



Universidad de Oviedo

Programa de Doctorado en Economía y Empresa

TESIS DOCTORAL:

Modelos para el análisis y categorización del tráfico marítimo.

Models for the analysis and categorization of maritime traffic.

Nicanor García Álvarez

Directores:

Dr. Belarmino Adenso Díaz Fernández

Dra. Laura Calzada Infante

Octubre, 2021

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis nun sería posible ensin los sos dos directores: Adenso y Laura. D'ellos ye'l méritu de los resultaos algamaos nesti trabayu y mios los defectos que pudiera haber nél. Ye necesario agradecer l'apoyu de la mio familia y de los mios amigos nestos años de trabayu investigador y de toles persones que contribuyeron apurriendo datos imprescindibles pa esta tesis o compartiendo comigo'l so saber. Ye imposible nomalos a toos, pero prestaríame agradece-y a Rubén Usamentiaga la so ayuda y sobremanera estos primeros trenta años d'amistá.

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como un compendio de tres publicaciones. La estructura del documento sigue las directrices y recomendaciones establecidas por la Universidad de Oviedo en cuanto al formato de tesis doctoral presentada en esta institución.

El principal propósito de esta tesis es contribuir al conocimiento del transporte marítimo. A pesar de ser el medio de transporte más utilizado para la distribución de mercancías a nivel global, no ha sido tan estudiado en profundidad como otros modos de transporte por razones que se irán exponiendo a lo largo del presente documento. Para contribuir en este propósito, se consideran tres objetivos principales:

1. Se pretende sistematizar el conocimiento científico sobre uno de los métodos más eficientes para el modelado de los tráficos marítimos: *Complex Network Analysis* (CNA).
2. Desarrollar un método de clasificación de terminales de contenedores basado en criterios expertos.
3. Desarrollar herramientas para la detección, mediante redes complejas, de puertos y países con patrones de tráfico similares que sirvan como herramienta de toma de decisiones para gestores portuarios en el establecimiento de estrategias de competición o colaboración con otras infraestructuras portuarias.

Esta tesis se divide en cuatro capítulos. El primero muestra los estudios previos realizados y la literatura básica que se ha empleado para apoyar la investigación realizada. El segundo capítulo define los objetivos de la tesis y el tercero muestra los resultados alcanzados. El último capítulo resume las conclusiones que se deducen de los resultados previamente detallados.

Se incluyen además tres apéndices que completan la documentación: El primero enumera la lista de los tres artículos publicados que componen esta tesis, el segundo muestra con el contenido completo de cada artículo y el tercero detalla el factor de impacto de las revistas científicas en las que los artículos han sido publicados.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	I
PREFACIO.....	III
TABLA DE CONTENIDOS	V
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Modelización del tráfico marítimo.....	2
1.2 Terminales de contenedores.....	4
1.2.1 Gestión de terminales de contenedores.....	5
1.3 Identificación de las comunidades marítimas portuarias	6
2. OBJETIVOS.....	7
3. RESULTADOS	11
3.1 Revisión sistemática del tráfico marítimo entendido como una red compleja	11
3.1.1 Agrupación de los artículos seleccionados.....	13
3.1.2 CNA de las palabras clave de los artículos	14
3.2 Clasificación de terminales de contenedores mediante criterios expertos.....	21
3.2.1 Comparación y discusión de los resultados	28
3.3 Identificación de las comunidades para los tráficos marítimos portuarias	30
3.3.1 Exportaciones.....	34
3.3.2 Importaciones	38
3.3.3 Resultados globales.....	42

4. CONCLUSIONES	47
4.1 Futuras líneas de investigación	49
LISTA DE REFERENCIAS.....	50
APÉNDICE 1. LISTA DE PAPERS PUBLICADOS	55
APÉNDICE 2. ARTÍCULOS	57
APÉNDICE 3. INFORME DEL FACTOR DE IMPACTO DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principales métricas de CNA utilizadas en los artículos seleccionados.....	13
Figura 2: Componente gigante de la red compleja bibliométrica.....	15
Figura 3: Número de documentos de cada grupo con palabras clave en cada comunidad.	18
Figura 4: Componente gigante de la distribución circular	19
Figura 5: Estructura para la clasificación de terminales portuarias	23
Figura 6: Ejemplo de respuesta a la encuesta para el nivel superior de la jerarquía	24
Figura 7: Dendrograma con los resultados del análisis <i>cluster</i>	28
Figura 8: Localización geográfica y agrupación de los puertos estudiados.	32
Figura 9: Principales enlaces de exportación de automóviles y sus piezas en 2019.....	35
Figura 10: Principales enlaces de exportación de biocombustibles en 2019.....	38
Figura 11: Principales enlaces de importación de automóviles y sus piezas en 2019.	40
Figura 12: Principales enlaces de importación de biocombustibles en 2019.	42
Figura 13: Pertenencia de pares de puertos a la misma comunidad (exportación)	45
Figura 14: Pertenencia de pares de puertos a la misma comunidad (importación).	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Proceso de búsqueda y refinado de la selección de trabajos	12
Tabla 2: Agrupación de artículos atendiendo a la utilización de CNA.	14
Tabla 3: Caracterización de las diez comunidades de palabras clave identificadas.	17
Tabla 4: Áreas de mejora en los estudios de tráfico marítimo centrados en redes complejas. .	20
Tabla 5: Variables preseleccionadas y finales.	22
Tabla 6: Criterios de normalización y puntuación de cada variable.	26
Tabla 7: Puntuación final de las terminales portuarias.....	27
Tabla 8: Resultados obtenidos con Analisis Cluster y con F-AHP.....	29
Tabla 9: Número de enlaces de exportación/importación	33
Tabla 10: Número de enlaces en el periodo 2009-2019.	34
Tabla 11: Comunidades para exportación de automóviles y sus piezas en 2019.	36
Tabla 12: Comunidades para la exportación de Biocombustibles en 2019.	37
Tabla 13: Comunidades para importación de automóviles y sus piezas en 2019.....	39
Tabla 14: Comunidades para la importación de biocombustibles en 2019.....	41
Tabla 15: Número de veces que los puertos comparten comunidad.	44
Tabla [A3- 16]: Impacto de la publicación <i>Networks & Spatial Economics</i>	77
Tabla [A3-17]: Impacto de la publicación <i>Maritime Economics & Logistics</i>	78
Tabla [A3 18]: Impacto de la publicación <i>European Transport Research Review</i>	78

1. INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo representa más del 90% del volumen del comercio internacional en el que intervienen las rutas marítimas mundiales y las redes de intercambio multimodal compuestas principalmente por los puertos y las ciudades en las que se ubican (Ducruet, et al., 2018).

A lo largo de la historia, el transporte marítimo ha sido de vital importancia. De hecho es posible seguir el rastro de las civilizaciones más importantes de la historia en un viaje de más de cinco mil años que, comenzando en Babilonia, llega al momento actual con Singapur y Shanghái como núcleos principales del transporte marítimo mundial (Stopford, 2008).

Estos nodos o “Ciudades corazón” suponen el centro de cada una de las civilizaciones que han dominado cultural y económicamente el mundo a lo largo de todos los periodos de la historia de la humanidad (Attali, 2007). A pesar de esta demostrada importancia a nivel económico y social, el transporte marítimo dista mucho de ser estudiado en profundidad en comparación con otros medios de transporte. Las razones de esta carencia han sido identificadas por Ducruet (2015) y resumidas en los siguientes cinco puntos:

-
- La mayoría de los estudios se han centrado en los lugares poblados, más que en los espacios vacíos como el medio marino.
 - La distribución geográfica de los flujos marítimos es difícil de definir debido a la ausencia de una infraestructura de vías visible.
 - El hecho de que la mayor parte del tráfico de pasajeros se haya desplazado a otros modos de transporte, como el aéreo en la segunda mitad del siglo XX, junto con el auge de los sistemas de telecomunicaciones, ha hecho que el tráfico marítimo resulte menos atractivo para los investigadores.
 - La continua reducción de los costes del transporte marítimo en comparación con otros costes logísticos, obliga a centrar los esfuerzos para minimizar los costes globales de la cadena de transporte en otros modos de transporte.
 - El acceso a fuentes de información fiables y estadísticas exhaustivas necesarias para el trabajo de investigación de los expertos es costoso y difícil de obtener, lo que hace que la investigación sobre el transporte marítimo sea imposible en muchos casos.

Este trabajo pretende cubrir parte de estas carencias, comenzando por un estudio general que sistematice el conocimiento sobre el modelado del tráfico marítimo mediante redes complejas. A continuación, se detallarán los trabajos realizados para estudiar la modelización del tráfico marítimo con redes complejas y el estudio detallado de las terminales de contenedores, lo que permitirá una categorización de estas infraestructuras. La tesis se completará con una propuesta de identificación de las comunidades formadas por los puertos y los países de origen o destino de las mercancías que transportan para proporcionar a los gestores portuarios herramientas consultivas de toma de decisiones.

1.1 Modelización del tráfico marítimo

La importancia de la estructura topológica en los modos de transporte en general y en el transporte marítimo en particular ha llevado a muchos investigadores a estudiar y describir las estructuras y dinámicas que hacen del transporte una red compleja (CN).

Las redes complejas son una representación de los sistemas complejos y muestran propiedades que no resultan evidentes al considerar cada una de las partes de forma independiente, siendo su carácter de red una de las características de la estructura de estos sistemas (Estrada, 2012).

La descripción del transporte marítimo como una red compleja no es una tarea trivial, dada la dificultad intrínseca de comprender estas estructuras por su complejidad dinámica, la evolución de la red y la diversidad de conexiones o diversidad de nodos (Strogatz, 2001).

Los puertos marítimos son uno de los principales elementos del transporte mundial, que actúan como puntos que permiten el flujo de cargas a través de las cadenas de suministro globales (Burnsa, 2018). Por lo tanto, la red de transporte marítimo puede entenderse como una estructura compleja compuesta por un conjunto de vértices (puertos) conectados entre ellos por líneas marítimas (ejes). Dado que las cargas tienen un origen y un destino de un número cuantificable de fletes, la red de transporte marítimo puede entenderse como una red dirigida con ejes ponderados (Dorogovtsev & Mendes, 2013). Téngase en cuenta que, aunque esta es la forma más sencilla y común de modelar las redes marítimas, más adelante se comentarán otras alternativas.

Sobre cada una de las redes se puede hacer estudios topológicos que permitan entender su estructura matemáticamente, mediante conceptos bien conocidos y estudiados como el grado de los nodos, las longitudes de los caminos más cortos, la agrupación y las estructuras de comunidad (Boccaletti, et al., 2006). La modelización del tráfico marítimo como una red, en la que los puertos representan a los nodos de la red y los movimientos de los buques corresponden a las aristas, ha demostrado ser una herramienta eficaz para la representación del tráfico marítimo desde el primer enfoque documentado hace más de cincuenta años (Robinson, 1968). Desde entonces, numerosos ejemplos en la literatura demuestran la bondad del modelo de red, y más concretamente de red compleja, para comprender los flujos marítimos.

Por esta razón, no es sorprendente que diferentes modos de transporte hayan sido estudiados desde la perspectiva de las redes complejas en los últimos años. Algunos

ejemplos se pueden encontrar al modelar las redes de tráfico urbano (Ding, et al., 2019); la demanda de viajes urbanos (Saberri, et al., 2018); el transporte público en Gran Bretaña (Regt, et al., 2019) y Singapur (Soh, et al., 2010); las redes de transporte aéreo de China (Wang, et al., 2011) y de Estados Unidos (Xu & Harriss, 2008); las redes de rutas de las aerolíneas (Lordan, et al., 2014); la estructura de la red de carreteras (Deng, et al., 2010); red de aeropuertos australianos (Hossain & Alam, 2017) y las redes ferroviarias (Yang, et al., 2015; Qing, 2012) o (Ouyang, et al., 2014) entre otros.

Pueden también encontrarse ejemplos del estudio de la vulnerabilidad en diferentes modos de transporte en Cats & Jenelius (2014) para las redes de transporte público y O'Kelly (2015) para el sector del transporte aéreo. En el caso del transporte marítimo, como en los casos descritos para los otros modos de transporte, un enfoque de red compleja para modelar la red de transporte marítimo puede ayudar a comprender mejor los puntos fuertes (robustez) o débiles (vulnerabilidad) de la red. Utilizando las medidas clásicas de CNA, como la centralidad o el grado, se pueden detectar los nodos más importantes de la red, por poner un ejemplo ilustrativo, los más centrales corresponderán a aquellos nodos cuya eliminación hará que la red sea más vulnerable.

1.2 Terminales de contenedores

El contenedor ha supuesto una revolución tecnológica de innovación y mejora continua para minimizar los costes y tiempos de distribución en el transporte marítimo (Levinson, 2016) desde su primera aparición en 1956.

Es casi imposible cuantificar cómo contribuyen los contenedores a la economía global. Se estima que en el año 2017 se manejaron más de 752.2 millones de TEUs a nivel mundial. La gestión de un número tan inmenso de contenedores hace imprescindible la adopción de desarrollos informáticos y la aplicación a gran escala de procesos de automatización. Además, debido a la creciente demanda del sector, la capacidad de las terminales de contenedores ha aumentado considerablemente en los últimos años.

Aunque las terminales de contenedores difieren considerablemente en tamaño, función y disposición geométrica, todas tienen algo en común: Comparten la necesidad de ofrecer a sus clientes condiciones competitivas. Esto se traduce en una reducción de la

duración de la estancia de los buques en el puerto, y la finalización de las operaciones portuarias en el menor tiempo posible y al menor coste. En este contexto global, una red de infraestructuras de transporte bien desarrollada es un requisito previo para el acceso a las actividades económicas y los servicios en todo el mundo (Zamora Torres & Pedraza Rendón, 2013). Las terminales de contenedores son una parte fundamental de dicha red de transporte global y se pueden definir como una instalación portuaria que constituye la interfaz entre los diferentes modos de transporte, permitiendo la transferencia de carga entre buques y camiones, ferrocarriles u otros sistemas de transporte (Llaquet, 2007).

Debido a la gran diversidad de factores y a la alta competitividad del sector resulta interesante establecer un sistema de clasificación que aglutine las variables más importantes que definen las terminales de contenedores. Esta clasificación permitirá la comprensión de los diferentes tipos de instalaciones desde el punto de vista de los requisitos de gestión. Esto podría ayudar a comprender mejor los retos a los que se enfrentan las terminales, así como la forma más adecuada de gestionar cada una de ellas.

1.2.1 Gestión de terminales de contenedores

Una terminal de contenedores es un sistema muy complejo que incluye agentes oficiales, organismos de inspección (servicios de sanidad exterior y veterinaria, de inspección fitosanitaria y de inspección del comercio exterior), así como agentes privados (armadores, operadores, remolcadores, estibadores, agentes de aduanas, transitarios, empresas de transporte, etc.). Tratar con todos estos agentes forma parte de la gestión diaria de cualquier terminal de contenedores.

La misión principal de una terminal es proporcionar los medios y la organización necesarios para el intercambio de contenedores entre los distintos modos de transporte, en las mejores condiciones de rapidez, eficacia, seguridad, economía y respeto al medio ambiente (Monfort, et al., 2001). Las terminales de contenedores están compuestas por cuatro subsistemas: barco a tierra, transferencia, almacenamiento y entrega/recepción (Saurí & Martín, 2011). Es evidente que las diferencias en el tamaño, la infraestructura o la configuración de las terminales puede dar lugar a diferentes

prácticas de gestión que merece la pena profundizar. Es muy probable, por ejemplo, que una terminal de contenedores pequeña y especializada requiera un enfoque de gestión diferente al de una gran terminal de transbordo situada en las principales rutas comerciales. Esta tesis recopila información necesaria para permitir una categorización de las terminales de contenedores y revelar así las características de gestión que comparten o las que hacen que cada terminal sea única. Se pretende ofrecer una metodología que permita clasificar y agrupar las terminales de contenedores en función de los factores o variables que afectan a su gestión, o que hacen que dicha gestión sea especialmente singular. Además, sistematiza los criterios subjetivos, basados en la experiencia de los gestores portuarios y aplica modelos matemáticos que permitan ponderar las características físicas y operacionales de las terminales, consiguiendo así una clasificación de dichas terminales en función de cómo afectan estas variables a una gestión eficiente de las mismas.

1.3 Identificación de las comunidades marítimas portuarias

La comparación de puertos dentro de un ámbito geográfico determinado ha sido menos estudiada ya que normalmente el objeto de estudio para los investigadores son las conexiones entre puertos y estas conexiones no se limitan a la cercanía geográfica (Niavis & Tsekeris, 2012; Cruz & Matos Ferreira, 2016). En este sentido, la identificación de puertos con características similares como la ubicación, las competencias tecnológicas o las ventajas en la curva de aprendizaje y en la experiencia sobre los rivales, podría ayudar a identificar posibles vías de colaboración entre los puertos, así como a conocer los factores diferenciadores respecto a otros puertos competidores (Thompson, et al., 2013). Sin embargo, este proceso de identificación no solo requiere un gran conocimiento del entorno portuario, sino también el uso de recursos de alto nivel, que implican tanto herramientas tecnológicas como de consultoría funcional que no siempre están a disposición de todos los puertos. Hay que tener en cuenta que estas herramientas pueden presentar deficiencias, ya que pueden no considerar todos los aspectos y variables que intervienen en la categorización de las infraestructuras portuarias. Por ello, es necesario encontrar herramientas que ayuden a los gestores portuarios en el proceso de identificación de las infraestructuras portuarias con tráficos similares para una mercancía concreta.

2.OBJETIVOS

Dada la relevancia del transporte marítimo detallada en el capítulo anterior, parece interesante profundizar en el estudio del tráfico marítimo y para ello se plantean los siguientes objetivos:

- O1. Realizar un análisis sistemático de la literatura científica sobre el modelado del tráfico marítimo basado en redes complejas.
- O2. Desarrollar un método de clasificación de terminales de contenedores basado en criterios expertos.
- O3. Desarrollar herramientas para la detección de puertos y países con patrones de tráfico similares que sirvan como ayuda en la toma de decisiones para gestores portuarios en el establecimiento de estrategias de competición o colaboración con otras infraestructuras portuarias.

Para alcanzar estos objetivos se han publicado tres artículos que cubren los objetivos mencionados. Las referencias de estos documentos ([A] hasta [C]) figuran en el Apéndice 1, mientras que los artículos completos se encuentran en el Apéndice 2.

En este capítulo se presenta una visión general de los objetivos planteados.

O1. Realizar un análisis sistemático de la literatura científica sobre el modelado del tráfico marítimo basado en redes complejas).

El primer paso para realizar este estudio fue una revisión sistemática de la literatura. El resultado de esta revisión se publicó el artículo ([A]), mostrando todos aquellos artículos que modelan el tráfico mediante un enfoque basado en *Complex Network Analysis* (CNA). Los trabajos seleccionados se han clasificado, revisado y analizado extrayendo las características más importantes de cada uno de ellos, como las fuentes de información, el ámbito geográfico y las características de modelización de la red para después agruparlos en función de los temas específicos tratados.

La bibliografía se ha clasificado según dos corrientes principales: Los trabajos que tratan sobre la descripción topológica de las redes marítimas, y los trabajos que aplican un enfoque de CNA a temas específicos. En cada caso, se realiza un análisis destacando los conceptos y metodologías más interesantes de los trabajos seleccionados, resumiendo los más importantes y proponiendo futuros temas de investigación. Se realizó además un análisis adicional de los trabajos seleccionados, creando una red para identificar las comunidades principales en los artículos seleccionados, que representan y agrupan los principales temas de interés para la investigación en la literatura seleccionada.

O2. Desarrollar un método de clasificación de terminales de contenedores basado en criterios expertos.

Una vez realizado el estudio de la bibliografía se realizó una clasificación de terminales de contenedores que se publicó en el artículo ([B]). La metodología propuesta en este artículo identifica grupos de terminales con características de gestión similares basados en datos físicos y de operaciones, y el criterio experto de gestores portuarios. Se muestra que es posible identificar los factores que afectan a la gestión de dichas terminales y crear un sistema de clasificación de las mismas. Esta agrupación permite identificar las fortalezas y debilidades de cada una de ellas, poniéndolas en relación con sus competidores. El sistema de clasificación propuesto está basado en la metodología *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (F-AHP). La metodología AHP realiza comparaciones por pares con el fin de asistir en la toma de decisiones. Para captar la naturaleza difusa del razonamiento humano, se amplió el AHP creando una versión difusa (F-AHP) que

permite elegir entre una serie de alternativas que expresan la opinión de un decisor (o varios) sobre la importancia de un par de factores, utilizando números difusos.

Como caso de estudio para la validación del método propuesto se ha aplicado dicho método de clasificación al sistema portuario español, y se han comparado los resultados obtenidos con otros métodos que no incluyen criterios expertos, como el *Análisis Cluster*. Esta técnica permite agrupar elementos tratando de lograr la mayor homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos. La agrupación de las terminales de contenedores con esta técnica permitirá comprobar las diferentes clasificaciones obtenidas según este método y el F-AHP propuesto.

Se ha comprobado que, al asignar una ponderación a los criterios de los expertos, los resultados difieren y se vuelven más fiables, ya que el conocimiento de los expertos puede ir más allá de simples variables como los TEUs movidos o el número de grúas disponibles.

O3. Desarrollar herramientas para la detección de puertos y países con patrones de tráfico similares que sirvan como ayuda en la toma de decisiones para gestores portuarios en el establecimiento de estrategias de competición o colaboración con otras infraestructuras portuarias

Para dar cumplimiento a este objetivo, se publicó el tercero de los artículos que componen esta tesis doctoral ([C]). En este artículo se propone una herramienta para modelar el tráfico marítimo utilizando una red bipartita ponderada con dos tipos de nodos, uno representando los puertos y otro representado los países con mayor actividad de importación/exportación desde cada puerto.

El tráfico de mercancías entre ambos tipos de nodos se modela ponderando el volumen de producto transportado. Para ilustrar el modelo, se considera el caso del Sistema Portuario Español, con los datos segmentados por cada tipo de tráfico. Para aquellas comunidades con dos o más puertos, se calculan los países que forman parte de la misma comunidad, pero con los que un puerto en concretos no presenta tráficos significativos para la mercancía estudiada. La evolución de los tráficos se analiza además comparando las comunidades en los años 2009 y 2019.

El conjunto de comunidades formado por los puertos del sistema portuario español puede ser utilizado para identificar similitudes globales entre ellos y con la información de las comunidades a la que su puerto pertenece, los gestores portuarios pueden diseñar estrategias de colaboración o competición adecuadas para cada tipo de tráfico.

3.RESULTADOS

Como se mencionó en el capítulo anterior, esta investigación contempla tres objetivos a desarrollar. En este capítulo se resumen los resultados obtenidos en cada uno de ellos. El contenido completo de las publicaciones está disponible en el Apéndice 2.

3.1 Revisión sistemática del tráfico marítimo entendido como una red compleja

El primer paso para realizar un estudio científico consiste en una revisión concienzuda de la literatura actualizada. El método elegido para ello en nuestro caso, conocido como revisión sistemática, permite localizar los trabajos existentes, seleccionar y evaluar las contribuciones, analizar los datos y valorar las pruebas para extraer conclusiones sobre lo que se sabe y lo que no se sabe en un ámbito de estudio.

Siguiendo los procedimientos establecidos en esta metodología, se llevará a cabo un procedimiento de cinco etapas (Denyer & Tranfield, 2009; Tranfield, et al., 2003): "Formulación de la pregunta", "Localización de estudios", "Selección y evaluación de estudios", "Análisis y síntesis" y como quinto y último paso "Informes y utilización de los resultados". El primer paso guiará la búsqueda para identificar los estudios relevantes.

En nuestro caso la pregunta de investigación fue "¿Cómo ha contribuido la metodología de las redes complejas a la comprensión y la modelización del transporte marítimo?". La segunda etapa, en la que seleccionamos y recopilamos la literatura existente relacionada con el tema. La búsqueda de estudios publicados se realizó en revistas científicas en las bases de datos *Scopus* y *Web of Science*. Los resultados del proceso de búsqueda (realizado en septiembre de 2019) y el proceso de la selección de artículos se muestra en la Tabla 1. Posteriormente se completarán los demás pasos de la revisión sistemática.

Tabla 1: Proceso de búsqueda y refinado de la selección de trabajos

Search items		"complex network"			"network analysis"		
		AND "maritime"	AND "container"	AND "shipping"	AND "maritime"	AND "container"	AND "shipping"
Papers retrieved	WoS	40	33	61	48	95	113
	Scopus	112	242	48	100	154	90
Papers Selected	WoS	29	20	30	10	10	15
	Scopus	37	16	35	23	17	24
Papers without duplicates		52	28	56	25	21	32
Papers after Filtering		120					
Final papers available after snowballing		97					

Una vez realizada la primera selección de trabajos, se aplica la técnica de "snowballing" (Wohlin, 2014). Se selecciona el primer conjunto de trabajos que serán revisados con las cadenas de búsqueda identificadas (ver Tabla 1) para decidir si son apropiados para la inclusión en la revisión sistemática. Con cada uno de los trabajos seleccionados se realiza un *Backward Snowballing* (utilizando la lista de referencias de cada trabajo para identificar nuevos trabajos a incluir) así como un *Forward Snowballing* (identificando nuevos trabajos que citen el trabajo). Por otra parte, se revisa la bibliografía de los autores principales para comprobar su posible inclusión en el conjunto de trabajos. Este proceso se repite hasta que no se encuentren más artículos. Los artículos seleccionados

después de la última iteración componen el conjunto de datos final de artículos para la revisión sistemática.

