de $0,0000$, lo que permite concluir que las variables en cuestión tienen un alto poder de discriminación, establecido en los dos grupos focales (1. Importadores y 2. Exportadores), para que los importadores tengan una afinidad especificada en las variables relacionadas con el modo de transporte, incoterm, unidad de negocio, factor de utilización, eficiencia portuaria, costo y problemas de inversión en SCM. Esto indica el gran interés de los importadores en variables que representan actividades directamente relacionadas con decisiones en las operaciones de ingreso de productos o servicios. Por el contrario, los exportadores tienen una gran afinidad por las variables relacionadas con la toma de decisiones, que se centran en la administración y la gestión de documentos, prevaleciendo factores como el número de procedimientos, el tipo de negocio, el área de origen, el tipo de puerto utilizado, la administración de SCM y los problemas de costos asociados con los equipos.

Los servicios portuarios son importantes en la economía de los países y regiones, ya que incorporan industria, infraestructura, negocios y comercio, por esta razón existen muchas variables que se deben considerar y estudiar a través del análisis estadístico de datos multivariable. Este método de análisis, especialmente el factorial y la clasificación, ha demostrado su eficacia en el estudio de grandes cantidades de información compleja, porque es descriptivo y multidimensional [8].

Los métodos de clasificación, como el análisis discriminante, han demostrado ser un complemento necesario para la factorial, ya que facilitan la construcción de tipologías de individuos según el estudio de variables.

Para el análisis de la información de los servicios portuarios se han empleado diversos métodos, pero algunos de ellos han sido cuestionados en círculos académicos porque las condiciones de los supuestos son difíciles de cumplir en diferentes contextos [9]. Teniendo en cuenta esto, se han utilizado métodos multivariados para reflejar la variabilidad, lo cual permite reducir su dimensión (como análisis de componentes principales, análisis factorial, correlación, escalado, etc.). Estos métodos combinan muchas variables, observadas a través de unas pocas variables que las representan [9].

Otro modelo de análisis de la información de los servicios portuarios lo representa un algoritmo RL, que es un método de cálculo en el que se entrena a un agente para tomar la acción óptima a través de un proceso de aprendizaje. El agente actúa con base en una política predefinida, predice un valor para esa acción, experimenta el resultado real para cada estado (día) y luego compara esta predicción (esperado) a la experiencia (observado) [10].

7. ESTUDIO DE EFICIENCIA DE UNA COMUNIDAD PORTUARIA BASADO EN UN ALGORITMO RL

Teniendo en cuenta el gran interés de los importadores en variables que representan actividades directamente relacionadas con decisiones en sus operaciones, se presentan los resultados de un estudio cuyo propósito era desarrollar un modelo de simulación basado en un algoritmo RL, para medir el grado de eficiencia y el impacto económico para las navieras en la coordinación de la entrega de contenedores de importación, que básicamente es la capacidad de agrupar envíos para la entrega de los contenedores a varios destinos.

En este modelo los agentes consisten en importadores, líneas de envío y los portadores de tráfico. Importadores / exportadores, ya que los propietarios de los envíos tienen un número determinado de contenedores, las ventanas de tiempo de entrega para los contenedores y sus lugares de origen / destino. Existen dos tipos de vehículos de transporte de mercancías por carretera, incluidos los semirremolques y remolques de doble B, que tienen diferentes atributos de capacidad y costes. La función de las navieras, como principales proveedores logísticos, consiste en recoger y distribuir los contenedores de importación/exportación atendiendo los requisitos previos y con ventanas de tiempo determinados para seleccionar el tipo de vehículo y la ruta óptima. El entorno está determinado por estados discretos del mercado del transporte (envíos que se entregarán al día) y una red de infraestructura vial, en la que a los remolques doble B no se les permite operar en algunos segmentos de carretera.