En nuestro estudio únicamente se han considerado los artículos publicados en inglés. El número final de artículos seleccionados es de 97.

3.1.1 Agrupación de los artículos seleccionados

Los artículos seleccionados modelan el tráfico marítimo mediante redes complejas, empleando frecuentemente métricas basadas en conceptos matemáticos para hacer un estudio topológico de las mismas. Estas métricas son utilizadas mayoritariamente en el conjunto de los 97 artículos seleccionados. Por esta razón, se representa en la Figura 1 el grado de utilización de cada una de las métricas atendiendo su tamaño al número de artículos en los que se han empleado. Las métricas están divididas según su enfoque en el uso de la distancia o no, y según si su enfoque contempla toda la red o sólo los vecinos del nodo.

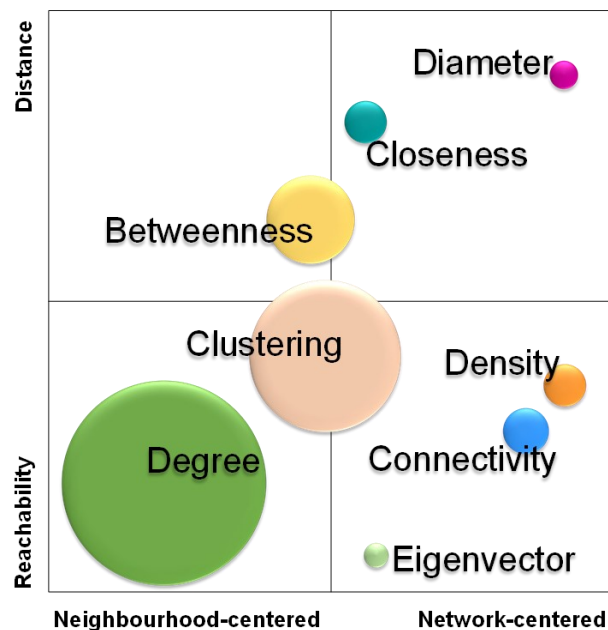


Figura 1: Principales métricas de CNA utilizadas en los artículos seleccionados

Para facilitar el análisis, los 97 artículos seleccionados se dividen en dos grandes grupos según su contenido y enfoque. El primer grupo se compone de los artículos cuyo objetivo principal es modelar el tráfico marítimo como una red compleja, normalmente

centrados en la descripción de la topología de la red de transporte utilizando mientras se considera un enfoque global o local. Los trabajos del segundo grupo tienden a utilizar CNA junto con otras herramientas para la resolución de problemas reales relacionados con el transporte marítimo, es decir, trabajos que tratan un tema específico relacionado con el transporte marítimo con alguna referencia a la metodología CNA. Hasta 30 técnicas y herramientas diferentes (además del propio enfoque de redes complejas) son empleados en estos trabajos. Entre las más recurrentes podemos mencionar los modelos de Teoría de Juegos, el uso de metaheurísticas, o los modelos de localización-ruta.

Teniendo en cuenta que algunos de los artículos pertenecen a más de una categoría, la distribución de los trabajos se resume en la Tabla 2, en la que se muestran las dos categorías principales antes mencionadas y el número de artículos de cada una de las agrupaciones.

Tabla 2: Agrupación de artículos atendiendo a la utilización de CNA.

Paper Type		Number of papers
Papers dealing with a topological description of maritime networks		61
Papers applying a CNA approach to specific topics	Network Design	11
	Risks and Vulnerability	12
	Supply Chain	5
	Other networks	11
Unique selected papers (some in more than one category)		97

3.1.2 CNA de las palabras clave de los artículos

Por otra parte, se realiza un estudio bibliométrico con el objetivo de comprender la naturaleza del corpus de investigación, así como los principales temas y herramientas metodológicas empleadas por los artículos seleccionados. Este estudio se basa en el estudio de la lista de palabras clave de los artículos seleccionados y sus relaciones. Estas relaciones entre palabras clave pueden representarse a su vez como una red compleja

no dirigida ponderada para estudiar su estructura y su tendencia a conectarse más con unas palabras clave que con otras. En este caso, los nodos de la red representan las palabras clave, y dos palabras clave están vinculadas entre sí cuando haya al menos un artículo que las menciona. El peso de cada enlace define en cuántos artículos aparece este par de palabras clave.

La red así creada está compuesta por 173 nodos y 376 enlaces. Centrándonos en el componente gigante que excluye las palabras clave aisladas o los componentes pequeños, sus 141 nodos y 348 enlaces se representa en la Figura 2. Para mayor claridad no se incluyen las palabras clave “Complex Network”, ni “Network Analysis”, debido a que son las palabras clave que se han empleado en la búsqueda de la literatura.

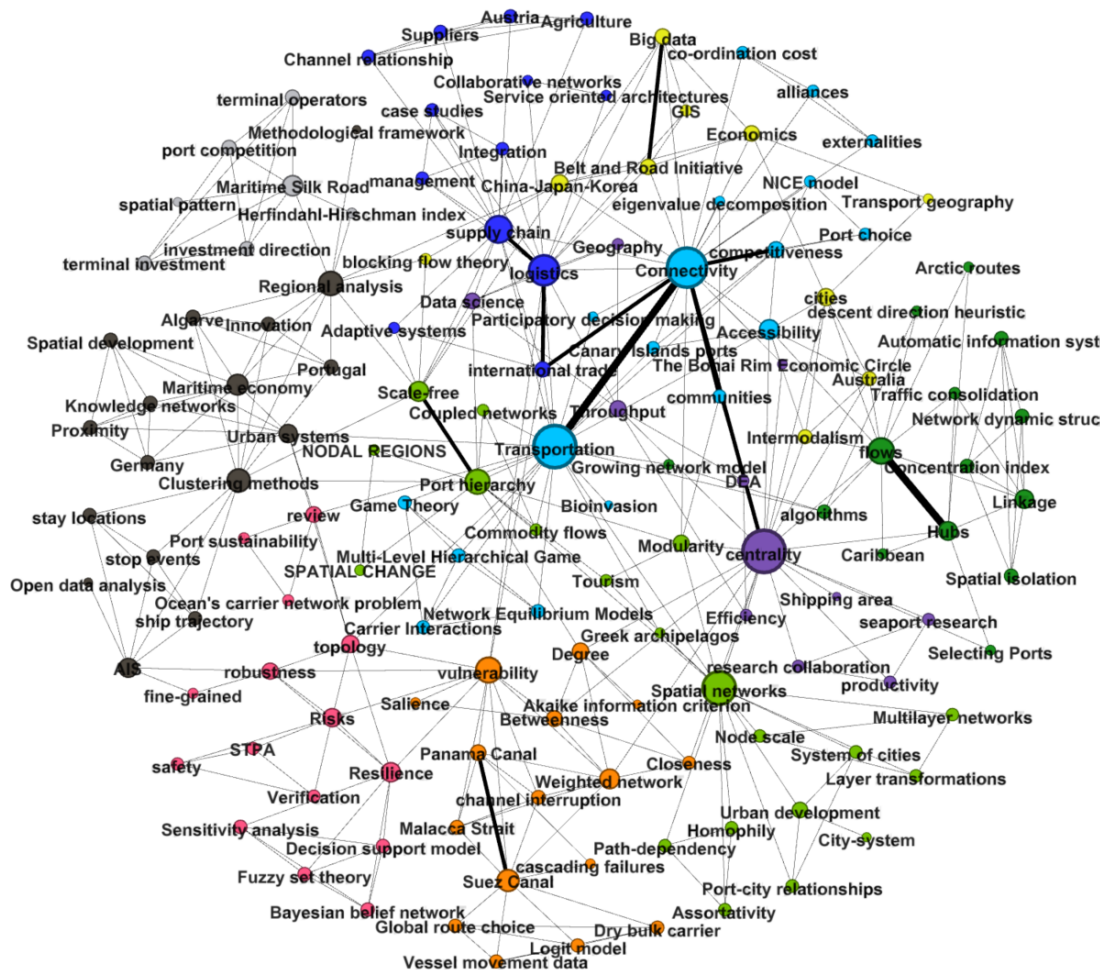


Figura 2: Componente gigante de la red compleja bibliométrica.

Aplicando el algoritmo de Blondel, et al. (2008) para la identificación de comunidades, todos los nodos se distribuyen entre 10 comunidades a las que hemos asignado un tema general que agrupa a cada una de ellas (véase la Tabla 3), con diferentes colores asignados aleatoriamente a cada uno de ellos. La Comunidad **verde** (relaciones puerto-ciudad) es la mayor del componente gigante. Tiene 20 nodos y 33 aristas y sus palabras clave están relacionadas tanto con las ciudades como con los flujos como sistema. En esta comunidad las principales palabras clave son "Redes espaciales" y "Jerarquía portuaria", que están significativamente conectadas con las demás de su grupo. Por su parte, la comunidad **azul claro** (estructura) incluye palabras clave relacionadas con la conectividad de la red. Podemos encontrar palabras clave como "Interacciones de los transportistas", "Elección de puertos", "Alianzas" y otras que aparecen en la Tabla 3. La comunidad **marrón** (análisis regional) reúne trabajos sobre aplicaciones marítimas en diferentes regiones. Hay palabras clave como "métodos de agrupación", "desarrollo espacial", entre otras. Por otro lado, la comunidad **naranja** (topología de redes) agrupa múltiples palabras clave sobre diferentes métricas utilizadas en CNA para describir y categorizar las redes. El tema de la comunidad **magenta** (resiliencia) está relacionado con la capacidad de la red para permitir la continuidad del negocio, ya que sus principales palabras clave son "Riesgos", "Resiliencia", "Robustez" y "Análisis de sensibilidad". En esta comunidad están presentes otros temas como "Verificación", "Sostenibilidad portuaria" y "Seguridad". La comunidad **verde oscuro** (flujos principales) está relacionada con la estructura de la red mediante Sistemas de Información. Dos de las principales palabras clave de esta comunidad son "Flujos" y "Hubs" que suelen mencionarse juntas, y están vinculadas con otras de menor PageRank como "Consolidación del tráfico". La comunidad **azul oscuro** (logística) recoge estudios de casos sobre logística y logística y la gestión de la cadena de suministro. La comunidad **púrpura** (investigación) reúne palabras clave sobre eficiencia y productividad. En esta comunidad podemos encontrar palabras clave como "data science" y "research collaboration". Por otro lado, la comunidad **amarilla** (tendencias económicas) implica diferentes aplicaciones sobre economía y Big Data. Por último, la comunidad **gris** (planificación de inversiones) es la más pequeña con 7 nodos y 12 ejes, cuyos documentos están relacionados con la investigación de inversiones y temas como la Ruta de la Seda.

Tabla 3: Caracterización de las diez comunidades de palabras clave identificadas.

Communities	# Nodes / Links	Overall Topic			Main keywords (based on PageRank)				
Green	20 / 33	Port-city relationships	Spatial networks	Port hierarchy	Scale-free	Modularity	Urban development	System of cities	
Light Blue	18 / 37	Structure	Transportation	Connectivity	Accessibility	Competitiveness	Multi-Level Hierarchical Game	Network Equilibrium Models	
Brown	17 / 42	Regional Analysis	Regional analysis	Clustering methods	Maritime economy	AIS	Urban systems	Algarve	
Orange	16 / 37	Networks' Topology	Vulnerability	Suez Canal	Weighted network	Degree	Betweenness	Panama Canal	
Magenta	15 / 27	Resilience	Resilience	Risks	Topology	Robustness	Review	Sensitivity analysis	
Dark Green	14 / 25	Main Flows	Flows	Hubs	Linkage	Spatial isolation	Network dynamic structure	Concentration index	
Dark Blue	13 / 27	Logistics	Logistics	Supply chain	International Trade	Austria	Agriculture	Channel relationship	
Purple	11 / 17	Research	Centrality	Throughput	Data Science	Seaport research	Research collaboration	Productivity	
Yellow	10 / 15	Economic trends	Cities	China-Japan-Korea	Economics	Big data	Belt and Road Initiative	Intermodalism	
Grey	7 / 12	Investment planning	Maritime Silk Road	Terminal investment	Investment direction	Terminal operators	Port competition	Herfindahl-Hirschman index	

Estas diez comunidades representan los principales temas de investigación y están muy en línea con los principales temas analizados en la revisión sistemática de los artículos anteriormente mencionada. La Figura 3 muestra los grupos de los artículos en función de la comunidad a las que han sido asignados.

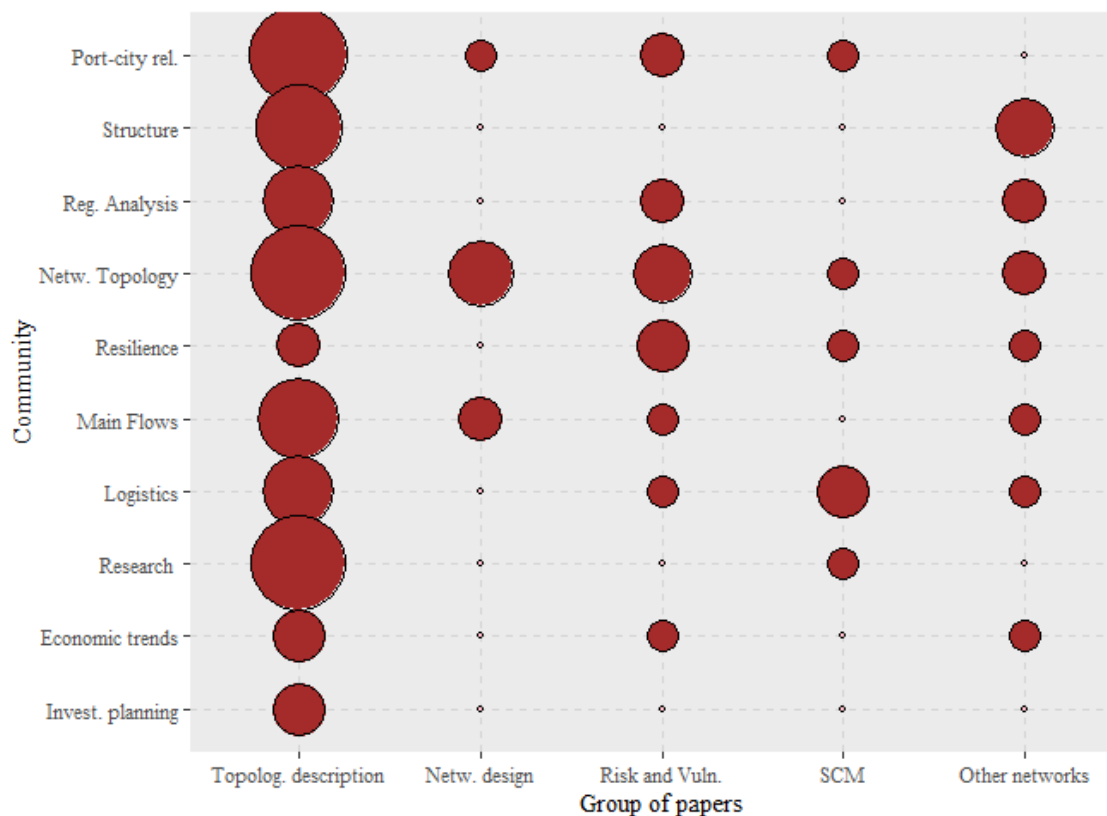


Figura 3: Número de documentos de cada grupo con palabras clave en cada comunidad.

Como se ha mencionado anteriormente, las comunidades están compuestas por aquellos nodos que tienen más conexiones entre ellos que con el resto de la red. Sin embargo, las comunidades pueden tener conexiones más fuertes con algunas comunidades que con otras.

La Figura 4 muestra las conexiones entre las comunidades destacando los nodos que tienen una posición importante en las trayectorias geodésicas intermedias de la red. En esta figura el tamaño de los nodos es proporcional a su centralidad intermedia.

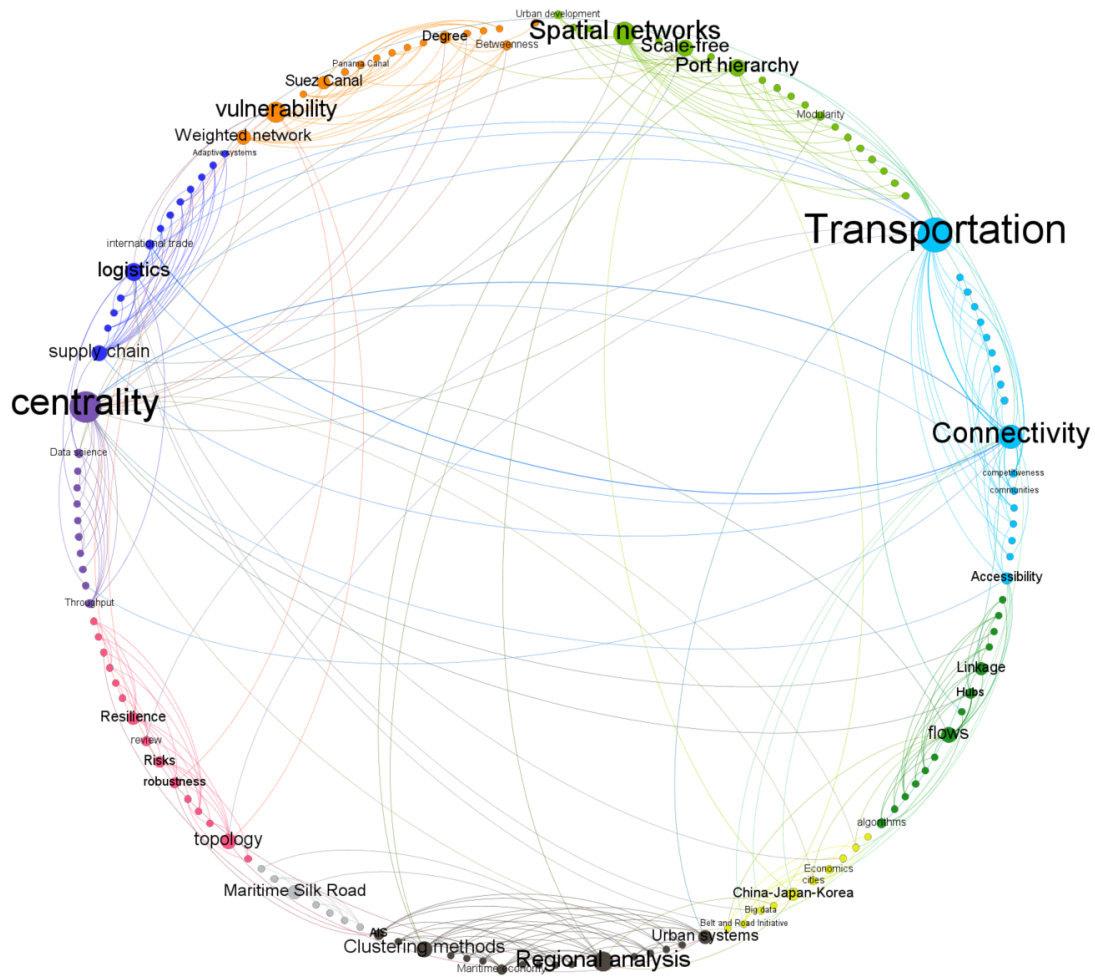


Figura 4: Componente gigante de la distribución circular

Los retos de investigación observados tras el análisis sistemático de la bibliografía se resumen en la Tabla 4 en las que las carencias o limitaciones identificadas en la literatura científica se han clasificado en cuatro categorías. Al solaparse algunas de ellas, se ha creado una doble entrada que permite una mejor agrupación. Las limitaciones más frecuentes son la falta de datos fiables o las dificultades para adquirir series de datos completas para la modelización de la red.

Tabla 4: Áreas de mejora en los estudios de tráfico marítimo centrados en redes complejas.

	Technological	Strategical	Methodological	Data
Technological	<ul style="list-style-type: none"> *More extensive use of AIS and other data sources can be helpful. *Many researches are still in a theoretical stage *Difficult to measure certain factors by simple indicators. 			
Strategical		<ul style="list-style-type: none"> *Take into account the time proximities between ports. *Distinguish between the types of port calls. *Deeper comparison is needed among connected ports in terms of performance indicators. 	<ul style="list-style-type: none"> *Take into account policy and regulatory actions, and consider decisions of shippers and public bodies. 	<ul style="list-style-type: none"> *Decompose the network into more layers (f.i., crude oil, refined oil products, and liquefied gas for liquid bulks, cruise, ferries, and roll-on/roll-off for passengers) *Add information about factors that can influence research (f.i., changes in global economies, social issues that may affect the product demands, or disruptive technological changes affecting the design of the shipping network)
Methodological			<ul style="list-style-type: none"> *Compare results with different network topologies (direct and indirect linkages among ports, or different representation approaches such as L-space and P-space) *Compare results from different means of transport *Check the interactions between economy evolution in different regions and the maritime routes. *Empirically check the theoretically obtained outcomes and findings. *Qualitative methods in the context of the maritime industry are required to triangulate the findings. *Networks are global and therefore the nodes in the clusters formed may be from distant regions, what can affect usefulness. 	<ul style="list-style-type: none"> *Extend databases to cover all the currently existing liner routes. *Obtaining reliable or complete baseline data is a must in CNA. *Include data such as traffic directions or service level in the design of networks. *Most papers use a data set with a relatively small time series, and these time periods should be extended to eliminate seasonal effects. *Extend the study to other commodity types (containers, passengers, general cargo, liquid bulk,...)
Data				<ul style="list-style-type: none"> *Include weight of links and refine the analysis by carrier, vessel size, or service type.

3.2 Clasificación de terminales de contenedores mediante criterios expertos

Como ya se especificó en los apartados anteriores, el segundo de los artículos que componen esta tesis propone una clasificación de las terminales de contenedores partiendo de la metodología F-AHP.

Esta metodología se basa en cinco pasos principales, que resumimos a continuación, más un sexto paso añadido para la ponderación de las variables, y que presenta una modificación al método conocido que permite lograr una clasificación ponderada de las terminales de contenedores estudiadas.

- Primer paso: Identificación de las variables que mejor definen la categorización de las terminales de contenedores en términos de su gestión.
- Segundo paso: Verificación de los expertos de estas variables y eliminación de las variables correlacionadas.
- Tercer paso: Agrupación de las variables en una estructura jerárquica.
- Cuarto paso: Distribución de la encuesta.
- Quinto Paso: Procesado de los resultados.
- Sexto paso: Transferencia de la ponderación de las variables a los datos de cada terminal y cálculo de los resultados finales.

Este método se ha validado utilizando como caso de estudio el Sistema Portuario Español de titularidad estatal. Este sistema está formado por 46 puertos de interés nacional, gestionados por 28 Autoridades Portuarias, cuya coordinación corresponde al Organismo Público "Puertos del Estado", encargado de ejecutar la política portuaria del Gobierno. Por estos puertos pasa alrededor del 60% de las exportaciones españolas y el 85% de sus importaciones, representando el 53% del comercio exterior español con la Unión Europea y el 96% con otros países.

Para aplicar el paso 1 del método de clasificación, se seleccionó un conjunto formado por 18 variables utilizada en estudios similares detectados en la revisión de la literatura existente. En el segundo paso se consultó a cinco expertos en el sistema portuario español (altos directivos de Autoridades Portuarias españolas) para comprobar la idoneidad de las variables preseleccionadas. Como resultado de esta consulta se eliminaron cinco variables iniciales y se añadieron otras cinco variables nuevas que se muestran en la Tabla 5. En la tabla las variables entre paréntesis se corresponden con aquellas que fueron descartadas por los expertos consultados.

Tabla 5: Variables preseleccionadas y finales.

Preselected variables from literature		Variables added by experts (F-AHP)
1. Total terminal area	2. Linear meters of berth	14. Access Doors Automatization
3. Number of doors	4. Average TEU's	15. Crane Automatization
5. Panamax	6. Post-Panamax	16. Yard Equipment Automatization
7. Super Post-Panamax	8. Reach Stacker	17. Railway Tracks
9. Front Lifts / Fork lifts	10. Tractor heads	18. Import / Export % (Transshipment)
11. Straddle Carrier	12. Chassis/Platforms	
13. RTG's (Automobile Cranes)	(Feeder Cranes) (Number of reefer connections)	

Siguiendo con el tercer paso del procedimiento, con los comentarios de los expertos consultados las variables finales se agruparon según la estructura jerárquica que se muestra en la Figura 5, en la que muestran las tres categorías principales: “Automatización”, “Operaciones e instalaciones” y “Equipamiento”. Se incluyen las 8

categorías y 18 variables finales. Los porcentajes representan el peso final de cada variable obtenido después de utilizar F-AHP.

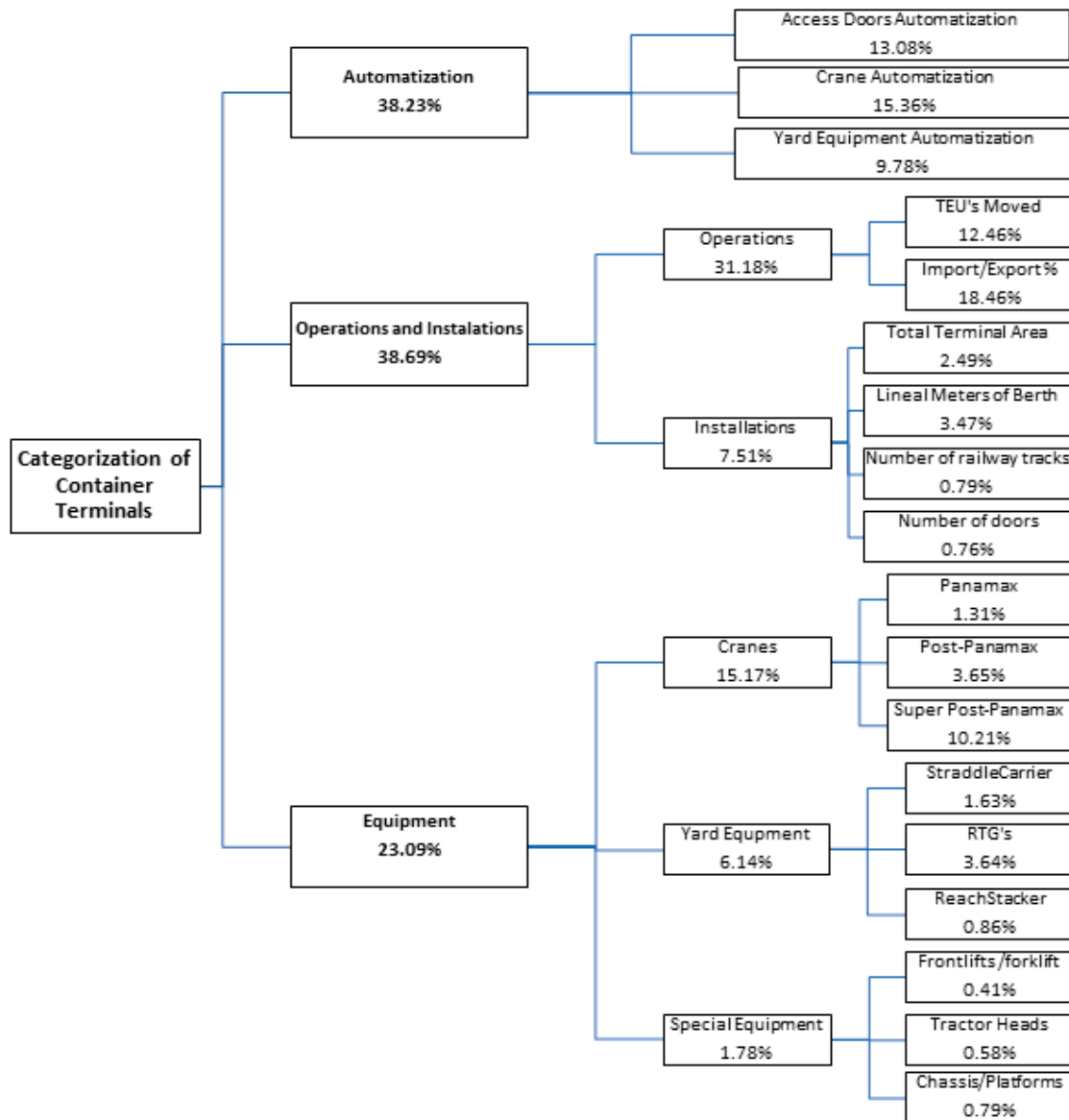


Figura 5: Estructura para la clasificación de terminales portuarias

Para el siguiente paso se describió la estructura jerárquica y el proceso comparación por pares de las variables consideradas en la investigación. Las variables finales se agruparon en ocho categorías y subcategorías; así, los expertos tuvieron que evaluar nueve matrices para comparar la importancia de las variables seleccionadas.

La encuesta se distribuyó y fue respondida por 14 expertos, entre los que se encontraban directores generales de Autoridades Portuarias, directores de operaciones de diversas infraestructuras e investigadores e investigadores del sector portuario.

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de las respuestas a la primera matriz de comparación de la encuesta. En este ejemplo se muestra la matriz que recoge la información difusa de la encuesta: por ejemplo, el elemento (2, 3) que compara "Operaciones e instalaciones" frente a "Equipos" va de 5 a 9, lo que representa el rango de 5:1 a 9:1 [mostrado en la respuesta de la encuesta]. La matriz *Crisp* correspondiente se utiliza para comprobar la coherencia.

Based on your experience, which of the following categories is more important for the categorization of container terminals according to the complexity of their management										
	Absolute	Very Strong	Strong	Weak	Equal	Weak	Strong	Very Strong	Absolute	
	9:1	7:1	5:1	3:1	1:1	1:3	1:5	1:7	1:9	
Automatization						X				Operations and installations
Automatization			X	X						Equipment
Operations and installations	X	X	X							Equipment

Matrix pairwise comparison	Crisp Matrix
$\begin{pmatrix} (1,1,1) & \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right) & (3,4,5) \\ (3,3,3) & (1,1,1) & (5,7,9) \\ \left(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}\right) & \left(\frac{1}{9}, \frac{1}{7}, \frac{1}{5}\right) & (1,1,1) \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} & 4 \\ 3 & 1 & 7 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{7} & 1 \end{pmatrix}$

Figura 6: Ejemplo de respuesta a la encuesta para el nivel superior de la jerarquía

En el quinto paso se procesan los datos recibidos de los 14 expertos consultados y siguiendo la metodología F-AHP se procesan dichos datos convirtiendo las matrices *Fuzzy* recibidas a matrices *Crisp*, aplicando mecanismos para verificar la consistencia de las respuestas y obteniendo una matriz final de consenso del grupo.

El peso de cada una de las variables de la matriz de consenso final definirá la importancia de cada una de las variables en la gestión de las terminales de contenedores atendiendo

al criterio de los expertos consultados. Estos pesos se consolidan en la estructura jerárquica F-AHP para obtener los pesos de la categoría, como quedó reflejado en la Figura 5.

En el caso de estudio considerado, es notable la importancia de las variables de automatización (38.23%). En otros entornos con un grado de desarrollo diferente como los países de África y América Latina donde las terminales no suelen estar automatizadas, esta estructura no sería la más apropiada ya que los expertos darían una importancia mucho menor a esta variable. Es importante resaltar en este punto la importancia de contar con el apoyo de un grupo de expertos locales con conocimiento del entorno estudiado, que haga posible crear una estructura jerárquica adecuada a la realidad de cada caso de estudio.

Como sexto paso del proceso se añade una modificación al método clásico F-AHP. Dada la necesidad de normalizar las variables finales, se establece una escala de 0 a 10 definida por los expertos consultados, teniendo en cuenta las características de las terminales del sistema portuario español y cada una de las variables consideradas. Dicha estandarización de variables se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Criterios de normalización y puntuación de cada variable.

Variable	Points:					
	0	4	5	6	7	10
1. Total Terminal Area	SMALL <107496	MEDIUM <322489				LARGE >322489
2. Linear meters of berth	SMALL <660		MEDIUM <=1333			LARGE >1333
3. Number of doors	FEW (<=4)		MEDIUM (<8)			HIGH (>=8)
4. Average TEU's Moved	SMALL <500000		MEDIUM <=1500000			LARGE >150000
5. Panamax	FEW (<=1)		MEDIUM (<=4)			HIGH (>4)
6. Post-Panamax	NO (0)		FEW (<6)			HIGH (>=6)
7. Super-PostPanamax	NO (0)		FEW (<6)			HIGH (>=6)
8. Reach Stacker	FEW (<=3)		MEDIUM (<6)			HIGH (>=6)
9. Front Lifts /Fork Lifts	FEW (<=8)		MEDIUM (<=16)			HIGH (>60)
10. Tractor Heads	FEW (<=30)		MEDIUM (<=60)			HIGH (>60)
11. Straddle Carrier	FEW (<=3)		MEDIUM (<6)			HIGH (>=6)
12. Chassis/Platforms	FEW (<25)		MEDIUM (<=50)			HIGH (>50)
13. RTG's	FEW (<=5)		MEDIUM (<=20)			HIGH (>20)
14. Access Doors Automat.	NO					YES
15. Crane Automatization	NO					YES
16. Yard Equipment Automat.	NO					YES
17. Number of railway tracks	NO (0)			FEW (1-4)		MANY (>4)
18. % Transshipment	FEW (<0.1)				MEDIUM (<=0.3)	HIGH (>0.3)

RESULTADOS

La ponderación de cada variable se traslada a cada una de las terminales obteniendo la clasificación final de cada una de ellas. Dicha clasificación mediante F-AHP, ordenada por la suma ponderada de cada terminal e indicando también la puntuación sin ponderar se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Puntuación final de las terminales portuarias.

CONTAINER TERMINAL	Weighted Sum	Weighted ranking	Gross pointsSum	Gross points ranking
TTI - Algeciras	8.37	1	101	6
NOATUM - Valencia	6.98	2	130	1
APM TERMINALS – Algeciras	6.94	3	105	2
BEST- Barcelona	6.80	4	105	2
TCB - Barcelona	5.34	5	102	5
LA LUZ- Las Palmas	5.32	6	59	11
TCV– Valencia	5.06	7	103	4
TCT – Tenerife	4.65	8	44	13
MSC - Valencia	4.41	9	60	9
OPCSA - Las Palmas	4.09	10	80	8
NOATUM – Bilbao	3.36	11	81	7
TERMAVI – Vigo	2.66	12	60	9
NOATUM - Málaga	2.51	13	43	14
CAPSA - Tenerife	2.24	14	35	16
PORT NOU – Barcelona	1.85	15	45	12
TMS - Alicante	1.72	16	35	16
TCON - Sevilla	1.47	17	30	19
DP WORLD - Tarragona	1.15	18	40	15
TPC - Castellón	0.99	19	31	18
TCG – GIJÓN	0.15	20	16	20
TERMARIN - Marín	0.15	20	16	20
TTI - Cádiz	0.06	22	5	22

3.2.1 Comparación y discusión de los resultados

Para comparar los resultados obtenidos mediante la metodología F-AHP con otra metodología no basada en los criterios de los expertos, se ha realizado un estudio utilizando el *Análisis Cluster* (o análisis de conglomerados). Comparando los dos enfoques, es interesante observar cómo los resultados pueden variar cuando se considera la información recibida de los expertos.

Según los resultados obtenidos con la técnica de *Análisis Cluster*, las terminales españolas se agrupan en tres grandes grupos: Terminales pequeñas, con 12 terminales agrupadas en el *cluster* 1; Terminales medianas con siete terminales agrupadas en el *cluster* 2, y tres terminales grandes formando cada una de ellas un grupo diferenciado. Los resultados obtenidos están representados en la Figura 7:

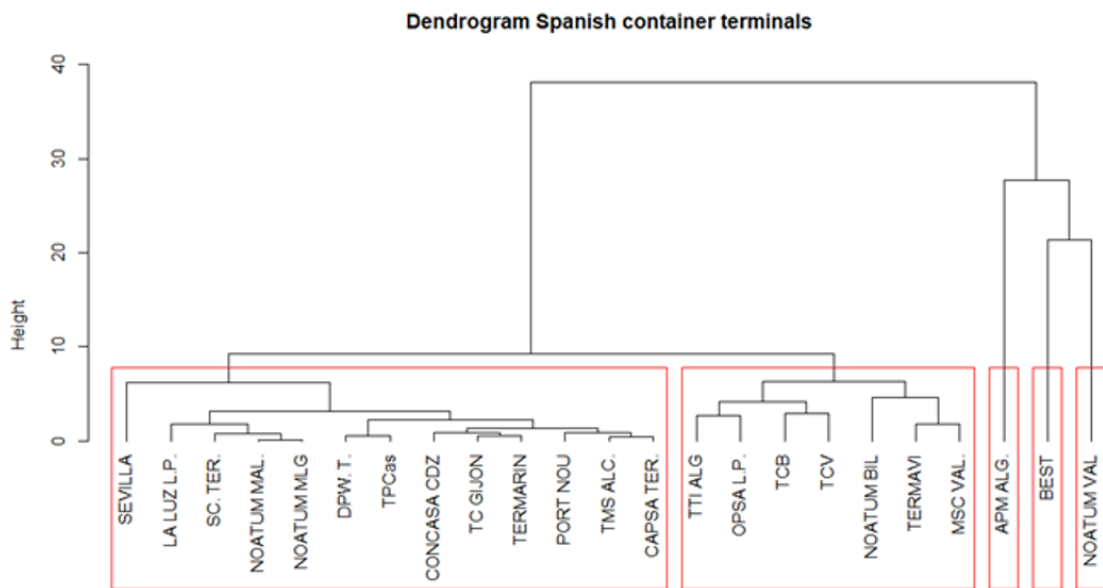


Figura 7: Dendrograma con los resultados del análisis *cluster*.

Los resultados del estudio muestran la importancia de considerar la opinión de los expertos para calcular la complejidad de la gestión en las terminales y que los análisis no subjetivos pueden servir como punto de partida para un enfoque subjetivo que pueda introducir la opinión de los expertos para conseguir una mejor la clasificación de las terminales estudiadas. La comparativa de las clasificaciones obtenidas mediante ambos métodos se muestran en la Tabla 8, indicando para cada terminal el *cluster* en el

RESULTADOS

que se encuentra según el método *Análisis Cluster* y las clasificaciones ponderadas y sin ponderar del método F-AHP. Las filas de la tabla alternan sombreados en función del *cluster* al que pertenecen, sombreado únicamente los *clusters* impares.

Tabla 8: Resultados obtenidos con Analisis Cluster y con F-AHP.

CONTAINER TERMINAL	CLUSTER	Gross points rank	Weighted rank
NOATUM - Valencia	5	1	2
BEST- Barcelona	4	2	4
APM – Algeciras	3	2	3
TCV– Valencia	2	4	7
TCB - Barcelona	2	5	5
TTI - Algeciras	2	6	1
NOATUM – Bilbao	2	7	11
OPCSA - Las Palmas	2	8	10
MSC - Valencia	2	9	9
TERMAVI – Vigo	2	9	12
LA LUZ- Las Palmas	1	11	6
PORT NOU – Barcelona	1	12	15
TCT – Tenerife	1	13	8
NOATUM - Málaga	1	14	13
DP WORLD - Tarragona	1	15	18
CAPSA - Tenerife	1	16	14
TMS - Alicante	1	16	16
TPC - Castellón	1	18	19
TCON - Sevilla	1	19	17
TCG – GIJÓN	1	20	20
TERMARIN - Marín	1	20	20
TTI - Cádiz	1	22	22

3.3 Identificación de las comunidades para los tráficos marítimos portuarias

La revisión de la literatura científica llevada a cabo en objetivo O1 permitió detectar que no existía ningún estudio científico que permitiera agrupar puertos de similares características en función de mercancías concretas transportadas, más allá de su modo de presentación: contenerizada, graneles, etc. Se propuso entonces como futura investigación utilizar fuentes de datos que segmentaran los datos en función de la naturaleza de cada producto para poder crear redes de puertos para cada una de las mercancías estudiadas, haciendo así posible el estudio de las particularidades de cada tipo de tráfico específico y, por tanto, el diseño de estrategias empresariales para cada tipo de mercancía.

Para cubrir esta carencia, esta tesis doctoral propone un método novedoso para agrupar puertos y países con patrones de tráfico similares para mercancías específicas, que pueda servir además como herramienta para que los gestores portuarios establezcan las estrategias de colaboración o competencia más adecuadas con otras infraestructuras portuarias.

La metodología propuesta para identificar la agrupación de puertos se basa en el Análisis de Redes Complejas (CNA), una herramienta de modelización que en los últimos años está incrementando su uso en los estudios marítimos. El uso de las técnicas de CNA permitiría encontrar grupos de puertos y países, y dentro de estas "comunidades" (también llamadas *clusters*), los puertos que pertenecen a un mismo grupo serán aquellos que cuenten con mercados similares y, en definitiva, que están compitiendo con los puertos de su comunidad por una determinada mercancía. Con esta información es posible identificar los países de una misma comunidad para los que un puerto concreto aún no tiene un tráfico significativo pero que sí presenta tráficos para otros puertos que comparten comunidad con él. Este proceso de predicción de enlaces o *Link Prediction* permite a los gestores portuarios identificar las infraestructuras competidoras, los socios potenciales y los puertos con los que compiten por el tráfico de la mercancía estudiada para ciertos países.

En la literatura científica se pueden encontrar un gran número de algoritmos de *clustering* que permiten identificar comunidades en redes complejas, es decir, grupos de nodos más conectados entre sí (según una determinada regla medible) que con el resto de la red. Los experimentos en redes bipartitas del mundo real muestran que los algoritmos basados en el paseo aleatorio como *Louvain* e *Infomap* son más apropiados para la detección de las comunidades en las redes bipartitas (Alzahrani, et al., 2014). Este último suele ofrecer mejores resultados en redes bipartitas aplicándolo sobre su grafo proyectado (Alzahrani & Horadam, 2016; Wu, et al., 2018). Un grafo proyectado representa nodos de un solo tipo, manteniendo la información de todo el grafo con sus enlaces. Dado que *Infomap* funciona correctamente con grafos dirigidos, ha sido el algoritmo elegido para crear comunidades para nuestro modelo de datos.

Como banco de pruebas para la detección de comunidades de puertos toma datos del Sistema Portuario Español. Se han considerado los datos correspondientes a los tráficos del comercio exterior español a través de los puertos marítimos. Al encaminarse parte de estas importaciones y exportaciones por puertos portugueses, dichos puertos son considerados también en el presente estudio junto con los puertos españoles de titularidad estatal.

Los puertos del conjunto de datos inicial están agrupados por su provincia de origen, aglutinando los puertos situados en la misma provincia en un único nodo. Este es el caso, por ejemplo, de la Autoridad Portuaria de Vigo, la Autoridad Portuaria de Marín-Pontevedra y la Autoridad Portuaria de Vilagarcía, todas ellas situadas en la provincia de Pontevedra que serán referidas como "Pontevedra". Lo mismo ocurre con los puertos "Coruña/Ferrol" en la provincia de Coruña, "Gijón/Avilés" en Asturias, y los puertos de "Algeciras/Cádiz". Los puertos portugueses de Lisboa, Setúbal y Sines se mantienen agrupados como el puerto de "Lisboa". En algunos casos se utilizarán abreviaturas y códigos para referirse a los puertos mencionados y puertos agrupados incluidos en una elipse en la Figura 8. Para cada puerto o conjunto de puertos se muestran las Exportaciones/Importaciones en billones de Toneladas.

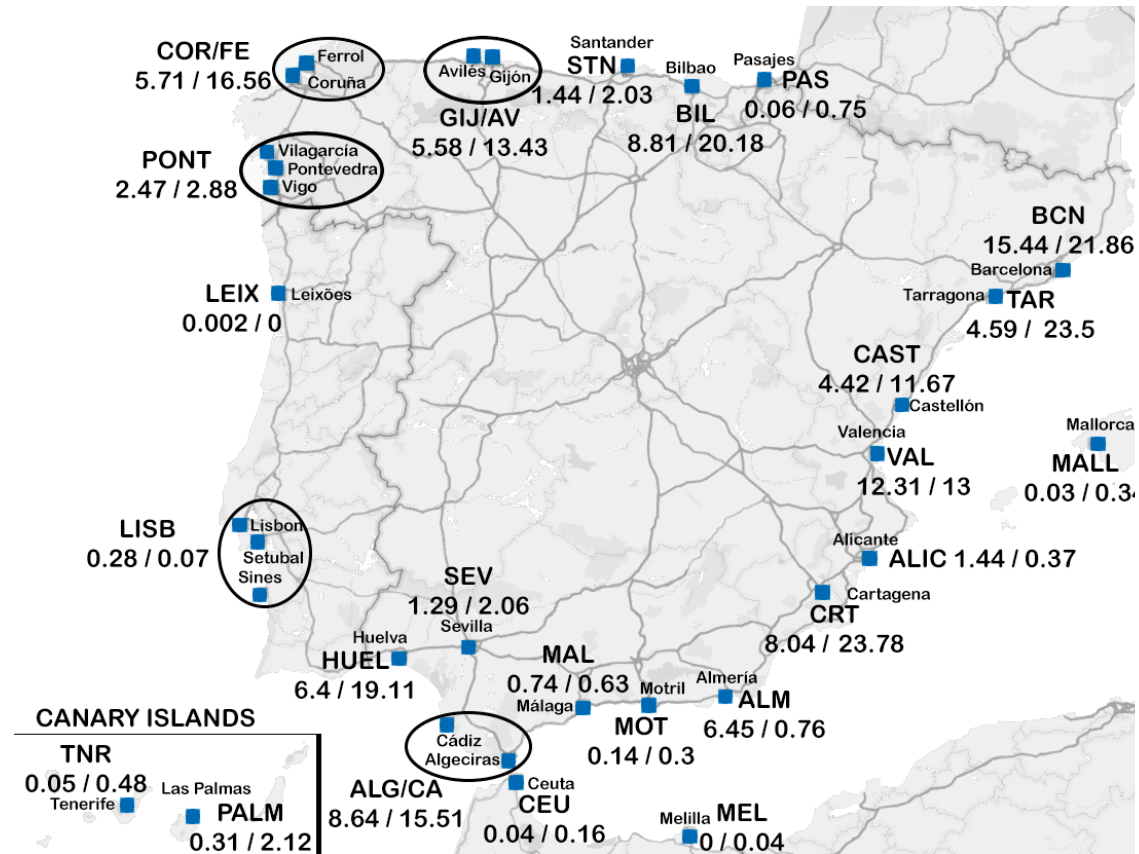


Figura 8: Localización geográfica y agrupación de los puertos estudiados.

Los datos se agrupan por la naturaleza del producto transportado en 38 categorías, según nueve grupos estadísticos y la dirección del flujo (importación/exportación), como se puede ver en la Tabla 9. Para cada producto y dirección de flujo, se define una red bipartita y cuando existe comercio entre un puerto y un país, esta relación se modela mediante un enlace en la red correspondiente. Debido al gran número de enlaces con un tráfico residual (con pocas toneladas transportadas), no se consideran aquellos enlaces con una contribución inferior al 1% del tráfico total de un puerto, así como todos aquellos enlaces puerto-país cuya contribución para ese tipo de tráfico sea inferior al 1% en el tráfico nacional. Con este criterio cada puerto conserva los enlaces relevantes para cada tipo de tráfico. El número de enlaces de importación y exportación para cada categoría de tráfico en 2019 se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9: Número de enlaces de exportación/importación

STATISTICAL GROUP	CATEGORY	Export / Import links	GROUP TOTAL EXPORT / IMPORT	TOTAL EXPORT / IMPORT
1.- ENERGY	1.- Crude Oil	14/115	1,915 / 1,018	
	12.- Coal and petroleum coke	129/128		
	2.- Fueloil	77/74		
	3.- Diesel fuel	100/68		
	35.- Natural gas	12/47		
	4.- Gasoline	229/78		
	51.- Biofuels	675/230		
	6.- Other petroleum products	625/224		
	7.- Energy gases from petroleum	54/54		
2.- STEELWORKS	10.- Other minerals and metal waste	362/347	2,844 / 1,856	
	11.- Iron scrap	72/153		
	13.- Steel products	1,458/816		
	36.- Other metallurgical products	934/520		
3.- NON-METALLIC ORES	8.- Iron Ore	18/20	955 / 328	
	25.- Regular salt	270/53		
4.- FERTILIZERS	52.- Other Non-Metallic Ores	685/275	702 / 409	
	14.- Phosphates	4/14		
	15.- Potash	106/56		
5.- CHEMICAL PRODUCTS	16.- Natural and artificial fertilizers	592/339	2,758 / 1,285	
	17.- Chemical products	2,758/1,285		
6.- CONSTRUCTION MATERIALS	18.- Cement and clinker	205/44	2,699 / 1,015	28,843 / 15,964
	20.- Elaborated construction materials	2,365/932		
	5.- Asphalt	129/39		
7.- AGRICULTURAL AND FOOD	21.- Cereals and their flours	397/319	7,689 / 4,044	
	22.- Soya beans	9/42		
	23.- Fruits, vegetables, legumes	746/548		
	24.- Wines, beverages, alcohols and derivatives	1,403/380		
	27.- Canned food	1,042/428		
	28.- Tobacco, cocoa, coffee, spices	742/504		
	29.- Oils and Fats	969/303		
	30.- Other food products	1,287/580		
	33.- Frozen and refrigerated fish	368/573		
	37.- Feed and forage	726/367		
8.- OTHER GOODS	19.- Wood and cork	705/400	7,653 / 5,109	
	26.- Paper and pulp	871/427		
	31.- Machine tool spare parts	2,832/1,773		
	34.- Rest of goods	3,245/2,509		
9.- VEHICLES AND TRANSPORT ELEMENTS	32.- Automobiles and their Parts	1,628/900	1,628 / 900	

El número total de enlaces para los años disponibles y para los flujos de importación y exportación se detalla en la Tabla 10. Se observa una clara tendencia al alza en el número de enlaces para los flujos de exportación, que se han incrementado en más de un 50% desde 2009 hasta 2019 y un ligero crecimiento de los enlaces para el tráfico de importación.