El estudio de caso se centra en los envíos de contenedores que entran en el puerto de Brisbane (Australia), que proporcionó los datos, los cuales incluyen detalles de los movimientos de contenedores individuales: número de identificación, marcas de tiempo de llegada y salida, los códigos postales de origen y destino, el peso del envío y el tamaño del contenedor. Este estudio se centra en los movimientos de contenedores llenos en las cadenas de importación (1.942 registros), destinados principalmente a los suburbios de Brisbane. Existen 137 agentes (líneas de envío), que despacharon 1.942 contenedores a 248 códigos postales. La red de carreteras consiste en 18.890 enlaces y 22.700 nodos, de los cuales sólo 5.338 permiten la circulación de remolques dobles B [10].

El algoritmo RL empleado en este estudio está dado por la siguiente expresión [10]:

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha [r_{t+1} + \gamma \max_a Q_a(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t)]$$

$Q(st, at)$: valor de la acción at en el estado st .

r_{t+1} : recompensa del medioambiente en el paso $t+1$.

α : tasa de aprendizaje, un valor entre 0 y 1, donde un valor más alto representa un aprendizaje más rápido.

γ : factor de descuento, un valor entre 0 y 1, donde un valor más pequeño representa un agente más miope, con el extremo 0 representando a un agente que sólo considera las recompensas actuales

En este modelo, la función de valor de acción $Q(st, at)$ se define como el ahorro en el costo logístico total para la acción at , en comparación con otras acciones, en las que el costo logístico es la suma del costo debido a infracciones de plazos, a los costos operativos atribuidos al tiempo, a la distancia de viaje y a los costos fijos de un transportista por carretera. El tiempo de viaje y la distancia se determinan en función del resultado de la ruta óptima en cada estado st (el medioambiente en el día t), en el que el enrutamiento óptimo se obtiene de la solución al “problema de enrutamiento del vehículo capacitado con ventanas de tiempo” (CVRPTW). El modelo CVRPTW es un problema de optimización combinatoria que determina el conjunto óptimo de rutas para que una flota de vehículos entregue contenedores a un conjunto determinado de clientes, considerando la capacidad del vehículo, los plazos de entrega, las reglas de trabajo del conductor y las restricciones de red para algunos automotores. En resumen, el vehículo óptimo se elige dentro de la solución al CVRPTW. El algoritmo para resolver el CVRPTW es el siguiente [10]:

Iniciamos $Q(s_0, a_0)$ para cada agente (137 líneas navieras). Donde a_0 = acción individual, s_0 = todos los envíos se entregarán en el primer día, $Q(s_0, a_0)$ = ahorro en el costo total de transporte para todos los envíos para el primer día, comparando cada línea de transporte marítimo que actúa de forma independiente a todas las líneas de transporte marítimo cooperantes

Este procedimiento se repite para cada episodio (50 simulaciones), hasta s t es terminal.

Los resultados de este algoritmo evidencian un ahorro significativo y eficiencia en el escenario, donde existe plena cooperación entre los agentes involucrados.

Tabla 13. Costos logísticos evaluados mediante algoritmo RL.

	Scenario 1: Individual action	Scenario 2: Full cooperation	Scenario 3: Q-learning result in 50 th episode		Sum
			Cooperating agents	Individual agents	
Total logistics costs (\$)	2,238,925	1,947,616	1,603,323	367,158	1,970,481
Time-based operating costs (\$)	311,864	260,587	209,341	57,689	267,030
Distance-based operating costs (\$)	1,926,725	1,686,863	1,393,836	309,390	1,703,226
Number of trips by B-doubles	253	591	466	40	506
Number of trips by semi-trailers	1,174	747	550	296	846
Total number of trips	1,427	1,338	1016	336	1,352
Total travel time (hr)	3,448	2,929	2,406	558	2,964
Total distance (km)	159,343	135,222	111,143	25,770	136,913

Fuente: [10].

8. CONCLUSIONES

En la operación de un puerto participa una gran cantidad de actores que ofrecen servicios ligados directa o indirectamente con el transporte de carga. Estas partes interesadas conforman una comunidad portuaria, que actualmente se puede considerar como una dependencia de una empresa virtual, constituida para ofrecer transporte intermodal. Allí es donde los sistemas unificados en las comunidades empiezan a ser visibles, en el evento de que deseen incrementar la eficiencia de la coordinación entre los departamentos o actores independientes, apuntando siempre al correcto funcionamiento de las cadenas logísticas, es decir, la entrega de la carga en el lugar de destino a tiempo y a un precio competitivo.