Tabla 10: Número de enlaces en el periodo 2009-2019.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Export	18,534	22,095	24,580	23,282	26,285	27,188
	2015	2016	2017	2018	2019	
	27,990	28,936	29,581	28,572	28,238	
Import	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	13,654	13,736	13,470	13,766	14,079	14,768
	2015	2016	2017	2018	2019	
	15,040	15,394	15,562	15,645	15,583	

Con estos datos de entrada (puerto, país y las toneladas de producto movidas) es posible crear una red bipartita ponderada para la futura identificación de las comunidades formadas por los nodos que la componen. Para ello los datos se exportan al programa R donde ya está implementado el algoritmo *Infomap*.

Para ilustrar el proceso, dada la gran cantidad de categorías de tráfico, se han seleccionado algunos productos de mayor impacto en el PIB español para un análisis detallado. Concretamente se han elegido los tráficos de Automóviles y sus piezas, así como los Biocombustibles para los flujos de exportación y de importación el año 2019 al ser el último año completo disponible en nuestro conjunto de datos.

3.3.1 Exportaciones

Según el conjunto de datos utilizado, los puertos de Barcelona, Valencia, la provincia de Pontevedra, Bilbao y Algeciras/Cádiz ocupan las cinco primeras posiciones en el tráfico de automóviles el año 2019. Estos cinco conjuntos de puertos representan más del 90% del total de este tipo de tráfico. Los enlaces puerto-país más importantes se dan entre Barcelona-Reino Unido, Algeciras/Cádiz-Marruecos, Valencia-Estados Unidos, Barcelona-Italia y Pontevedra-Francia. El resultado gráfico de esta red de exportación de

Automóviles y sus piezas se puede comprobar en la Figura 9, siendo los nodos y las flechas proporcionales al grado del nodo y al peso del enlace, respectivamente. Los nodos de una misma comunidad se representan con el mismo color.

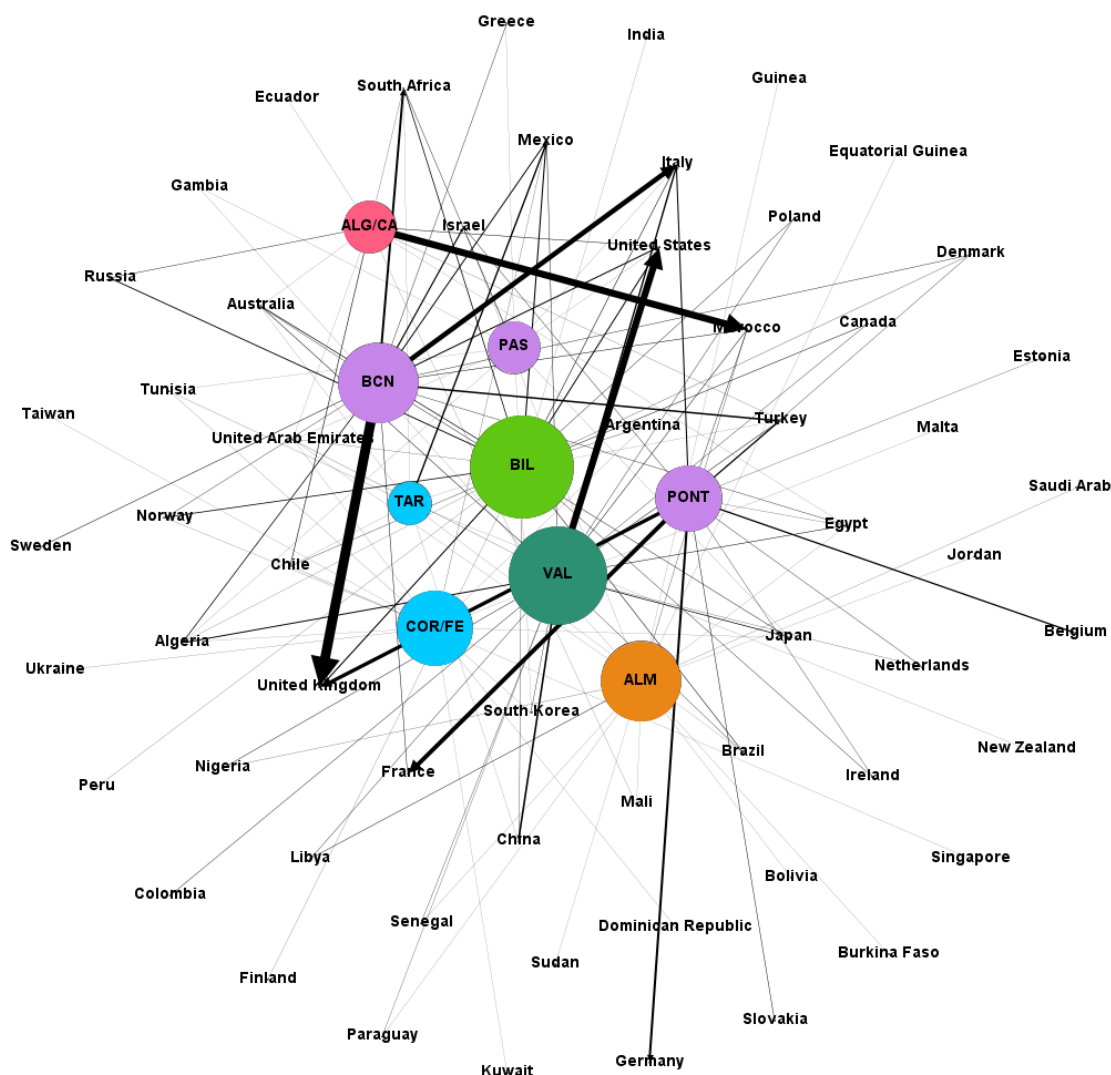


Figura 9: Principales enlaces de exportación de automóviles y sus piezas en 2019

Buscando las comunidades en el gráfico bipartito, se forman seis *clusters*, como se puede apreciar en la Tabla 11. El *cluster número 1* agrupa los puertos de Barcelona, Pontevedra y Pasajes compartiendo junto con otros 14 países que constituyen sus principales destinos de exportación para el tráfico de Automóviles. Los puertos de Tarragona y Coruña/Ferrol se agrupan en el *cluster* número 5., mientras los demás

cluster están compuestos por un solo puerto. En aquellas comunidades con más de un puerto (como la 1 y la 5), no todos los países de la comunidad presentan un comercio significativo del producto estudiado con todos los puertos del *cluster*. Esto significa para un puerto específico que otros puertos del mismo clúster están exportando a países con los que dicho puerto no comercia. Se trata de una especie de "predicción de enlace" o *Link Prediction* que podría ser útil para encontrar los mercados potenciales para esos puertos. Esta información aparece en la Tabla 11, en la columna *Missed potential markets*.

Tabla 11: Comunidades para exportación de automóviles y sus piezas en 2019.

Cluster #	Size	Ports	Missed potential markets
1	3+14	Barcelona	Belgium, Estonia, Germany, Netherlands, Slovakia.
		Pontevedra	Greece, South Africa, Sweden.
		Pasajes	Belgium, Denmark, Estonia, France, Germany, Netherlands, Slovakia, Sweden, Turkey, United Kingdom.
2	1+9	Valencia	
3	1+12	Bilbao	
4	1+4	Algeciras/Cádiz	
5	2+9	Tarragona	Dominican Republic, Kuwait, Malta, Singapore, Taiwan, Ukraine.
		Coruña/Ferrol	New Zealand
6	1+10	Almería	

En cuanto a los Biocombustibles, la exportación de este tipo de tráfico está claramente dominada por el puerto de Barcelona, acaparando más de la mitad del tráfico total del sistema portuario español para este tipo de mercancías, seguido a gran distancia por los puertos de Valencia, Algeciras/Cádiz, Bilbao y Huelva. A pesar del claro dominio de Barcelona en este tráfico, la relativa uniformidad del tráfico de exportación a determinados países hace que *Infomap* detecte una gran comunidad formada por cinco puertos: Barcelona, Cartagena, Algeciras/Cádiz, Castellón y Coruña/Ferrol, en conjunto con nueve países (ver Tabla 12). En cuanto al resto de comunidades detectadas destaca el caso del puerto de Valencia, que no se agrupa con ningún otro puerto, pero el algoritmo lo incluye en una gran comunidad con 17 países, lo que da una idea de la dispersión de su tráfico.

Tabla 12: Comunidades para la exportación de Biocombustibles en 2019.

Cluster #	Size	Ports	Missed potential markets
1	5+9	Barcelona	Greece, Ireland, Morocco.
		Cartagena	Belgium, Bulgaria, Ireland, Morocco, United Kingdom.
		Algeciras/Cádiz	Bulgaria, France, Greece, Ireland, United Kingdom.
		Castellón	Belgium, Greece, Ireland, Italy, Morocco, Netherlands.
		Coruña/Ferrol	Bulgaria, Greece, Italy, Morocco.
2	1+17	Valencia	
3	1+5	Bilbao	
4	1+1	Alicante	
5	1+1	Huelva	

La gran predominancia del puerto de Barcelona sobre los demás puertos para esta mercancía hace que los cinco enlaces más importantes para la exportación de Biocombustibles sean los formados por dicho puerto con Italia, Francia, Países Bajos, Reino Unido y Bulgaria.

La red resultante aparece representada en la Figura 10. Los nodos y las flechas son proporcionales al grado del nodo y al peso del enlace, respectivamente, y los nodos de una misma comunidad se representan con el mismo color. Es importante señalar que dentro de la Figura 10 aparece Valencia como el nodo más grande, aunque sea el puerto de Barcelona el que domine el mercado con unos arcos con mucho más peso. Esto se debe a que el puerto de Valencia presenta muchos enlaces con otros países, a pesar de tener un peso mucho menor que los enlaces del puerto de Barcelona.

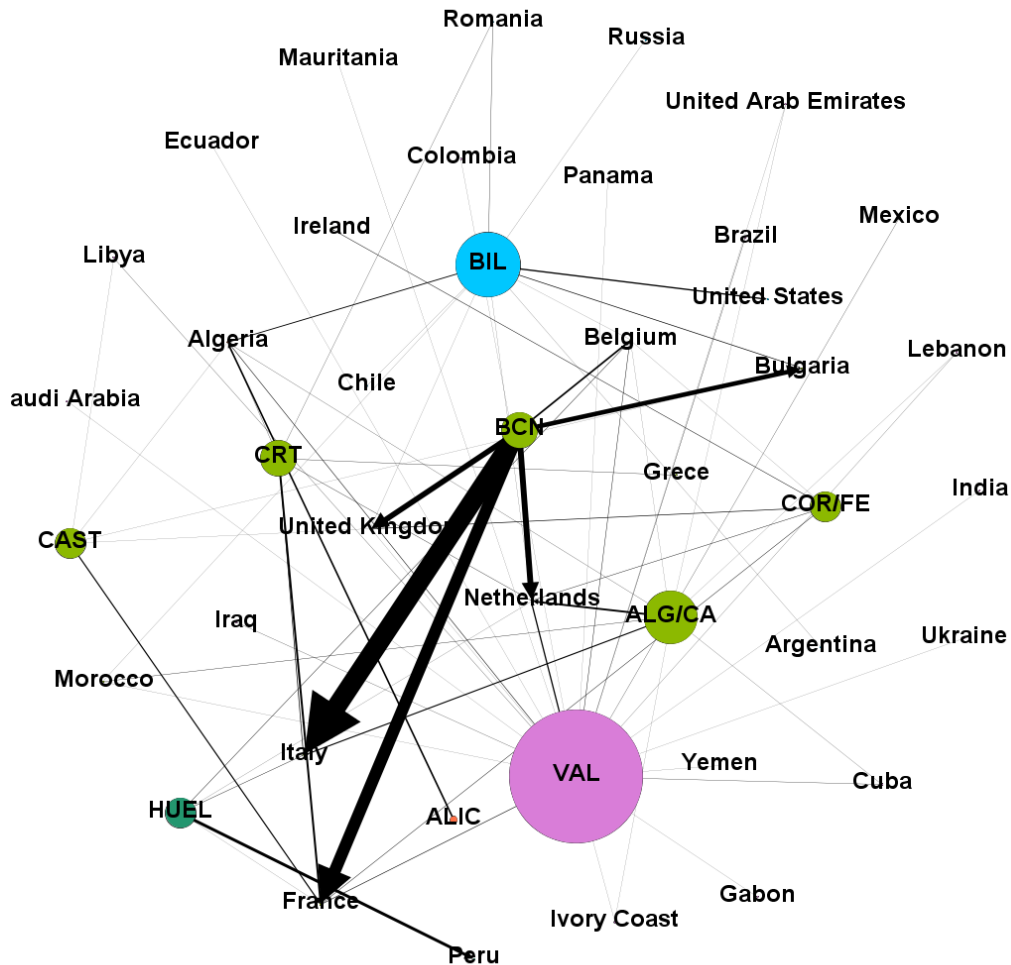


Figura 10: Principales enlaces de exportación de biocombustibles en 2019

3.3.2 Importaciones

Comenzaremos analizando las importaciones de Automóviles y sus piezas. Las 17 plantas de fabricación de vehículos instaladas en España requieren el suministro de piezas de componentes de automoción para su ensamblaje y la producción de los coches que en la mayoría de los casos se destinan a la exportación. La importación de estas mercancías está liderada principalmente por los puertos de Pontevedra, Valencia y Barcelona, sumando entre estos tres puertos más del 80% del total de las importaciones.

Los puertos de la provincia de Pontevedra, donde se encuentra el Grupo PSA, no comparten comunidad con ningún otro puerto, ya que la gran mayoría de los tráficos provienen de Francia. La aplicación de *Infomap* a este tráfico detecta una gran comunidad formada por veinte nodos, que incluyen los puertos de Valencia, Tarragona,

Barcelona, Bilbao y Algeciras/Cádiz. Estos datos y la predicción de enlaces para los puertos de este *cluster* pueden verse en la Tabla 13. En dicha tabla la segunda columna “Size” muestra el número de puertos “+” el número de países en la comunidad.

Tabla 13: Comunidades para importación de automóviles y sus piezas en 2019.

Cluster #	Size	Ports	Missed potential markets
1	5+15	Valencia	Italy, Poland, Taiwan, Vietnam.
		Tarragona	China, India, Italy, Mexico, Poland, South Africa, Sweden, Taiwan, United Kingdom, United States, Vietnam.
		Barcelona	South Africa, Sweden, Taiwan, United States.
		Bilbao	Italy, Japan, Poland, South Africa, Sweden, Thailand, United Kingdom, Vietnam.
		Algeciras/Cádiz	Italy, Mexico, Poland, Sweden, Taiwan, United Kingdom, Vietnam.
2	1+1	Pontevedra	
3	1+4	Las Palmas	
4	1+1	Málaga	

A pesar del predominio de los puertos pontevedreses para este tráfico, el hecho de tener sólo enlaces con Francia e Italia, hacen que su grado dentro de la red sea muy pequeño (véase Figura 11). En la figura los nodos y las flechas son proporcionales al grado del nodo y al peso del enlace respectivamente, y los nodos de una misma comunidad se representan con el mismo color.

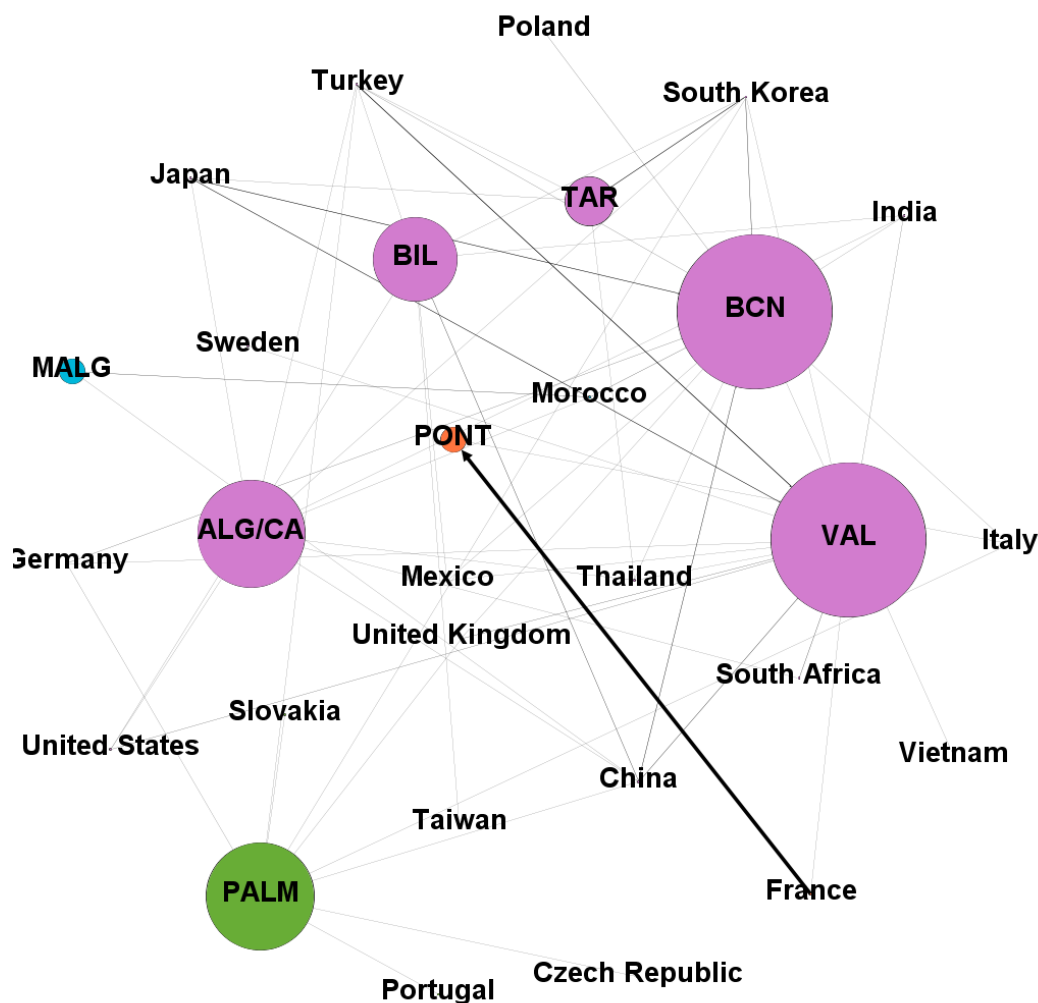


Figura 11: Principales enlaces de importación de automóviles y sus piezas en 2019.

En lo que respecta a las importaciones de Biocombustibles, cabe destacar que el puerto de Huelva lidera estos tráficos, seguido del puerto de Barcelona, acaparando ambos puertos más del 80% del total de las importaciones de esta mercancía. La presencia de importantes infraestructuras de producción, almacenamiento y distribución en el puerto de Huelva contribuye a consolidar su posición de liderazgo.

A pesar de la posición de liderazgo de ambos puertos, las diferencias entre los países de origen del tráfico de importación hacen que aparezcan en comunidades diferentes. El puerto de Huelva comparte comunidad con los puertos de Algeciras/Cádiz, y el puerto de Barcelona comparte *cluster* con los puertos de Coruña/Ferrol. Los puertos de Bilbao y Valencia aparecen en la tercera de las comunidades para este tipo de tráfico de

importación. El detalle de las comunidades y la predicción de enlaces se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Comunidades para la importación de biocombustibles en 2019.

Cluster #	Size	Ports	Missed potential markets
1	2+6	Huelva	
		Algeciras/Cádiz	China, India, Indonesia, Taiwan.
2	2+7	Barcelona	
		Coruña/Ferrol	Bulgaria, Denmark, France, Italy, Portugal, United Kingdom.
		Bilbao	Barbados, Canada, South Africa, South Korea, Turkey.
3	2+7	Valencia	Ireland.
4	1+2	Tarragona	

Los tres enlaces con más peso tienen como destino el puerto de Huelva, y provienen de Indonesia, Malasia y Argentina. A pesar de ello, el puerto de Barcelona presenta muchas más conexiones, aunque con menor peso y por lo tanto está representado con un nodo de mayor tamaño (Figura 12), con los nodos y los enlaces proporcionales al grado del nodo y al peso del enlace, respectivamente, y mostrando los nodos de una misma comunidad con el mismo color.

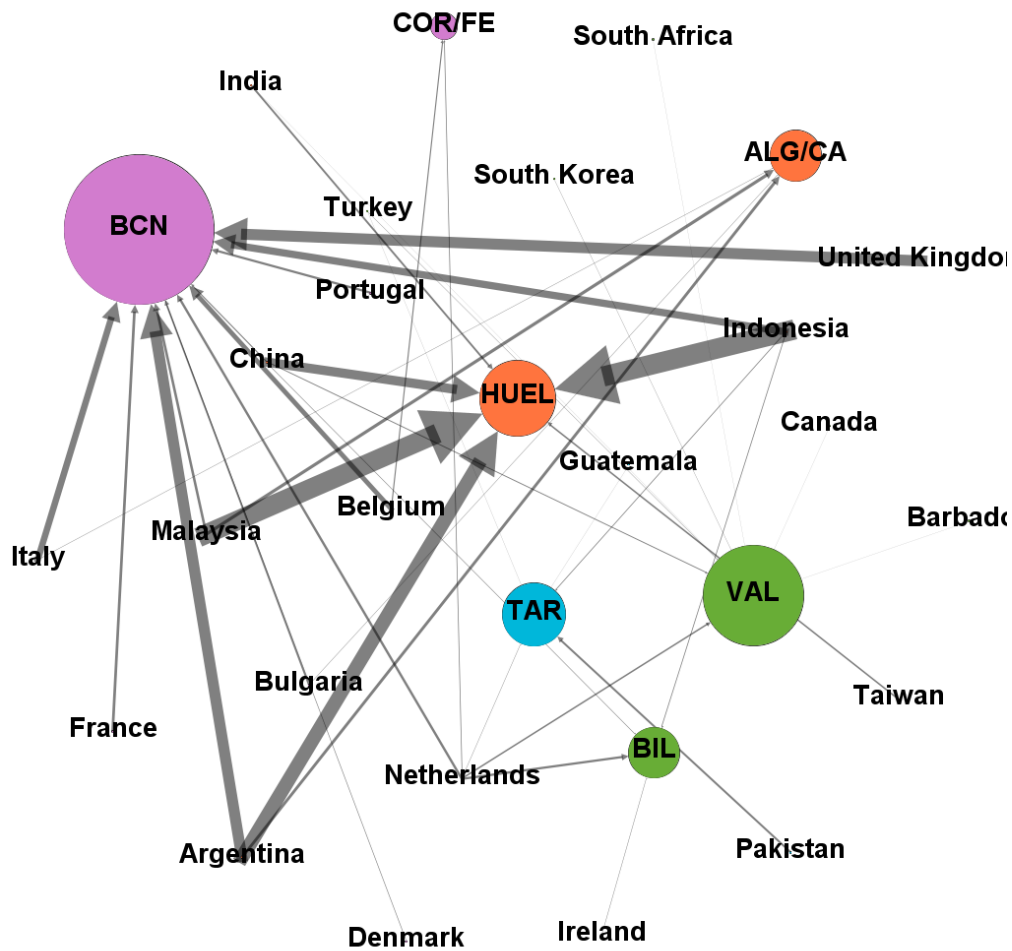


Figura 12: Principales enlaces de importación de biocombustibles en 2019.

3.3.3 Resultados globales

El procedimiento descrito en la sección anterior para los dos tipos de productos seleccionados ilustra el enfoque propuesto en este trabajo para la identificación de comunidades de puertos. Para un análisis completo, se ha repetido el mismo procedimiento para los tráficó de importación y exportación de las 38 categorías de productos con datos disponibles, tanto para el primer como para el último año del conjunto de datos (2009 y 2019).