La mayor parte de las comunidades portuarias aún enfrentan problemas que tienen que ver con la transformación digital actual del sector, como la poca penetración de las TI, especialmente en las partes de la cadena logística localizadas en el interior (lejos de los puertos); una industria fragmentada, con muchas pantallas de diferentes sistemas; cantidad innecesaria de canales de comunicación; dificultad para detectar posibles errores en la información; uso intensivo de transacciones manuales; excesiva reintroducción de datos, y traslados en camión innecesarios y desaprovechados. Los sistemas de comunidad portuaria (PCS) pueden hacer frente a estos desafíos.

Generalmente, los PCS ofrecen soluciones para las operaciones marítimas, aéreas, portuarias y de transporte terrestre, pero es importante resaltar que su implementación no necesariamente compite con los sistemas existentes de los usuarios. En realidad, su objetivo es integrar en una plataforma toda la información necesaria para desarrollar los procesos de la cadena logística, parte de la cual ya está disponible en los sistemas con los que cuentan muchas de las partes intervinientes. Los PCS permiten, por lo tanto, simplificar, estandarizar y acelerar el intercambio de información entre los participantes de la cadena logística (PCL). Así mismo, potenciar la eficiencia de las interacciones entre los distintos PCL privados y los organismos gubernamentales, como las aduanas y las autoridades marítimas y portuarias que autorizan, controlan, supervisan y verifican los procesos portuarios.

En el caso particular de Colombia, y sobre todo en la región Caribe, a través de un estudio realizado en el marco del programa Logport se evidenció que sí desea implementar una plataforma abierta para lograr una eficiente coordinación de actividades portuarias, aunque se deben considerar las prioridades de los actores, dependiendo de si es importador o exportador. En tal sentido, los importadores centran su interés en variables representadas en las actividades directamente relacionadas con decisiones en las operaciones en los puertos, mientras que para los exportadores son importantes las variables determinantes en la toma de decisiones administrativas.

REFERENCIAS

- [1] R. Córdoba, M. Llinás y otros (2013). Consejo Privado de Competitividad | Page not found - Consejo Privado de Competitividad. Recuperado en octubre 29, 2019, de <https://compite.com.co/site/informe-nacional-de-competitividad-2013-2014/>.
- [2] J.A. Barbero, *La logística de cargas en América Latina y el Caribe: una agenda para mejorar su desempeño*. Recuperado de www.iadb.org, 2010.
- [3] C. Concejo, *Informe nacional de competitividad*, 2015.
- [4] A. Moros-Daza, N.C. Solano, R. Amaya y C. Paternina, A multivariate analysis for the creation of Port Community System approaches. *Transportation Research Procedia*, 30, pp. 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.09.015>, 2018.
- [5] K. Lucenti, y J. Constante (2019). Cómo lograr puertos más eficientes. Más allá de las fronteras %. Recuperado en octubre 31, 2019, de <https://blogs.iadb.org/integracion-comercio/es/eficientes-puertos/>.
- [6] J. Mendes, K. Lucenti y S. Deambrosi (2019). *Casos de estudio internacional y buenas prácticas para la implementación de Sistemas de Comunidad Portuaria Sector de Integración y Comercio Sector de Infraestructura y Energía. Nota Técnica*. Recuperado de <http://www.iadb.org>.
- [7] IPCSA, *How to develop a Port Community System Simple, efficient solutions for swift and smooth supply chains Guide Contents*, 2011.

- [8] E. Pérez y L. Medrano, Análisis factorial exploratorio: Bases conceptuales y metodológicas. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento (RACC)*, ISSN 1852-4206, vol. 2, no. 1, pp. 58-66. 2, 2010.
- [9] H. Yang, O. Margarete y J. Liu, *2nd International Conference on Information Science and Engineering*, 2010.
- [10] E. Irannezhad, M. Hickman y C.G. Prato, Modeling the Efficiency of a Port Community System as an Agent-based Process. *Procedia Computer Science*, 109, pp. 917-922, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.422>.