La aplicación del algoritmo a todos los tráficó de exportación en 2009 detecta cincuenta y cinco comunidades que contienen en ellas dos o más puertos. El procedimiento para los flujos de importación detecta cuarenta y seis agrupaciones con dos o más puertos. En los tráficó del año 2019, se detectaron cincuenta y ocho comunidades con dos o más

puertos para los flujos de exportación, y cincuenta y siete agrupaciones para los flujos de importación. Partiendo de la hipótesis de que cuantas más comunidades compartan dos puertos, más similar será el tráfico gestionado por dichos puertos, se calcula el número de veces que dos puertos comparten una comunidad como indicador de la similitud de los puertos en cuanto a su comercio internacional.

Un resumen de los resultados globales se muestra en la Tabla 15, en la que para cada puerto se muestran los puertos con los que comparte más comunidades para los años 2009 y 2019, tanto para la exportación (CE) como para la importación (CI), considerando las 38 categorías de productos de la base de datos. En la tabla para cada puerto del estudio, se muestra el número de veces que otro puerto pertenece a la misma comunidad, teniendo en cuenta las 38 categorías de productos. Los puertos se agrupan entre llaves cuando comparten el mismo número de comunidades. Se muestran exclusivamente los puertos que comparten el mayor número de *clusters* para facilitar la lectura de la tabla.

Con estos datos, es posible identificar para cada puerto los puertos más similares, tanto para la importación como para la exportación, y comprobar la evolución de estas similitudes en los diez años estudiados. Por poner un ejemplo, el puerto de Barcelona, vemos que compartía 7 comunidades con el puerto de Bilbao para los tráficos de exportación en 2009 mientras que en el año 2019 compartía cinco comunidades. El puerto de Valencia pasó de compartir tres comunidades con Barcelona en 2009 a nueve en el año 2019, lo que da una idea de la convergencia de dichos puertos en el ámbito temporal estudiado. Esta convergencia es aún mayor para estos dos puertos en los tráficos de importación, pasando de compartir ocho comunidades en 2009 a dieciocho en el último año de la serie temporal estudiada.

Tabla 15: Número de veces que los puertos comparten comunidad.

PORT	CE 2009	CE 2019	CI 2009	CI 2019
ALG/CA	3-VAL; 2-{BCN, ALM}	5-VAL; 4-BCN; 3-{ALM,CRT}	5-BCN; 4-{VAL, HUEL, SNT,CRT, BIL,SNT}	4-{VAL, BCN}; 3-HUEL
ALIC	1-SEV	1-{ALG/CA, ALM}	1-{ALG/CA, ALM, SEV}	2-SEV
ALM	2-{ALG/CA, CRT, TAR}	3-ALG/CA; 2-VAL; 1-{CRT, BCN, ALIC, SEV, MALG}	2-{ALG/CA, CRT, BCN, VAL, TAR}	1-{ALG/CA, CRT, BCN, VAL}
BCN	7-BIL; 4-VAL; 3-{COR/FE, PONT}	9-VAL; 5-BIL; 4-ALG/CA	8-VAL; 5-{BIL, PONT, ALG/CA, CRT, HUEL, TAR}	18-VAL; 10-{BIL, COR/FE}
BIL	7-BCN; 5-COR/FE; 2-{VAL, PAS}	6-VAL; 5-BCN; 4-COR/FE	5-{BCN, VAL, PONT}	11-VAL; 10-BCN; 7-PONT
CRT	3-TAR; 2-{COR/FE, HUEL, VAL, ALM}	4-VAL; 3-{COR/FE, BCN, ALG/CA, BIL}	5-BCN; 4-ALG/CA; 3-{TAR, HUEL, VAL}	7-BCN; 6-{VAL, TAR}; 5-CAST
CAST	1-{BCN, TNR, TAR, MOT}	3-{BCN, VAL}; 2-{COR/FE, CRT}	3-{TAR, BCN}; 2-VAL	5-{CRT,TAR}; 3-{BCN, VAL, COR/FE, BIL}
CEU	---	---	---	1-GIJ/AV
COR/FE	5-BIL; 3-{BCN, TAR, HUEL}	4-BIL; 3-CRT; 2-{BCN,ALG/CA,CAST}	3-{VAL, ALG/CA} 2-{BIL, BCN, PONT, TAR, SNT}	10-BCN; 7-VAL; 6-PONT
GIJ/AV	1-{HUEL, ALG/CA}	3-{SNT, VAL, BIL}	1-ALG/CA	6-VAL; 4-{BIL, BCN, HUEL}
HUEL	3-COR/FE; 2-CRT; 1-GIJ/AV	3-TAR; 2-ALG/CA;1-{CRT, GIJ/AV, BIL, BCN}	5-BCN; 4-ALG/CA; 3-{CRT, TAR}	6-TAR; 4-{CRT, GIJ/AV}
PALM	1-{BIL, COR/FE, SEV, TNR}	1-PONT	5-TNR; 1-SEV	6-TNR; 2-{PONT, COR/FE}
LISB	---	1-{ALG/CA, BCN}	---	2-{VAL, BCN}1-{ALG/CA, PONT}
MALG	2- ALG/CA; 1-SEV	3-BCN;2-{SEV, CRT, VAL}	1-{BCN, CRT, VAL, ALM, ALG/CA, MOT}	2-SEV; 1-{CRT, BCN, VAL, PONT}
MALL	---	---	2-TAR; 1-{VAL, TNR}	2-VAL; 1-{TNR, SNT, PONT}
MEL	---	---	1-{VAL, TNR, PAS}	---
MOT	1-CAST	---	2-VAL; 1-{CAST, SEV, TAR, PAS, STN, MALG}	2-{VAL, STN, PAS, PONT}
PAS	2-{BCN, BIL, COR/FE}	2-BCN; 1-{PONT, CRT, ALG/CA}	2-BCN; 1-{ALG/CA, CRT, SEV, SNT, VAL, MOT, MEL}	5-{BCN, BIL}; 4-{COR/FE, VAL}
PONT	3-BCN;2-{COR/FE, VAL}	1-{BCN, PAS, MALG, CRT, PALM, GIJ/AV, CAST, STN}	5-{BIL, BCN}; 4-VAL	9-VAL; 8-BCN; 7-BIL
SNT	1-{BIL, BCN, VAL, TAR, SEV, PAS}	3-{BIL, GIJ/AV}; 1-{BCN, VAL, PONT}	4-{BCN, VAL, TAR, ALG/CA}	4-{BCN, VAL, PONT, TAR, COR/FE}
SEV	1-{BCN, VAL, ALG/CA, TAR, SNT, COR/FE}	2-{VAL, MAL}; 1-{BCN, CRT, ALG/CA, TNR, ALM, CAST}	2-BCN; 1-{VAL, CRT, TNR, ALM, CAST, PAS, BIL, TAR, PALM, ALIC, MOT}	3-{BCN, COR/FE, BIL, TAR}
TAR	3-{COR/FE, CRT}; 2-{BCN, ALM}	3-HUEL ; 2-BCN ; 1-{COR/FE, CRT}	5-{BCN, VAL}; 4-SNT	8-{BCN, VAL}; 6-{HUEL, CRT, BIL}
TNR	1-{TAR, BCN, CAST, PALM}	1-SEV	5-PALM; 2-{BCN, TAR}	6-PALM; 3-{BCN, VAL}
VAL	4-BCN; 3-ALG/CA; 2-{COR/FE, CRT, BIL, PONT}	9-BCN; 6-BIL; 5-ALG/CA	8-BCN; 5-{TAR, BIL}; 4-{ALG/CA, PONT, SNT}	18-BCN; 11-BIL; 9-PONT

La Figura 13 muestra los puertos que comparten comunidades de tráfico de exportación para los años 2009 en la parte izquierda y 2019 en la parte derecha. En la figura, un enlace entre dos puertos indica que ambos comparten al menos una comunidad. El grosor de los enlaces es proporcional al número de comunidades que comparten ambos puertos, y el tamaño de los nodos es proporcional a su grado (número de puertos con los que comparte al menos una comunidad).

Se puede observar para 2009 el alto grado del puerto de Barcelona, lo que significa que comparte comunidades (comercio similar) con un gran número de puertos, especialmente con Valencia y Bilbao. Un grado similar se observa para los puertos de Algeciras/Cádiz, aunque como se puede observar, en este caso con mucho menor peso de los enlaces (muchos "competidores" pero para menos productos).

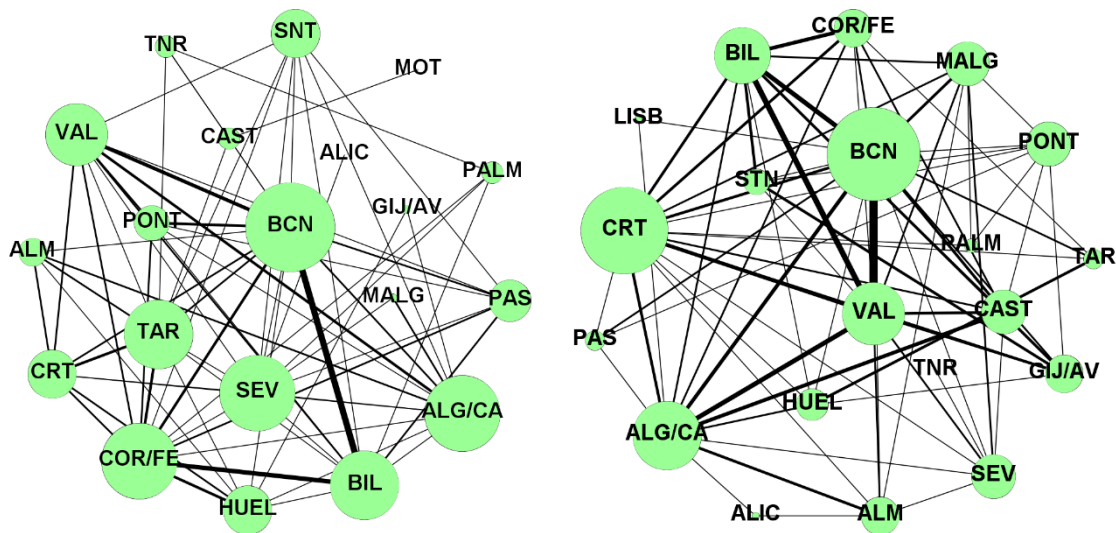


Figura 13: Pertenencia de pares de puertos a la misma comunidad (exportación)

En la Figura 14 se muestra la evolución de las comunidades que comparten los puertos en 2009 (izquierda) y 2019 (derecha). En 2009, varios puertos visualmente en la figura, como los puertos de Valencia, Barcelona y Algeciras/Cádiz. El año 2019 muestra un gran número de enlaces y un grado de los nodos más homogéneo que en el año 2009, por lo que la desviación típica es más pequeña. Se observa, al igual que en el caso de los flujos de exportación, pero aquí de forma aún más acusada, un gran número de enlaces con

un peso elevado, y un grado más homogéneo de los nodos para los flujos de importación.

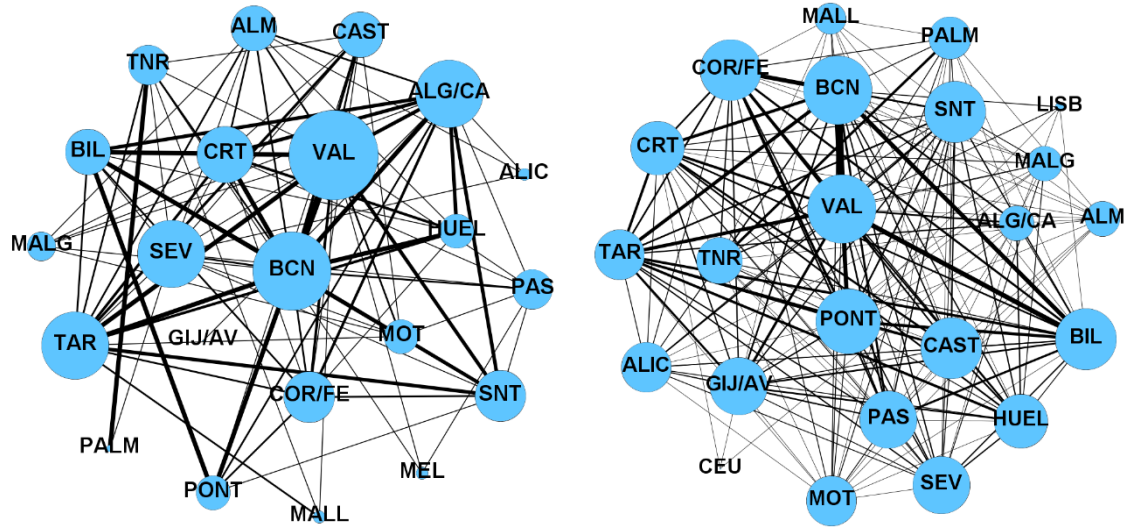


Figura 14: Pertenencia de pares de puertos a la misma comunidad (importación).

4.CONCLUSIONES

Esta tesis doctoral se centra en el estudio del tráfico marítimo, utilizando herramientas tan versátiles como las redes complejas para su modelización. En primer lugar, se ha realizado una revisión sistemática de los trabajos científicos que han utilizado las redes complejas, bien para el modelado del tráfico marítimo o bien para estudiar un determinado tema relacionado con la industria marítima.

Mediante este estudio se ha comprobado que las redes complejas permiten a los investigadores y a los gestores portuarios estudiar la interacción entre los distintos entes del sistema evaluando la posición de cada uno respecto a los demás.

Los cambios en el diseño en la red de transporte marítimo afectan concretamente a la competitividad de puertos, y por ende las fluctuaciones económicas a nivel mundial. Cualquier cambio puede tener un impacto directo en la estructura de toda la red transporte, con lo que se ha comprobado que el transporte marítimo necesita ser estudiado con un enfoque global, como el que proporcionan las redes complejas.

Para el estudio de las infraestructuras portuarias se ha continuado la investigación con el estudio de las terminales portuarias de contenedores y se ha propuesto un novedoso

método de clasificación de estas infraestructuras, aplicando los conocimientos de expertos en un determinado sistema portuario para clasificar las terminales de contenedores según criterios que determinan sus características especiales de gestión.

Este sistema de clasificación permite identificar las oportunidades de mejora en la gestión de las terminales, describiendo las características que diferencian en la práctica unas terminales de otras y por lo tanto permitiendo a los gestores portuarios establecer las medidas de gestión más adecuadas para la mejora, en su caso, de cada una de ellas de ellas en relación con su entorno.

Continuando con el desarrollo de herramientas para la gestión de infraestructuras portuarias, se ha propuesto un sistema pionero de análisis del tráfico marítimo que permite categorizar el sistema portuario de un país desde una perspectiva de redes complejas, con una comparación granular (para tipos concretos de mercancías) que permite el análisis de oportunidades de negocio de los puertos incluidos en el estudio.

El análisis de las comunidades formadas por puertos y países en un determinado sistema portuario puede proporcionar una información muy valiosa a los gestores portuarios para analizar las causas de dichas agrupaciones y decidir las estrategias de gestión más adecuadas de los puertos que gestionan.

Se ha utilizado como banco de pruebas para de la detección de las comunidades de puertos y países para cada tipo de tráfico específico, un conjunto de datos formado por los puertos que encaminan el tráfico marítimo de las exportaciones e importaciones españolas a sus países de destino u origen.

Una de las herramientas más interesantes para el análisis de los tráficos es la llamada "Link Prediction". Esta herramienta se basa en detectar cada puerto la ausencia de tráficos con un cierto país cuando otros puertos que comparten comunidad con él sí que presentan tráficos significativos. Mediante esta técnica es posible identificar mercados potenciales para un tipo concreto de mercancía en los puertos estudiados.

Esperamos haber contribuido con esta tesis al necesario impulso del estudio científico del transporte marítimo que, tal como ha quedado reflejado anteriormente, pese a su

vital importancia para la cadena de suministro global, no ha recibido el interés de los investigadores en la misma medida que el resto de los modos de transporte.

4.1 Futuras líneas de investigación

Sería interesante aplicar la metodologías utilizadas en esta tesis doctoral a otros conjuntos de puertos diferentes al estudiado en el presente trabajo, tanto en el ámbito de la clasificación de las terminales portuarias, como de los flujos comerciales, con el objetivo de contrastar la robustez de los resultados. La información proporcionada por expertos de otros entornos podría dar lugar a ponderaciones diferentes para la clasificación final de las terminales y sería muy interesante comparar casos de estudio diferentes en ámbitos geográficos diversos.

Además, un estudio con un ámbito temporal más amplio, que realice un análisis similar en el futuro, podría permitir una comparación de la evolución de las terminales de contenedores a lo largo del tiempo.

En cuanto a la revisión sistemática de los trabajos realizados en el ámbito del transporte marítimo con un enfoque relacionado con las redes complejas, la comunidad científica podría sistematizar los datos de partida aplicando técnicas de *Business Intelligence* y *Deep Learning* para mejorar la comprensión de los factores que tienen influencia en el desarrollo de las redes marítimas tal como las entendemos hoy en día y predecir comportamientos futuros de la red de transporte marítimo.

LISTA DE REFERENCIAS

- Alzahrani, T., & Horadam, K. J. (2016). Community detection in bipartite networks: Algorithms and case studies. *Understanding Complex Systems*, 73, 25-50. doi:10.1007/978-3-662-47824-0_2
- Alzahrani, T., Horadam, K. J., & Boztas, S. (2014). Community detection in bipartite networks using random walks. *Studies in Computational Intelligence*, 549, 157-165. doi:10.1007/978-3-319-05401-8_15
- Attali, J. (2007). A Brief History of the Future. *New perspectives quarterly*, 24, 76-83.
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008. doi:10.1088/1742-5468/2008/10/P10008
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D.-U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics reports*, 424, 175-308.
- Burnsa, M. G. (2018). *Port management and operations*. doi:10.4324/9781315275215
- Cats, O., & Jenelius, E. (2014). Dynamic Vulnerability Analysis of Public Transport Networks: Mitigation Effects of Real-Time Information. *Networks and Spatial Economics*, 14, 435-463. doi:10.1007/s11067-014-9237-7
- Cruz, M. R., & Matos Ferreira, J. J. (2016). Evaluating Iberian seaport competitiveness using an alternative DEA approach. *European Transport Research Review*, 8, 1-9. doi:10.1007/s12544-015-0187-z

- Deng, Y.-J., Yang, Y.-F., & Ma, R.-G. (2010). Highway network structure characteristics based on complex network theory. *Zhongguo Gonglu Xuebao/China Journal of Highway and Transport*, 23, 98-104.
- Denyer, D., & Tranfield, D. (2009). *Producing a systematic review. The Sage handbook of organizational research methods*. Sage Publications Ltd. doi:9781446200643
- Ding, R., Ujang, N., Hamid, H. B., Manan, M. S., Li, R., Albadareen, S. S., & Wu, J. (2019). Application of Complex Networks Theory in Urban Traffic Network Researches. *Networks and Spatial Economics*, 19, 1281-1317. doi:10.1007/s11067-019-09466-5
- Dorogovtsev, S. N., & Mendes, J. F. (2013). *Evolution of networks: From biological nets to the Internet and WWW*. OUP Oxford.
- Ducruet, C. (2015). *Maritime networks: spatial structures and time dynamics*. Routledge.
- Ducruet, C., Cuyala, S., & El Hosni, A. (2018). Maritime networks as systems of cities: The long-term interdependencies between global shipping flows and urban development (1890–2010). *Journal of Transport Geography*, 66, 340-355. doi:10.1016/j.jtrangeo.2017.10.019
- Estrada, E. (2012). *The structure of complex networks: theory and applications*. Oxford University Press.
- Hossain, M. M., & Alam, S. (2017). A complex network approach towards modeling and analysis of the Australian Airport Network. *Journal of Air Transport Management*, 60, 1-9. doi:10.1016/j.jairtraman.2016.12.008
- Levinson, M. (2016). *The Box: How the Shipping Container Made the World Smaller and the World Economy Bigger-with a new chapter by the author*. Princeton University Press.
- Llaquet, J. L. (2007). *Mejora de la competitividad de un puerto por medio de un nuevo modelo de gestión de la estrategia aplicando el cuadro de mando integral*. Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica de Madrid.
- Lordan, O., Sallan, J. M., & Simo, P. (2014). Study of the topology and robustness of airline route networks from the complex network approach: A survey and research agenda. *Journal of Transport Geography*, 37, 112-120. doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.04.015
- Monfort, A., Aguilar, J., Gómez-Ferrer, R., Arnau, E., Martínez, J., Monterde, N., & Palomo, P. (2001). Terminales marítimas de contenedores: el desarrollo de la automatización. *Fundación Instituto Portuario de Estudios y Cooperación de la Comunidad Valenciana, Valencia*.
- Niavis, S., & Tsekeris, T. (2012). Ranking and causes of inefficiency of container seaports in South-Eastern Europe. *European Transport Research Review*, 4, 235-244. doi:10.1007/s12544-012-0080-y

-
- O'Kelly, M. E. (2015). Network Hub Structure and Resilience. *Networks and Spatial Economics*, 15, 235-251. doi:10.1007/s11067-014-9267-1
- Ouyang, M., Zhao, L., Hong, L., & Pan, Z. (2014). Comparisons of complex network based models and real train flow model to analyze Chinese railway vulnerability. *Reliability Engineering and System Safety*, 123, 38-46. doi:10.1016/j.res.2013.10.003
- Qing, Y. E. (2012). Vulnerability analysis of rail transit based on complex network theory. *China Safety Science Journal*, 2, 122-126.
- Regt, R., Ferber, C., Holovatch, Y., & Lebovka, M. (2019). Public transportation in Great Britain viewed as a complex network. *Transportmetrica A: Transport Science*, 15, 722-748. doi:10.1080/23249935.2018.1529837
- Robinson, R. (1968). *Spatial structuring of port-linked flows; The Port of Vancouver, Canada, 1965*. Ph.D. dissertation, University of British Columbia.
- Saberi, M., Rashidi, T. H., Ghasri, M., & Ewe, K. (2018). A Complex Network Methodology for Travel Demand Model Evaluation and Validation. *Networks and Spatial Economics*, 18, 1051-1073. doi:10.1007/s11067-018-9397-y
- Saurí, S., & Martín, E. (2011). Space allocating strategies for improving import yard performance at marine terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47, 1038-1057. doi:10.1016/j.tre.2011.04.005
- Soh, H., Lim, S., Zhang, T., Fu, X., Lee, G. K., Hung, T. G., & Wong, L. (2010). Weighted complex network analysis of travel routes on the Singapore public transportation system. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389, 5852-5863. doi:10.1016/j.physa.2010.08.015
- Stopford, M. (2008). *Maritime economics 3e*. Routledge.
- Strogatz, S. H. (2001). Exploring complex networks. *nature*, 410, 268-276.
- Thompson, A., Peteraf, M., Gamble, J., Strickland III, A. J., & Jain, A. K. (2013). *Crafting & executing strategy 19/e: The quest for competitive advantage: Concepts and cases*. McGraw-Hill Education.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, 14, 207-222. doi:10.1111/1467-8551.00375
- Wang, J., Mo, H., Wang, F., & Jin, F. (2011). Exploring the network structure and nodal centrality of China's air transport network: A complex network approach. *Journal of Transport Geography*, 19, 712-721. doi:10.1016/j.jtrangeo.2010.08.012
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. doi:10.1145/2601248.2601268

- Wu, G., Gu, C., Qiu, L., & Yang, H. (2018). Community detection based on preferred mode in bipartite networks. *Modern Physics Letters B*, 32. doi:10.1142/S021798491850330X
- Xu, Z., & Harriss, R. (2008). Exploring the structure of the US intercity passenger air transportation network: a weighted complex network approach. *GeoJournal*, 73, 87.
- Yang, Y., Liu, Y., Zhou, M., Li, F., & Sun, C. (2015). Robustness assessment of urban rail transit based on complex network theory: A case study of the Beijing Subway. *Safety Science*, 79, 149-162. doi:10.1016/j.ssci.2015.06.006
- Zamora Torres, A. I., & Pedraza Rendón, O. H. (2013). International transport as a competitive factor in foreign trade [El transporte internacional como factor de competitividad en el comercio exterior]. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 18, 108-118. doi:10.1016/S2077-1886(13)70035-0

APÉNDICE 1. LISTA DE PAPERS PUBLICADOS

- [A] **Álvarez, N.G.**, Adenso-Díaz, B. & Calzada-Infante, L. Maritime Traffic as a Complex Network: a Systematic Review. *Networks and Spatial Economics* (2021). <https://doi.org/10.1007/s11067-021-09528-7>.
- [B] Adenso-Díaz, B., **Álvarez, N.G.** & Alba, J.A.L. A fuzzy AHP classification of container terminals. *Maritime Economics & Logistics* 22, 218–238 (2020). <https://doi.org/10.1057/s41278-019-00144-4>.
- [C] **Álvarez, N.G.**, Adenso-Díaz, B. & Calzada-Infante, L. Identifying port maritime communities: application to the Spanish case. *European Transport Research Review* (2021). <https://doi.org/10.1186/s12544-021-00495-1>

APÉNDICE 2. ARTÍCULOS

Álvarez, N.G., Adenso-Díaz, B. & Calzada-Infante, L. Maritime Traffic as a Complex Network: a Systematic Review. *Networks and Spatial Economics* (2021).
<https://doi.org/10.1007/s11067-021-09528-7>.

(Artículo bajo suscripción del editor: *Networks and Spatial Economics*)

Adenso-Díaz, B., **Álvarez, N.G.** & Alba, J.A.L. A fuzzy AHP classification of container terminals. *Maritime Economics & Logistics* 22, 218–238 (2020). <https://doi.org/10.1057/s41278-019-00144-4>.

(Artículo bajo suscripción del editor: *Maritime Economics & Logistics*)

ORIGINAL PAPER

Open Access

Identifying port maritime communities: application to the Spanish case



Nicanor García¹, Belarmino Adenso-Díaz^{2*}  and Laura Calzada-Infante²

Abstract

The aim of this paper is to detect port maritime communities sharing similar international trade patterns, by a modelisation of maritime traffic using a bipartite weighted network, providing decision-makers the tools to search for alliances or identify their competitors. Our bipartite weighted network considers two different types of nodes: one represents the ports, while the other represents the countries where there are major import/export activity from each port. The freight traffic among both types of nodes is modeled by weighting the volume of product transported. To illustrate the model, the Spanish case is considered, with the data segmented by each type of traffic for a fine tuning. A sort of link prediction is possible, finding for those communities with two or more ports, countries that are part of the same community but with which some ports do not have yet significant traffic. The evolution of the traffics is analyzed by comparing the communities in 2009 and 2019. The set of communities formed by the ports of the Spanish port system can be used to identify global similarities between them, comparing the membership of the different ports in communities for both periods and each type of traffic in particular.

Keywords: Maritime traffic, Port communities, Spanish port system, Bipartite networks, Port competition, Port collaboration

1 Introduction

Maritime transport, which is responsible for around four-fifths of the world merchandise trade traffic, has proved to be the backbone of globalised trade and the manufacturing supply chain. Before the global economic and health crisis of COVID-19, in the last global report, forecasts for the period 2019–2024 predicted an increase of 3.4% for maritime transport in that period, with 11 billion tonnes and an estimated maritime trade of 793.26 million TEUs handled in container ports worldwide with the following distribution: 64% in Asia, 16% in Europe, 8% in North America, 7% in Latin America and the Caribbean, 4% Africa, and 2% Oceania [7]. In such a competitive and changing environment, it is critical to know the strengths available and all the information that

will allow the actors involved in maritime transport to make the right decisions.

The efficiency improvement in the port sector has been widely studied using various approaches such as data envelopment analysis (DEA) or stochastic frontier analysis (SFA), concluding that the information obtained assist maritime stakeholders' decision-making [18]. However, comparing ports within a given geographical scope has been less studied, as usually connections among ports are the objects of the study, and connections are not restricted to geographical closeness [16, 46].

In this regard, identification of ports with similar characteristics, such as commercial partners, location, technological skills or the learning and experience curve advantages over rivals, could help to identify possible ways of collaboration among them as well as to understand differentiating factors concerning other competing ports [60]. However, this identification process not only requires a great knowledge of the port environment, but also the use of high-level resources, involving both technological

* Correspondence: adenso@uniovi.es

²Escuela Politécnica de Ingenieros, Campus de Viesques, E-33204 Gijón, Spain
Full list of author information is available at the end of the article

tools and functional consultancy which are not always at the disposal of all ports. These tools may also have shortcomings, as they might not take into account all the aspects and variables involved in the categorisation of port infrastructures. This is why it is necessary to find tools to help port managers in the process of identifying port infrastructures with which they can be compared.

In addition, this identification process is not trivial given the lack of knowledge about other facilities, and the fact that research in maritime transport has been far less studied than other modes of transport, especially from a network perspective [20]. Many of the existing studies of this type are theoretical, based on simulation due to this lack of data [21]. One of the most common sources of information on which studies on maritime traffic are usually based are the annual reports and traffic published by each port infrastructure, as well as commercial tools that are not always available for the researchers.

Both in the scientific literature and in consulting studies, comparisons between different ports are usually established based on the exploitation variables of the said ports, or in terms of traffic comparisons, without taking into account a detailed analysis of the traffic of similar ports. As mentioned, the lack of data for decision-making and the difficulty of identifying ports with similar characteristics for a given type of traffic (either import or export flows) makes this approach hard.

This article proposes a novel method for grouping ports and countries with similar traffic patterns, which may serve as a useful tool for port managers to establish the most suitable collaboration or competition strategies with other port infrastructures. The proposed methodology for identifying the grouping of ports is based on Complex Network Analysis (CNA), a modeling tool that in recent years has been increasing its use in maritime studies [2]. The use of CNA techniques would allow to find groups of ports and countries, and within these “communities” (a.k.a. clusters), ports in the same group are those that have very similar markets and ultimately are fighting for similar cargoes. With this information it is possible to identify countries in the same community rather than a specific port but not having yet significant traffic with it. This “link prediction” process allows port managers to identify competing infrastructures, potential partners and countries where they are potentially competing for some specific commodities.

This paper is structured as follows: Section two reviews the most relevant literature, both on port strategy and on complex networks analysis. Section three explains the methodology followed and describes the dataset used. Section four describes some results for export and import flows along with the communities formed by these flows, and sections five and six are devoted to discussion and summarising the final conclusions.

2 Relevant literature

Given the global struggle for markets in maritime transport, it is not surprising that competition between ports has attracted the attention of scientific literature for over four decades with increasing interest since the late 1990s [41].

Competition between ports has been studied from multiple points of view such as the impact of competition on performance or the institutional competitive pressure [15], their hinterland accessibility [30] or using a Social Network Analysis (SNA) approach to discuss the research trends [37].

Ports are part of a supply chain in which the stakeholders and their preferences are very heterogeneous. In this context, it is impossible to understand the decision-making processes of each actor without considering that these processes are all related to each other [14].

Depending on the geographical location and the services offered, the degree of competence may differ [8] and in certain circumstances, a certain degree of collaboration may be more interesting than competition among different ports. This is the case of the adjacent ports, where it is particularly interesting to study the possibilities of competition and cooperation between them [47]. There are numerous examples in the scientific literature of cooperation between ports, such as the ports of Seattle and Tacoma, located 30 miles from one another [68], North Adriatic ports [56] or even cooperation in port investment between liner companies and ports [55].

There are also interesting examples that identify Port Cooperation Policies and homogeneous groups of ports in the Mediterranean region through traditional clustering techniques [28], port cooperation in connection with the governance structure of ports in Japan [53], port collaboration strategies in China [34, 57] and papers considering possible combination of both cooperative and non-cooperative strategies among ports [36]. Different market scenarios will lead to varying types of strategy, competition or cooperation. Li et al. [42] consider that when resources are abundant, more cooperation between ports will emerge, as this environment will encourage these phenomena given the advantages that cooperation will bring to ports in the face of competition.

Due to the rapid changes in the maritime sector, several strategies have emerged to quickly adapt to these changes, such as co-competition, whereby ports compete and cooperate simultaneously to achieve objectives of common interest among the actors involved [54]. Co-competition may vary according to different combinations of terminal ownership [39] and may be especially suitable in uncertain scenarios [64].

Although they are not too frequent, examples can be found of studies that look for similarities between

different players in the port business, or propose classifications that allow the ranking of port facilities such as container terminals in a certain area [1]. There are also examples of comparisons of port facilities in a certain geographical area, such as the study of the impact of large infrastructure projects in the port choice in the case of Colombia [62]. Other research studies have taken as reference data from the same geographical unit of this paper (NUTS-3), examining the spatial distribution of flows between the French NUTS-3 regions and the ports of Western Europe [31].

The reasons and policies to promote cooperation and integration of ports have been widely studied including the challenges in Port Integration, practices and models for Port Cooperation and the impediments for these kinds of efforts [48]. There are examples of studies in local environments on the preferences between cooperation and collaboration of neighboring ports, recommending proactive strategies of cooperation in the case study of Chilean ports [61]. The appropriate strategy for each case will depend on the special conditions of each environment and that is why the decision-makers will need to have as much information as possible in order to pursue collaborative or competitive strategies.

Most papers using that approach define the ports as nodes with links representing sea lines [24, 43], or other concepts related to maritime connections [19, 22, 45, 63].

A special type of network, the bipartite network, considers two different types of nodes in the graph. Examples of bipartite networks are found in modeling the people and social groups they belong to, the musical artists and musical genres they play, and the text documents and words they contain among others [32, 40].

Some other papers also define nodes representing ports and countries with which these ports have flows of import and export freight, being these flows the edges of the network. These studies have focussed on researching the connectivity to international markets of the countries [12], the bilateral connectivity in the liner shipping network [6], the vulnerability of international freights [13], and container shipping [66].

Although not particularly common, examples can be found in the literature on the study of communities in maritime traffic (i.e., ports strongly connected among them), such as the use of these communities to find co-operative networks and ‘hidden families’ in the container port industry [49], the search of community structures in cargo flows [38], maritime shipping networks [29, 58], and the seminal paper to find communities in maritime networks [23], which quoted the identification of tightly connected ports and the identification of bridge ports as a useful tool to “address inter-port cooperation”.

3 Methodology

3.1 Communities identification

A large number of clustering algorithms were defined, allowing the identification of communities in complex networks, that is, groups of nodes more closely connected among them (according to a particular measurable rule) than connected to the rest of the network. In the case of bipartite networks there are different methods for finding the communities structure of the graphs, some of them grouping only one type of node and other approaches forming communities in which both types of nodes are grouped together [65]. Extant algorithms are grouped into Modularity-Based Algorithms, Label Propagation Algorithms and Statistical Modelling and Minimum Description Length based (MDL) Algorithms [3].

Although it is possible to apply these kinds of algorithms directly to our dataset, experiments on real-world bipartite networks show that random walk based algorithms such as Louvain (a modularity-based algorithm) and Infomap (MDL algorithm) are more functional in detecting the communities in bipartite networks than the aforementioned algorithms [4]. The latter usually offers better results in bipartite networks applying it over its projected network [3, 67]. The projected network represents only one type of node, keeping the information of the whole network with its links, as Infomap works properly with weighted directed networks. For these reasons, Infomap has been the chosen algorithm to create communities for our data model.

The original concept of Infomap was developed by Rosvall & Bergstrom [52]. Multiple implementations of Infomap algorithm can be found in Bohlin et al. [11]. Infomap algorithm encodes the random walks, giving names to the nodes using the Huffman code [33]. The length of each code depends on the frequency that the random walk goes through, it being shorter for the nodes which are visited more frequently.

For each partition, it measures the description length in the map equation that comprises the entropy of the movements between the modules, and in the modules. The space of possible solutions is explored by a greedy search algorithm and refined with a simulated annealing approach that minimises the description length in the map equation.

3.2 Dataset

As a testbed for our approach to detect port communities, we have considered data corresponding to the Spanish foreign trade hauls through maritime ports. The Spanish State-owned Port System is made up of 46 ports of national interest, managed by 28 Port Authorities, whose coordination corresponds to the Public Agency “Puertos del Estado”, which is responsible for executing

the Government’s port policy. The activity of the state port system contributes nearly 20% of the GDP of the transport sector, representing 1.1% of the Spanish GDP and generating more than 35,000 direct jobs and about 110,000 indirect jobs [51].

Given the geographic particularity of the country, for some Spanish regions Portuguese ports are better connected and are more convenient for movement of their goods than using the national infrastructure. In that sense, two Portuguese groups of ports (namely Lisbon and Leixões) are being partially considered as part of the ports system studied here, only in what refers to Spanish origin/destination cargo. When there is evidence that Spanish import/export traffic is routed through these Portuguese ports, they are being included in the data set.

The above mentioned ports, as European ports, are integrated in the Trans-European Transport Network (TEN-T), which includes, in addition to the port infrastructures, railway lines, roads, inland waterways, maritime shipping routes, airports and railroad terminals. TEN-T Network comprises two network layers, namely “The Core Network” with the most important connections, initially composed of 83 ports, to be completed by 2030 and the Comprehensive Network covering all European regions with an initial number of 236 ports, to be completed by 2050 [26].

For this study, data are gathered from the database “Bases Portuarias” [9] that covers the 2009–2019 time

period. Goods are grouped according to the criteria established by the European Union to regulate the codes of customs declarations [25], which is used by all European ports to categorise their traffic.

The ports in the dataset are grouped by their province of origin NUTS-3 as described in [27]. Ports located in the same province are grouped in one unique node. This is for instance the case of the Port Authority of Vigo, Port Authority of Marín-Pontevedra and Port Authority of Vilagarcía, all located in Pontevedra province that will be referred to as “Pontevedra” in the text. The same applies for ports “Coruña/Ferrol” in Coruña province, “Gijón/Avilés” in Asturias, and the ports of “Algeciras/Cádiz”. The Portuguese ports of Lisbon, Setubal and Sines are kept grouped as the port of “Lisboa”. In some cases abbreviations and codes will be used to refer to the above-mentioned ports (see Fig. 1).

Data are grouped by the nature of the transported product (38 categories), according to nine statistical groups (Table 1) and the flow direction (import/export). For each product and flow direction, a bipartite network is defined and when there is a trade between a port and a country, this relationship is modeled by a link in the corresponding network. Due to the large number of types of links with a residual traffic (with few tonnes transported), those links with a contribution of less than 1% of the total traffic for a port are not considered as well as all those port-country links whose contribution

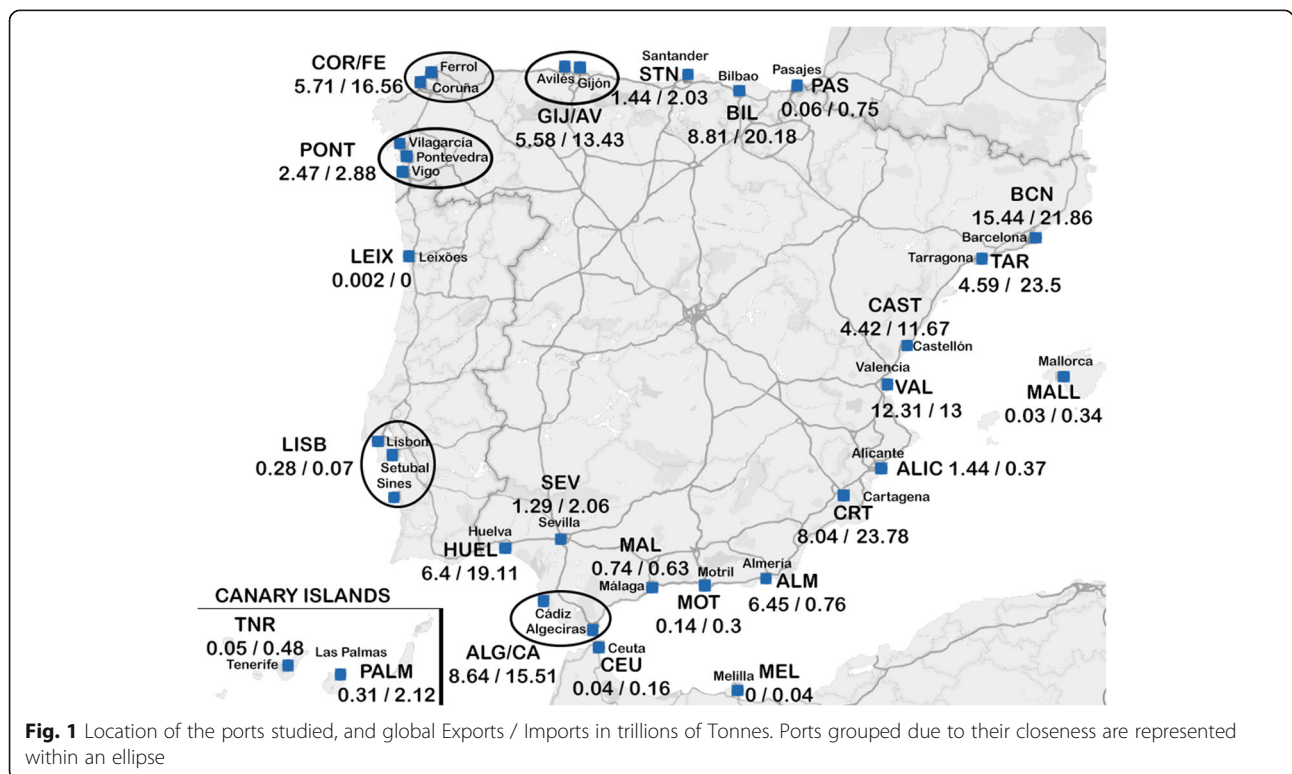


Fig. 1 Location of the ports studied, and global Exports / Imports in trillions of Tonnes. Ports grouped due to their closeness are represented within an ellipse

Table 1 Number of Export/Import links in the bipartite graphs corresponding to each type of product, in 2019

Statistical Group	Category	Export / Import links	Group Total Export / Import	Total Export / Import
1.- Energy	1.- Crude Oil	14/115	1915 / 1018	28,843 / 15,964
	12.- Coal and petroleum coke	129/128		
	2.- Fueloil	77/74		
	3.- Diesel fuel	100/68		
	35.- Natural gas	12/47		
	4.- Gasoline	229/78		
	51.- Biofuels	675/230		
	6.- Other petroleum products	625/224		
2.- Steelworks	7.- Energy gases from petroleum	54/54	2844 / 1856	
	10.- Other minerals and metal waste	362/347		
	11.- Iron scrap	72/153		
	13.- Steel products	1458/816		
3.- Non-Metallic Ores	36.- Other metallurgical products	934/520	955 / 328	
	8.- Iron Ore	18/20		
4.- Fertilizers	25.- Regular salt	270/53	702 / 409	
	52.- Other Non-Metallic Ores	685/275		
	14.- Phosphates	4/14		
5.- Chemical Products	15.- Potash	106/56	2758 / 1285	
	16.- Natural and artificial fertilizers	592/339		
6.- Construction Materials	17.- Chemical products	2758/1285	2699 / 1015	
	18.- Cement and clinker	205/44		
	20.- Elaborated construction materials	2365/932		
7.- Agricultural and Food	5.- Asphalt	129/39	7689 / 4044	
	21.- Cereals and their flours	397/319		
	22.- Soya beans	9/42		
	23.- Fruits, vegetables, legumes	746/548		
	24.- Wines, beverages, alcohols and derivatives	1403/380		
	27.- Canned food	1042/428		
	28.- Tobacco, cocoa, coffee, spices	742/504		
	29.- Oils and Fats	969/303		
	30.- Other food products	1287/580		
	33.- Frozen and refrigerated fish	368/573		
8.- Other Goods	37.- Feed and forage	726/367	7653 / 5109	
	19.- Wood and cork	705/400		
	26.- Paper and pulp	871/427		
	31.- Machine tool spare parts	2832/1773		
9.- Vehicles and Transport Elements	34.- Rest of goods	3245/2509	1628 / 900	
	32.- Automobiles and their Parts	1628/900		

per type of traffic is less than 1% in the national traffic. With this criterium each port conserves the relevant links for each type of traffic. The number of links for import and export for each category of traffic in 2019 are detailed in Table 1. The total number links for the available years and for the import and export flows is detailed in Table 2. It can be noted on one hand, a clear upward trend in the number of links for export flows,

which have increased by more than 50% from 2009 to 2019, and on the other hand, a slight growth in links for import traffic.

The sum of the tonnes transported between the port and the country in the case of export (or vice versa in the case of the import flow), is the weight of the edges in the bipartite networks, in millions of tonnes. With these input data (port, country and the tonnes of

Table 2 Number of links Port-Country in the bipartite networks, for import and export flows in period 2009–2019

Year	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Export	18,534	22,095	24,580	23,282	26,285	27,188	27,990	28,936	29,581	28,572	28,238
Import	13,654	13,736	13,470	13,766	14,079	14,768	15,040	15,394	15,562	15,645	15,583

product moved), it is possible to create a bipartite weighted network for the future identification of the communities formed by the nodes that comprise it.

The next step is to export these data into R [59] where the Infomap algorithm is implemented [17]. The input data correspond to the tuples port-country-millions of tonnes moved, are used by R to call *infomap* for the calculation of the communities. Once the calculations are made, all the results are exported to Gephi [10] for a more accurate visualisation.

4 Results

To illustrate the process, given the large amount of traffic categories, some products having a major impact on the GDP in 2019 [35] have been selected for a detailed analysis. According to Table 3, Automobiles and their components, as well as fuels (Biofuels in this case) became good candidates for this selection. Although they do not correspond exactly to the classification of the products of the dataset of origin, they do coincide for the most part, especially in the goods ranked on the top positions.

4.1 Export

4.1.1 Automobiles and their parts

Automobile export traffic occupies the first place in the ranking of traffic positions with the greatest impact on the Spanish gross domestic product (37,351 M€). According to official data from the sector's employers [5] in 2019 the automobile sector contributed 8.5% of the Spanish gross domestic product and 9% of the total employment of the active population that year, with the production of 2.8 millions of vehicles, of which 2.3

(81.84%) have been exported, accounting for 12.4% of the total exports from Spain.

The geographical proximity of some of the ports (as in the case of Vigo where PSA group is located, or Valencia with the Ford group) to the assembly factories of certain car brands, means that most cars manufactured in these facilities are exported through the geographically closest port, thus being a captive traffic. However, in the case of automobile factories geographically distant from the ports through which they can export, there may be competition among them for this type of traffic and the port that provides competitive advantages over the others will be able to move a greater quantity of products.

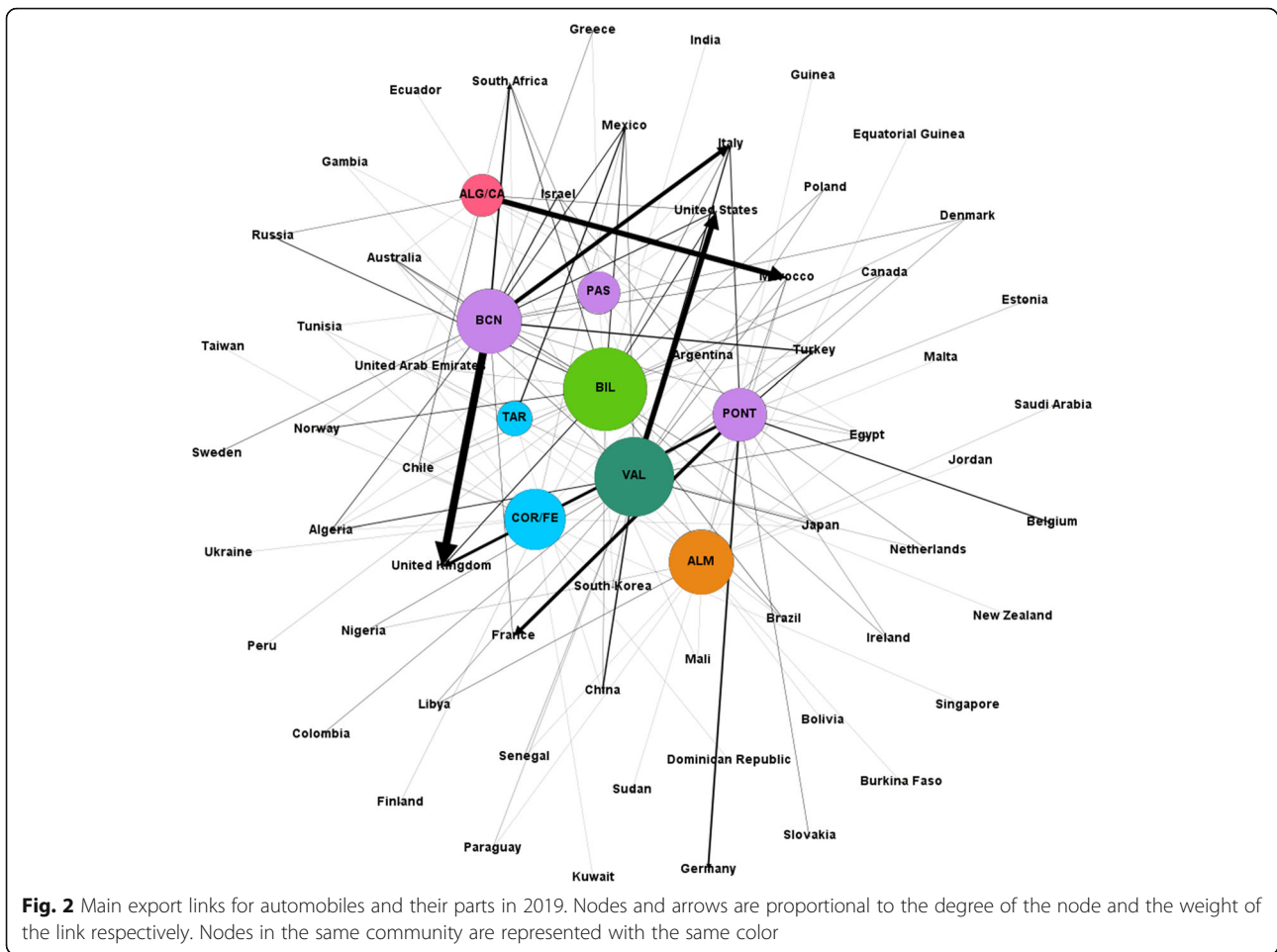
According to our dataset, the ports of Barcelona, Valencia, Pontevedra province, Bilbao and Algeciras/Cádiz occupy the first five positions for automobile traffic. These five sets of ports account for more than 90% of the total of this type of traffic. The most important port-country links are between Barcelona-UK, Algeciras/Cádiz-Morocco, Valencia-United States, Barcelona-Italy and Pontevedra-France (Fig. 2).

Looking for the communities in the bipartite graph, six clusters are formed (Table 4) with the ports of Barcelona, Pontevedra and Pasajes sharing cluster #1 (along with 14 countries that constitute their main export destinations for the Automobile traffic) and the ports of Tarragona and Coruña/Ferrol sharing cluster #5. The other clusters are composed of a single port.

In those communities with more than one port (such as #1 and #5), not all the countries in the community show significant trade of that product with all the ports in the cluster. This means for a specific port that other ports in the cluster are exporting to countries it is not

Table 3 Products with the greatest economic impact on Spanish gross domestic product in 2019. Source: [35]

Export		Import	
Product	M€	Product	M€
1. Automobiles	37,351	1. Chemical Products	44,866
2. Chemical Products	33,627	2. Fuels and Lubricants	42,657
3. Automobile Components	18,293	3. Automobile Components	24,846
4. Fuels and Lubricants	16,584	4. Automobiles	22,100
5. Textile Garments	11,806	5. Textile Garments	16,007
6. Foundry and steel products	11,195	6. Electronics and computers	14,697
7. Other unprocessed products	82,017	7. Foundry and steel products	11,022
8. Fresh and frozen fruits	7882	8. Electrical equipment	6981
9. Fresh Vegetables	6387	9. Fish and Seafood	5682



trading with. This is a sort of “link prediction” that could be useful to find potential markets that are expected for those ports.

4.1.2 Biofuels

The export of this type of traffic is clearly dominated by the port of Barcelona, taking up more than half of the

total traffic of the Spanish port system for this type of commodity, followed at a great distance by the ports of Valencia, Algeciras/Cádiz, Bilbao and Huelva.

In 2019 the port of Barcelona presented a very significant growth of this type of traffic, 92.2%, which made it reach 1.4 million tonnes [50] taking most of the overall increase in biofuels within the Spanish

Table 4 Communities and link prediction for the “Automobiles and their parts” export graph, in 2019. Size means number of ports + number of countries in the community

Cluster #	Size	Ports	Missed potential markets
1	3 + 14	Barcelona Pontevedra Pasajes	Belgium, Estonia, Germany, Netherlands, Slovakia. Greece, South Africa, Sweden. Belgium, Denmark, Estonia, France, Germany, Netherlands, Slovakia, Sweden, Turkey, United Kingdom.
2	1 + 9	Valencia	
3	1 + 12	Bilbao	
4	1 + 4	Algeciras/Cádiz	
5	2 + 9	Tarragona Coruña/Ferrol	Dominican Republic, Kuwait, Malta, Singapore, Taiwan, Ukraine. New Zealand
6	1 + 10	Almería	

port system from 5 million tonnes in 2018 to 6.5 million tonnes in 2019.

Despite the clear dominance of Barcelona in this traffic, the relative uniformity of export traffic to certain countries, makes Infomap detect a large community formed by five ports, namely Barcelona, Cartagena, Algeciras/Cádiz, Castellón and Coruña/Ferrol, altogether with nine countries (Table 5). Regarding the rest of the detected communities is remarkably the case of the port of Valencia, which is not grouped with any other port but the algorithm includes it in a large community with 17 countries, which gives an idea of the dispersion of its traffic.

The great predominance of the port of Barcelona over the others results that unsurprisingly, the five most important links for the export of this material are those formed by the aforementioned port with Italy, France, the Netherlands, the United Kingdom and Bulgaria. It is significant that, although the high weight of the links of the port of Barcelona with the countries with which it has traffic clearly dominates the export market for this product, the port of Valencia, as mentioned above, has many links with a much smaller weight, but with many countries. This makes its degree within the graph much higher and therefore it is represented by a node of a much larger size than the other ports (Fig. 3).

4.2 Import

4.2.1 Automobiles and their parts

The 17 vehicle manufacturing plants installed in Spain require the supply of automotive component parts for their assembly and the production of the cars that in most cases are aimed at export, as indicated above. The import of these goods is led mainly by the ports of Pontevedra, Valencia and Barcelona, adding among these three ports more than 80% of the total imports.

The ports in Pontevedra province, where the PSA Groupe is located, do not share a community with any other port as the vast majority of traffic come from

France. The application of Infomap to this traffic detects a large community formed by 20 nodes, which include the ports of Valencia, Tarragona, Barcelona, Bilbao and Algeciras/Cádiz. These data and the link prediction for the ports in the cluster can be seen in Table 6.

Despite the predominance of the ports in Pontevedra for this traffic, and the fact of only having links with France and Italy, make the degree within the network very small (Fig. 4).

4.2.2 Biofuels

As previously mentioned, the export traffic of this product is strongly dominated by the port of Barcelona, but in the case of imports, the port of Huelva leads imports, followed by the port of Barcelona. Both ports monopolise more than 80% of total imports for this commodity. The presence of important production, storage and distribution infrastructures in the port of Huelva, helps to consolidate its leadership position.

Despite the leading position of both ports, the differences among the countries of origin of the import traffic make them appear in different communities. The port of Huelva shares a community with the ports of Algeciras/Cádiz, and the port of Barcelona shares a cluster with the ports of Coruña/Ferrol. The ports of Bilbao and Valencia appear in the third of the communities for this type of import traffic. The details of the communities and the link prediction is shown in Table 7.

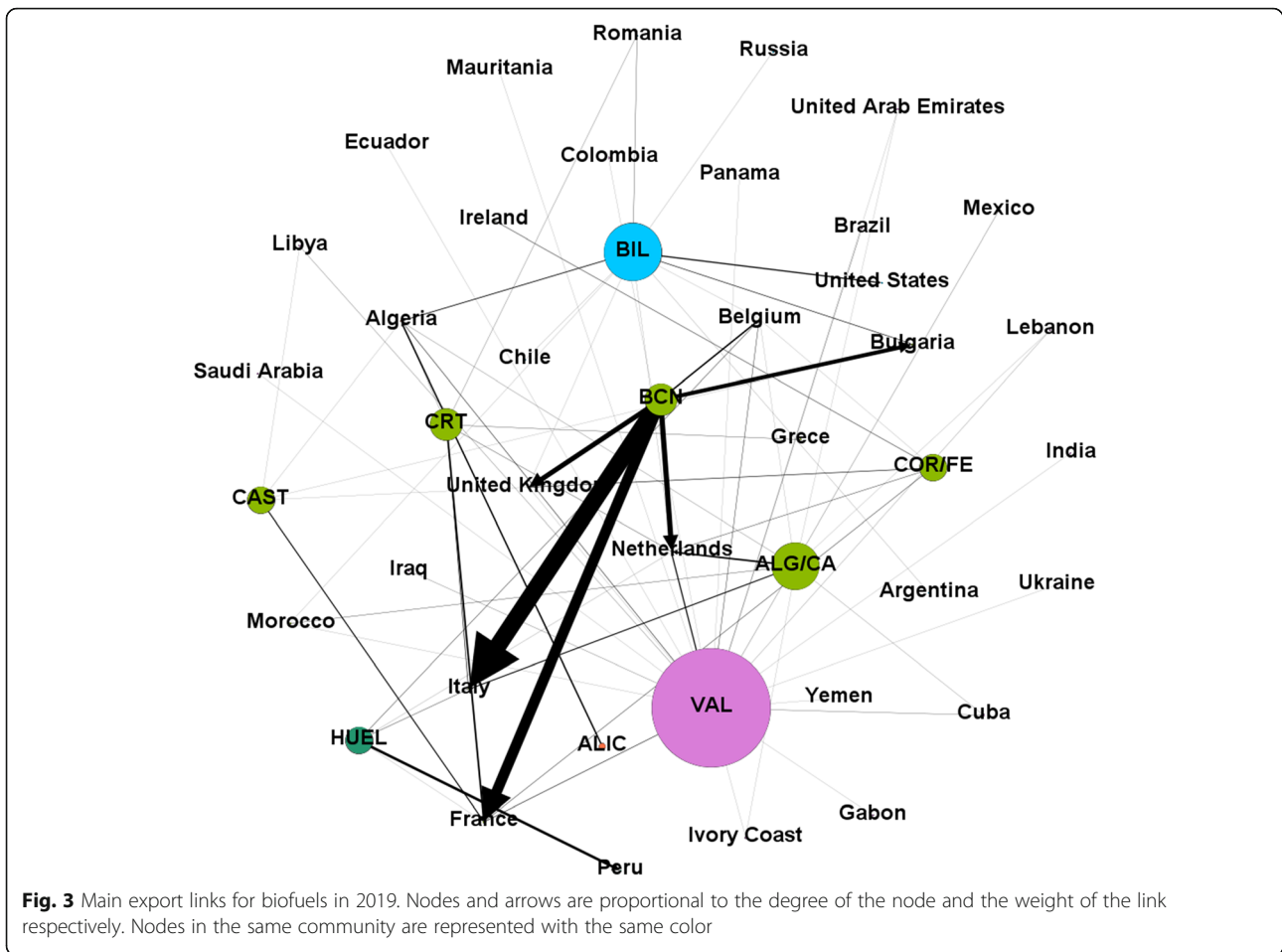
The three links with more weight have as a destination the port of Huelva, and come from Indonesia, Malaysia and Argentina. In spite of this, although with smaller weights, the port of Barcelona presents many more connections and therefore it is represented with a larger node (Fig. 5).

4.3 Port communities identification

The procedure described in the previous section for the two types of products selected illustrate the approach

Table 5 Communities and link prediction for “Biofuels” export graph, in 2019. Size means number of ports + number of countries in the community

Cluster #	Size	Ports	Missed potential markets
1	5 + 9	Barcelona Cartagena Algeciras/Cádiz Castellón Coruña/Ferrol	Greece, Ireland, Morocco. Belgium, Bulgaria, Ireland, Morocco, United Kingdom. Bulgaria, France, Greece, Ireland, United Kingdom. Belgium, Greece, Ireland, Italy, Morocco, Netherlands. Bulgaria, Greece, Italy, Morocco.
2	1 + 17	Valencia	
3	1 + 5	Bilbao	
4	1 + 1	Alicante	
5	1 + 1	Huelva	



proposed in this paper for the identification of port clusters. For a full analysis, it has been repeated for the import and export trade for the 38 categories of products with available data, for both the first and last years of the data set (2009 and 2019).

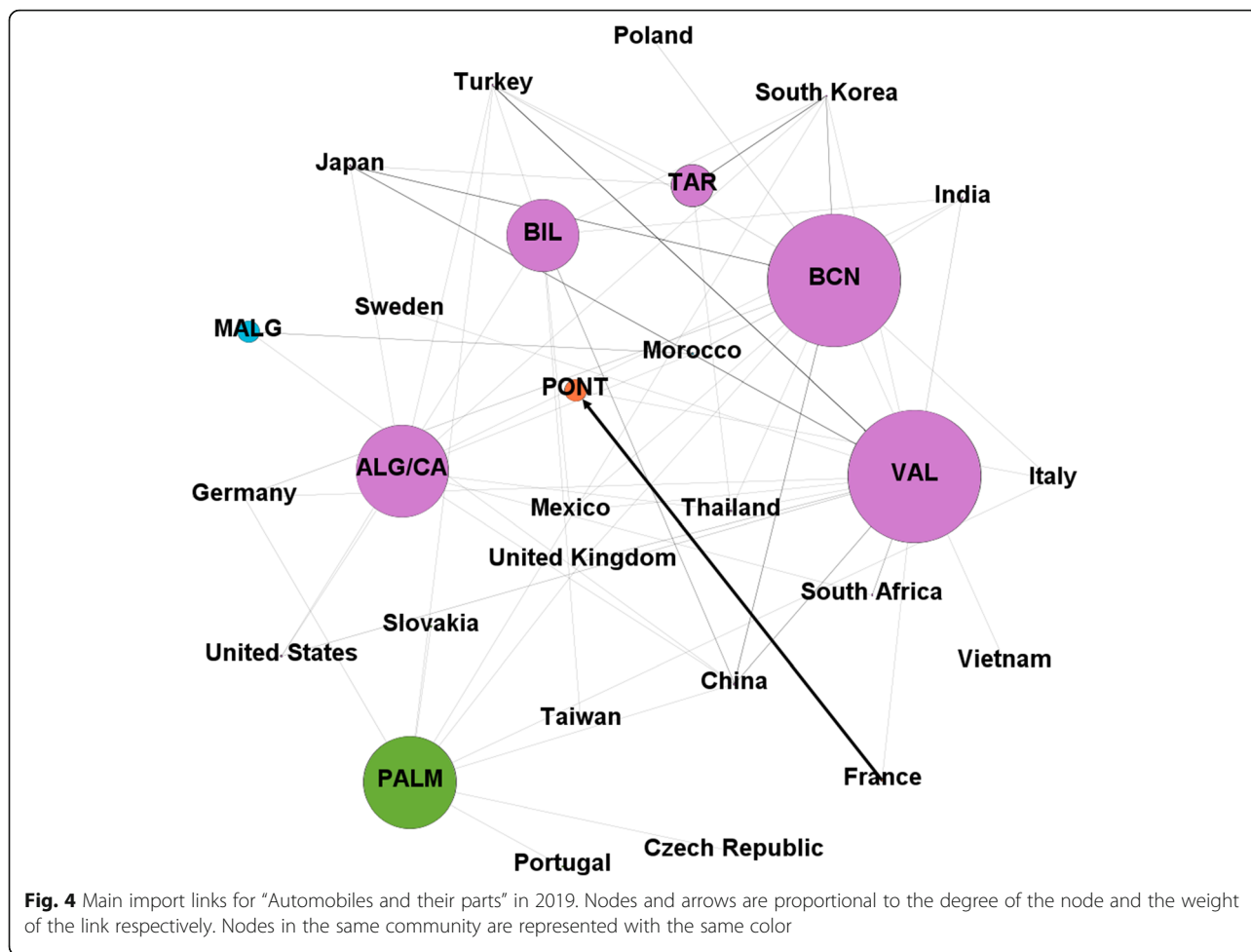
The application of the algorithm to all export traffic in 2009 detects 55 communities having two or more ports grouped together. The procedure for import flows detects 46 clusters having two or more ports. Regarding

2019, 58 communities with two or more ports were detected considering export flows, and 57 clusters for import flows. Based on the assumption that the more communities share two ports the more similar the traffic handled by those two ports will be, the number of times two ports share a community is calculated as a proxy of the similarity of the ports regarding their international trade.

A summary of the overall results is shown in Table 8, in which for each port the ports with which it shares

Table 6 Communities and link prediction for the “Automobiles and their parts” import graph, in 2019. Size means number of ports + number of countries in the community

Cluster #	Size	Ports	Missed potential markets
1	5 + 15	Valencia	Italy, Poland, Taiwan, Vietnam.
		Tarragona	China, India, Italy, Mexico, Poland, South Africa, Sweden, Taiwan, United Kingdom, United States, Vietnam.
		Barcelona	South Africa, Sweden, Taiwan, United States.
		Bilbao	Italy, Japan, Poland, South Africa, Sweden, Thailand, United Kingdom, Vietnam.
		Algeciras/Cádiz	Italy, Mexico, Poland, Sweden, Taiwan, United Kingdom, Vietnam.
2	1 + 1	Pontevedra	
3	1 + 4	Las Palmas	
4	1 + 1	Málaga	



more communities for the years 2009 and 2019 are listed, both for export and import, considering the 38 product categories in the data base.

Although the Portuguese ports have been included in this study and it may be interesting to consider the routing through them of certain goods in the south-west of Spain, it can be noted that only the port of Lisbon shares communities with Spanish ports in the year 2019, while

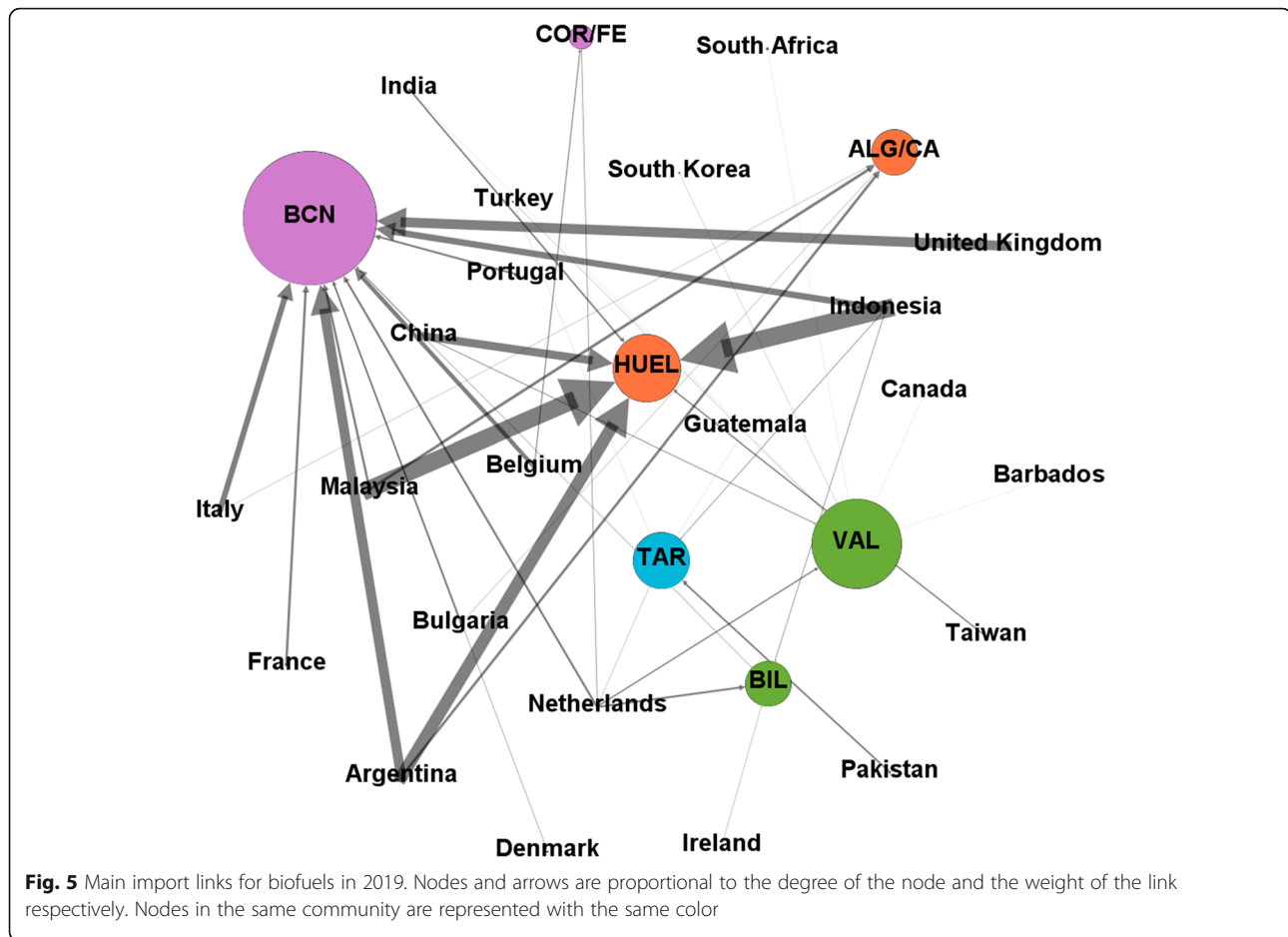
in 2009 it did not share any community with another Spanish port.

5 Discussion

López-Bermúdez et al. [44] proposed a classification of the 28 Spanish port authorities in a time period (2011 to 2018) similar to that studied in our research. Although this paper does not differentiate between import and

Table 7 Communities and link prediction for “Biofuels” import graph, in 2019. Size means number of ports + number of countries in the community

Cluster #	Size	Ports	Missed potential markets
1	2+6	Huelva Algeciras/Cádiz	China, India, Indonesia, Taiwan.
2	2+7	Barcelona Coruña/Ferrol	Bulgaria, Denmark, France, Italy, Portugal, United Kingdom.
3	2+7	Bilbao Valencia	Barbados, Canada, South Africa, South Korea, Turkey. Ireland.
4	1+2	Tarragona	



export flows nor analyse the different categories of products beyond their mode of presentation, it is interesting to note the coincidence of some of the ports listed in the above classifications and the communities that share the ports in this study. Ports of Algeciras, Barcelona and Valencia (along with others) are included within the ports specialised in containerised cargo and share a large number of communities.

The fine grain analysis of our study and the different results for import and export flows means that a greater number of communities do not always coincide with the general classification of ports proposed in the above-mentioned paper, but similar results can be seen in some cases, such as in the case of solid bulks, which includes the ports of Coruña, Huelva, Motril, Cartagena and Tarragona. The calculation of the communities to which ports and countries belong for a certain type of cargo provides a reliable indicator of the possibilities of competition or collaboration for this particular traffic.

According to the official statistics of Puertos del Estado [51], in 2009 the top five positions of total traffic in the Spanish port system were occupied by the ports of Algeciras, Valencia, Barcelona, Bilbao and Tarragona.

In 2019 the total traffic of goods in the Spanish port system was occupied in its first four places by the same ports of 2009 with the port of Cartagena (which ranked eighth in 2009) now in fifth place, replacing the port of Tarragona.

As mentioned in the previous section, once we know the communities to which the ports of the Spanish port system belong to for each of the goods, it can be inferred that the more communities two ports share, the more similar these ports will be, and therefore the more possibilities they will have to establish cooperation mechanisms among them.

Reviewing the results in Table 8, it can be seen that the highest number of communities shared by any two ports occur in the four largest ports of the Spanish system. For instance, in 2019 Barcelona shared 18 importing communities with Valencia and 10 with Bilbao, and Valencia 11 with Bilbao. Algeciras shared with Barcelona and Valencia most of their communities. Also, the geographical location seems to be relevant. Note also the great similarity in the importations of the Canarian ports (Tenerife and Las Palmas) which share a large number of communities for import traffic in the 2 years of the time series considered.

Table 8 For each port in the study, number of times that another port belongs to the same community, taking into account the 38 product categories. Ports are grouped into brackets when they share the same number of communities. Data for export (CE) and import (CI) flows in 2009 and 2019

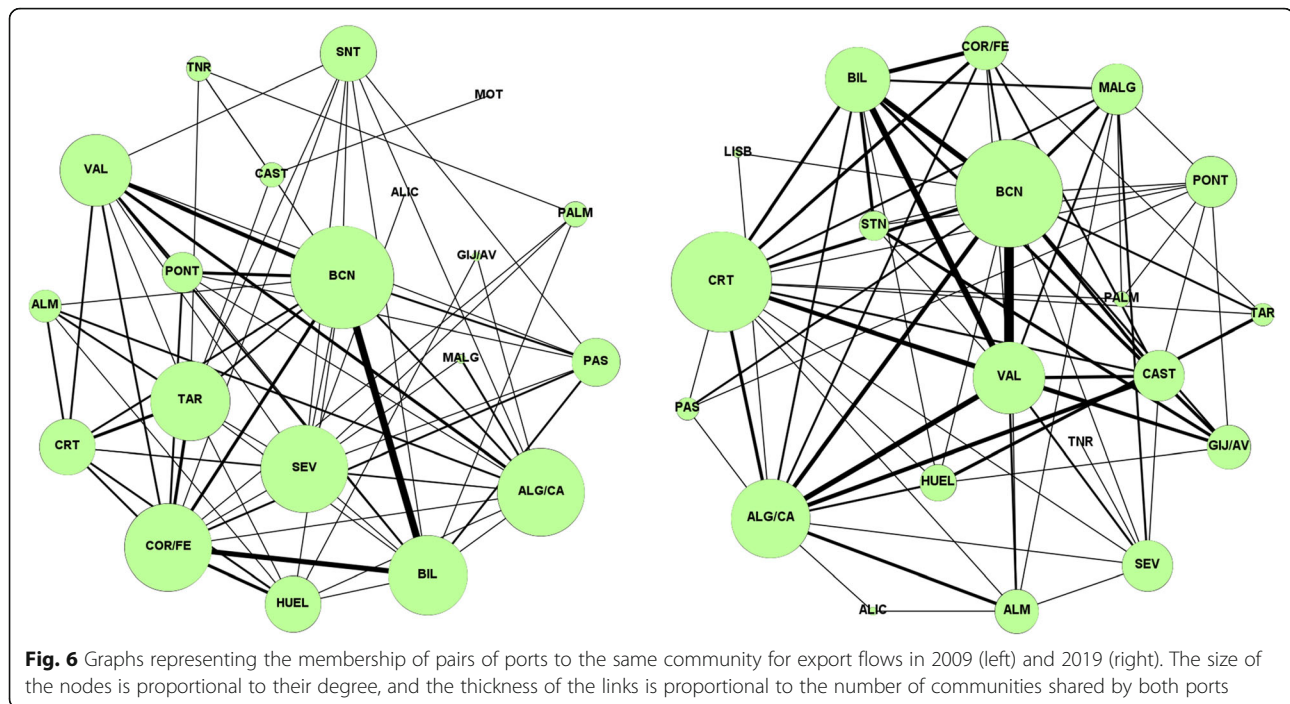
PORT	CE 2009	CE 2019	CI 2009	CI 2019
ALG/CA	3-VAL; 2-{BCN, ALM}	5-VAL; 4-BCN; 3-{ALM, CRT}	5-BCN; 4-{VAL, HUEL, SNT, CRT, BIL, SNT}	4-{VAL, BCN}; 3-HUEL
ALIC	1-SEV	1-{ALG/CA, ALM}	1-{ALG/CA, ALM, SEV}	2-SEV
ALM	2-{ALG/CA, CRT, TAR}	3-ALG/CA; 2-VAL; 1-{CRT, BCN, ALIC, SEV, MALG}	2-{ALG/CA, CRT, BCN, VAL, TAR}	1-{ALG/CA, CRT, BCN, VAL}
BCN	7-BIL; 4-VAL; 3-{COR/FE, PONT}	9-VAL; 5-BIL; 4-ALG/CA	8-VAL; 5-{BIL, PONT, ALG/CA, CRT, HUEL, TAR}	18-VAL; 10-{BIL, COR/FE}
BIL	7-BCN; 5-COR/FE; 2-{VAL, PAS}	6-VAL; 5-BCN; 4-COR/FE	5-{BCN, VAL, PONT}	11-VAL; 10-BCN; 7-PONT
CRT	3-TAR; 2-{COR/FE, HUEL, VAL, ALM}	4-VAL; 3-{COR/FE, BCN, ALG/CA, BIL}	5-BCN; 4-ALG/CA; 3-{TAR, HUEL, VAL}	7-BCN; 6-{VAL, TAR}; 5-CAST
CAST	1-{BCN, TNR, TAR, MOT}	3-{BCN, VAL}; 2-{COR/FE, CRT}	3-{TAR, BCN}; 2-VAL	5-{CRT, TAR}; 3-{BCN, VAL, COR/FE, BIL}
CEU	-	-	-	1-GIJ/AV
COR/FE	5-BIL; 3-{BCN, TAR, HUEL}	4-BIL; 3-CRT; 2-{BCN, ALG/CA, CAST}	3-{VAL, ALG/CA}; 2-{BIL, BCN, PONT, TAR, SNT}	10-BCN; 7-VAL; 6-PONT
GIJ/AV	1-{HUEL, ALG/CA}	3-{SNT, VAL, BIL}	1-ALG/CA	6-VAL; 4-{BIL, BCN, HUEL}
HUEL	3-COR/FE; 2-CRT; 1-GIJ/AV	3-TAR; 2-ALG/CA; 1-{CRT, GIJ/AV, BIL, BCN}	5-BCN; 4-ALG/CA; 3-{CRT, TAR}	6-TAR; 4-{CRT, GIJ/AV}
PALM	1-{BIL, COR/FE, SEV, TNR}	1-PONT	5-TNR; 1-SEV	6-TNR; 2-{PONT, COR/FE}
LISB	-	1-{ALG/CA, BCN}	-	2-{VAL, BCN}; 1-{ALG/CA, PONT}
MALG	2-ALG/CA; 1-SEV	3-BCN; 2-{SEV, CRT, VAL}	1-{BCN, CRT, VAL, ALM, ALG/CA, MOT}	2-SEV; 1-{CRT, BCN, VAL, PONT}
MALL	-	-	2-TAR; 1-{VAL, TNR}	2-VAL; 1-{TNR, SNT, PONT}
MEL	-	-	1-{VAL, TNR, PAS}	-
MOT	1-CAST	-	2-VAL; 1-{CAST, SEV, TAR, PAS, STN, MALG}	2-{VAL, STN, PAS, PONT}
PAS	2-{BCN, BIL, COR/FE}	2-BCN; 1-{PONT, CRT, ALG/CA}	2-BCN; 1-{ALG/CA, CRT, SEV, SNT, VAL, MOT, MEL}	5-{BCN, BIL}; 4-{COR/FE, VAL}
PONT	3-BCN; 2-{COR/FE, VAL}	1-{BCN, PAS, MALG, CRT, PALM, GIJ/AV, CAST, STN}	5-{BIL, BCN}; 4-VAL	9-VAL; 8-BCN; 7-BIL
SNT	1-{BIL, BCN, VAL, TAR, SEV, PAS}	3-{BIL, GIJ/AV}; 1-{BCN, VAL, PONT}	4-{BCN, VAL, TAR, ALG/CA}	4-{BCN, VAL, PONT, TAR, COR/FE}
SEV	1-{BCN, VAL, ALG/CA, TAR, SNT, COR/FE}	2-{VAL, MAL}; 1-{BCN, CRT, ALG/CA, TNR, ALM, CAST}	2-BCN; 1-{VAL, CRT, TNR, ALM, CAST, PAS, BIL, TAR, PALM, ALIC, MOT}	3-{BCN, COR/FE, BIL, TAR}
TAR	3-{COR/FE, CRT}; 2-{BCN, ALM}	3-HUEL; 2-BCN; 1-{COR/FE, CRT}	5-{BCN, VAL}; 4-SNT	8-{BCN, VAL}; 6-{HUEL, CRT, BIL}
TNR	1-{TAR, BCN, CAST, PALM}	1-SEV	5-PALM; 2-{BCN, TAR}	6-PALM; 3-{BCN, VAL}
VAL	4-BCN; 3-ALG/CA; 2-{COR/FE, CRT, BIL, PONT}	9-BCN; 6-BIL; 5-ALG/CA	8-BCN; 5-{TAR, BIL}; 4-{ALG/CA, PONT, SNT}	18-BCN; 11-BIL; 9-PONT

To graphically represent the membership of the ports of the Spanish port system to the communities detected by the Infomap algorithm for each of the traffics, some non-directed networks have been created that have the ports themselves as nodes. There is a link between a pair of nodes if they share at least one community among them for the year of study and the type of the traffic being analysed, and this link will have as weight the number of communities these ports share. The size of the nodes will be plotted in accordance with the degree of each node within the graph (that is, the number of competitors), while the width of the links will be represented as a function of their weight (that is, the intensity of

competition between both ports measured as the number of products in which they compete).

Figure 6 shows the ports that share export traffic communities for 2009 and 2019. It can be observed for 2009 the high degree of the port of Barcelona, meaning that it shares communities (similar trading) with a large number of ports, notably with Valencia and Bilbao. A similar degree is noted for the ports of Algeciras/Cádiz, in this case with much smaller weight of the links (many “competitors” but for less products).

Comparing with 2019, Barcelona is still the largest node but it is notable the increment of the width of the links among Barcelona, Valencia and Bilbao. The



competition among this “big 3” is much more intense 10 years later. There is a greater number of ports sharing a community than in 2009 and the increase in the grade of the port of Cartagena is noteworthy. It is easy to visually distinguish the figure as the weight and number of links has risen considerably in 2019 in comparison with the initial situation in 2009.

The evolution of the import was smoother than in the case for exports. As shown in Table 2, the total number of links in the graphs show growth of only a 14% against the 44% of the exports’ links. That is, there was a more intense export action than import in the ports’ strategy. Figure 7 shows the evolution of the communities that ports share in 2009 and 2019. For 2009, several ports with a similar degree visually stand out in the figure, namely the ports of Valencia, Barcelona, Algeciras/Cádiz. 2019 shows a large number of links and a degree of the nodes with not as many variations as in the previous cases. It can be noted a large number of links with a high weight, and a trend towards homogenisation in the degree of nodes in relation to 2009.

The most outstanding aspects of the time evolution of export flows include the increase in the degree (greater number of times sharing communities with other ports) of Cartagena, Malaga and Gijon/Avilés, and the decrease in the degree of the ports of Tarragona and Coruña/Ferrol. As for the import flows, it is worth noting a greater number of links than the export flows (there is a larger number of communities formed by two or more ports) and that the degree of the nodes is more similar in this case than in the export flows, in which there are great

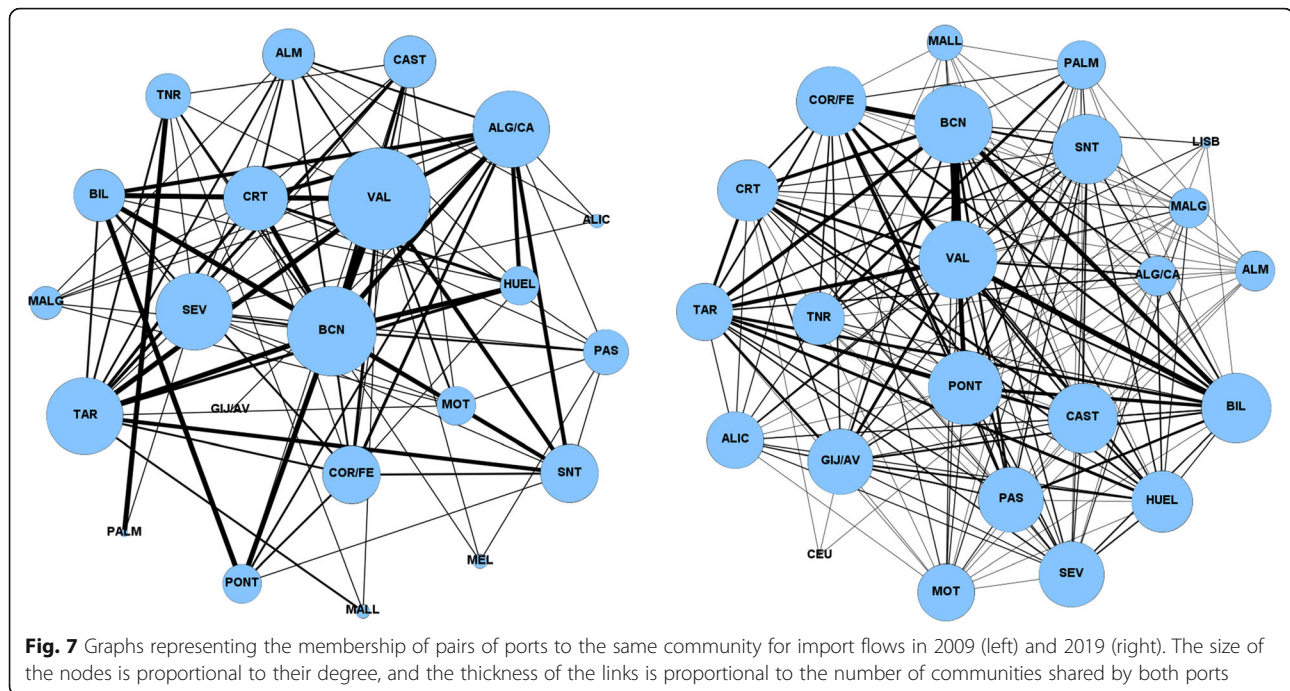
variations in the degree of the nodes, both for 2009 and 2019.

6 Conclusions

From the best knowledge of the authors, this work is a pioneer in analysing the international traffic to categorise the port system of a country from the perspective of complex networks, with a fine grain comparison that may allow the analysis of business opportunities for the ports included in the survey.

The communities that a port shares with the ports in its area, and the countries that are part of the cluster with them, can provide valuable information for the subsequent analysis of the causes that have produced this evolution and thus decide the most appropriate strategies for the management of their ports.

The observation of the figures representing the communities for the goods surveyed in the previous sections in the Spanish case show that for certain commodities some ports dominate the import or export market with traffics from (or to) a very small number of countries. The fact of having few large links (supply of a certain product with origin or destination in a small number of countries) can lead to a problem of vulnerability for the port, given that an event that disrupts connectivity between a country with strong connections to a given port, could cause a critical problem in the supply chain and the shortage of the traffic involved. For this reason, it has been preferred to include both the grade of the ports and the weight of the links in the graphic representation of the selected traffics.



One of the most interesting tools for traffic analysis is the “link prediction” for each type of traffic, as illustrated in the selected traffic of section 4. The absence of traffic with a certain country for ports that share a community allows us to identify countries that can be a commercial objective (potential markets) for the capture of the studied cargo.

The sum of the membership of the ports to the communities described above and its graphical representation, allows to verify for both export and import flows, the evolution of the ports during the period of time covered by the study. In this graphic representation can be noted the similarities between the ports with more movement of goods within the Spanish port system: Valencia, Barcelona and Algeciras, located the first two on the Mediterranean façade and in the Strait of Gibraltar the third. Far from there in the north facade, the port with more movement of tonnes and more regular lines, Bilbao, also shares a great number of communities with these ports.

These ports are included as “Core Ports” in the two Core Network Corridors of the TEN-T Core Network crossing the Iberian Peninsula, namely the Mediterranean and the Atlantic Corridors. Belonging to this network means benefiting from public aid and being considered strategic nodes within the European supply chain. This network also includes the Portuguese ports included in this study, and the ports of Cartagena and Tarragona.

The evolution of the TEN-T network is still in the design process and there are initiatives to include part of

the ports on the Cantabrian coast in the Core network. There is no doubt that this decision will affect the future of the ports and the regions of their areas of influence due to the fact that the largest public investments will be concentrated in the Core ports of the European network.

It must be noted that the ports that appear together in one of the detected communities are not necessarily competitors. There is no doubt that large ports, having a greater number of lines than small ports will tend to appear in a greater number of communities than small ports among themselves. Ports with very different sizes and business models may appear in the same community if they have similar traffic (countries of origin or destination) for a given commodity type. However, similar traffic must be identified and placed in context with the rest of the information available on that cargo before taking further steps on possible collaborations or exploring business opportunities for a specific cargo in a particular port.

The creation of communities for specific traffics described in this study should be understood as a high-level functional consultancy tool for port managers which, along with the rest of the available tools, can assist decision-making in such a competitive and evolving environment as the maritime sector.

This study aims to be a valuable tool that can be incorporated into the rest of the information available for port managers and global decision-makers in order to take the most appropriate decisions in each case.

As future research, it could be interesting to extend this research to other regions or to other ports with

different temporal scopes. This would require the availability of systematised and standardised initial data in the same way as the dataset used in this research.

An interesting issue to study could be to test whether the regulation, governances and even the port culture itself have influence in the communities formed. Once used our approach (in the Spanish system or any other area) to identify the clusters, a post analysis could check if those characteristics of each port are influencing the communities formation. In any case, the lack of data has proven to be one of the most important impediments to the study of maritime traffic in general.

Acknowledgements

The authors are grateful to Eduardo Oviedo for allowing access to *Bases Portuarias* database and for his advice on the consistency of the data.

Authors' contributions

NG: Data gathering; Literature review; Data Analysis; Paper writing; BAD.: Research framework; model supervision; Paper writing; LC: Data analysis; Model supervision. The author(s) read and approved the final manuscript.

Funding

This research was carried out with partial financial support from the Spanish Ministry of Science and the European Regional Development Fund (ERDF) grant DPI2017-85343-P.

Availability of data and materials

The authors provide under request the filtered data used in this study.

Declaration

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Port Authority of Gijón, Gijón, Spain. ²Escuela Politécnica de Ingenieros, Campus de Viesques, E-33204 Gijón, Spain.

Received: 20 January 2021 Accepted: 31 May 2021

Published online: 22 June 2021

References

- Adenso-Diaz, B., Álvarez, N. G., & Alba, J. A. (2019). A fuzzy AHP classification of container terminals. *Maritime Economics & Logistics*, 1–21. <https://doi.org/10.1057/s41278-019-00144-4>.
- Álvarez, N. G., Adenso-Diaz, B., & Calzada-Infante, L. (2021). Maritime traffic as a complex network: A systematic review. *Networks and Spatial Economics*. In press. <https://doi.org/10.1007/s11067-021-09528-7>.
- Alzahrani, T., & Horadam, K. J. (2016). Community detection in bipartite networks: Algorithms and case studies. *Understanding Complex Systems*, 73, 25–50. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47824-0_2.
- Alzahrani, T., Horadam, K. J., & Boztas, S. (2014). Community detection in bipartite networks using random walks. *Studies in Computational Intelligence*, 549, 157–165. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05401-8_15.
- Anfac. (2019). 2019 annual report. Retrieved October 1, 2020, from https://anfac.com/wp-content/themes/anfac/informe19/pdf/ANFAC_Informe_Anuo_L_2019.pdf
- Ansorena, I. L. (2018). Bilateral connectivity in the liner shipping network: an overview. *World Review of Intermodal Transportation Research*, 7, 295–309. <https://doi.org/10.1504/WRITR.2018.095255>.
- Asariotis, R., Benamara, H., Finkenbrink, H., Hoffmann, J., Lavelle, J., Misovicova, M., ... Youssef, F. (2019). Review of Maritime Transport, 2019. Tech. rep., UNCTAD.
- Balliau, M., Kort, P. M., & Zhang, A. (2019). Capacity investment decisions of two competing ports under uncertainty: A strategic real options approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, 122, 249–264. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.01.007>.
- Bases Portuarias. (2020). Accessed dates August 9, 2020, from <http://www.basesportuarias.com/otras-bases-de-datos>
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. Retrieved from <http://www.aiai.org/ocs/index.php/CWSM/09/paper/view/154>
- Bohlin, L., Edler, D., Lancichinetti, A., & Rosvall, M. (2014). Community detection and visualization of networks with the map equation framework. In *Measuring scholarly impact*, (pp. 3–34). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_1.
- Calatayud, A., Mangan, J., & Palacin, R. (2017a). Connectivity to international markets: A multi-layered network approach. *Journal of Transport Geography*, 61, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.04.006>.
- Calatayud, A., Mangan, J., & Palacin, R. (2017b). Vulnerability of international freight flows to shipping network disruptions: A multiplex network perspective. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 108, 195–208. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.10.015>.
- Castelein, R. B., Geerlings, H., & Duin, J. H. (2019). Divergent effects of container port choice incentives on users' behavior. *Transport Policy*, 84, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2019.04.010>.
- Cheon, S. H., Song, D.-W., & Park, S. (2018). Does more competition result in better port performance? *Maritime Economics and Logistics*, 20, 433–455. <https://doi.org/10.1057/s41278-017-0066-8>.
- Cruz, M. R. P., & Matos Ferreira, J. J. (2016). Evaluating Iberian seaport competitiveness using an alternative DEA approach. *European Transport Research Review*, 8(1), 1–9.
- Csardi, G., Nepusz, T., et al. (2006). The igraph software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, 1695, 1–9.
- Cullinane, K., Wang, T.-F., Song, D.-W., & Ji, P. (2006). The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40, 354–374. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.07.003>.
- Ducruet, C. (2013). Network diversity and maritime flows. *Journal of Transport Geography*, 30, 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.03.004>.
- Ducruet, C. (2015). *Maritime networks: spatial structures and time dynamics*. Routledge.
- Ducruet, C. (2017). Multilayer dynamics of complex spatial networks: The case of global maritime flows (1977–2008). *Journal of Transport Geography*, 60, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.02.007>.
- Ducruet, C., & Notteboom, T. (2012). The worldwide maritime network of container shipping: spatial structure and regional dynamics. *Global Networks*, 12, 395–423. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0374.2011.00355.x>.
- Ducruet, C., & Zaidi, F. (2012). Maritime constellations: a complex network approach to shipping and ports. *Maritime Policy & Management*, 39, 151–168. <https://doi.org/10.1080/03088839.2011.650718>.
- Ducruet, C., Rozenblat, C., & Zaidi, F. (2010). Ports in multi-level maritime networks: Evidence from the Atlantic (1996–2006). *Journal of Transport Geography*, 18, 508–518. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.03.005>.
- EUR-Lex. (2020). EUR-Lex. Retrieved October 2, 2020, from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0952&from=ES>
- European Commission. (2020). Accessed dates November 28, 2020, from https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t_en
- Eurostat. (2020). Accessed dates August 2020, from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts/background>
- Fancello, G., Pani, C., Serra, P., & Fadda, P. (2014). Port cooperation policies in the mediterranean basin: An experimental approach using cluster analysis. *Transportation Research Procedia*, 3, 700–709. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.049>.
- Feng, X., Jiang, H., & Jiang, L.-p. (2020). Study on Community Detection of Shipping Network Based on Modularity. In *Green, Smart and Connected Transportation Systems*, (pp. 365–374). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0644-4_28.
- García-Alonso, L., Monios, J., & Vallejo-Pinto, J. Á. (2019). Port competition through hinterland accessibility: the case of Spain. *Maritime Economics and Logistics*, 21, 258–277. <https://doi.org/10.1057/s41278-017-0085-5>.
- Guerrero, D. (2019). Impacts of transport connections on port hinterlands. *Regional Studies*, 53, 540–549. <https://doi.org/10.1080/00343404.2018.1474192>.
- Guimerà, R., Sales-Pardo, M., & Amaral, L. A. (2007). Module identification in bipartite and directed networks. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 76. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.76.036102>.

33. Huffman, D. A. (1952). A Method for the Construction of Minimum-Redundancy Codes. *Proceedings of the IRE*, 40, 1098–1101. <https://doi.org/10.1109/JRPROC.1952.273898>.
34. Huo, W., Zhang, W., & Chen, P. S.-L. (2018). Recent development of Chinese port cooperation strategies. *Research in Transportation Business and Management*, 26, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.01.002>.
35. ICEX España Exportación e Inversiones. (2020). ICEX España Exportación e Inversiones. Retrieved June 19, 2020, from <https://www.icex.es/icex/es/Na-vegacion-zona-contacto/revista-el-exportador/en-cifras/index.html#seccion5>
36. Ignatius, J., Tan, T. S., Dhamotharan, L., & Goh, M. (2018). To cooperate or to compete: A game theoretic analysis on ports in malaysia and singapore. *Technological and Economic Development of Economy*, 24, 1776–1800. <https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1213206>.
37. Jeon, J. W., Wang, Y., & Yeo, G. T. (2016). SNA Approach for Analyzing the Research Trend of International Port Competition. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 32, 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2016.09.005>.
38. Jung, P. H., Kashiha, M., & Thill, J. C. (2018). Community Structures in Networks of Disaggregated Cargo Flows to Maritime Ports. In V. Popovich, M. Schrenk, J. C. Thill, C. Claramunt, & T. Wang (Eds.), *Information Fusion and Intelligent Geographic Information Systems (IF&GIS'17)*. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59539-9_13.
39. Kavirathna, C. A., Kawasaki, T., & Hanaoka, S. (2019). Intra-port coopeition under different combinations of terminal ownership. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 128, 132–148. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.06.001>.
40. Kunegis, J. (2015). Exploiting the structure of bipartite graphs for algebraic and spectral graph theory applications. *Internet Mathematics*, 11, 201–231. <https://doi.org/10.1080/15427951.2014.958250>.
41. Lagoudis, I. N., Theotokas, I., & Broumas, D. (2017). A literature review of port competition research. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 9, 724–762. <https://doi.org/10.1504/IJSTL.2017.086940>.
42. Li, Q., Zhang, Z., Chen, Z., Chen, L., Zhang, J., Chen, K., ... Gao, Y. (2020). Evolutionary dynamics of competition among ports in networks. *Modern Physics Letters B*, 34. doi: <https://doi.org/10.1142/S0217984920502486>
43. Lin, D.-Y., & Huang, K.-L. (2017). An equilibrium-based network model for international container flows. *Maritime Policy & Management*, 44, 1034–1055. <https://doi.org/10.1080/03088839.2017.1371855>.
44. López-Bermúdez, B., Freire-Seoane, M. J., & Lesta-Casal, E. (2020). Core and comprehensive ports: The new challenge for the development of the Spanish port system. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100243>.
45. Mou, N., Liu, C., Zhang, L., Fu, X., Xie, Y., Li, Y., & Peng, P. (2018). Spatial Pattern and Regional Relevance Analysis of the Maritime Silk Road Shipping Network. *Sustainability*, 10, 977. <https://doi.org/10.1080/03088839.2017.1371855>.
46. Niavis, S., & Tsekeris, T. (2012). Ranking and causes of inefficiency of container seaports in South-Eastern Europe. *European Transport Research Review*, 4(4), 235–244.
47. Notteboom, T., Ducruet, C., & De Langen, P. (2016). *Ports in proximity: Competition and coordination among adjacent seaports*. <https://doi.org/10.4324/9781315601564>.
48. Notteboom, T., Knatz, G., & Parola, F. (2018). Port co-operation: types, drivers and impediments. *Research in Transportation Business and Management*, 26, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.04.004>.
49. Parola, F., Satta, G., & Caschili, S. (2014). Unveiling co-operative networks and 'hidden families' in the container port industry. *Maritime Policy & Management*, 41, 384–404. <https://doi.org/10.1080/03088839.2013.782442>.
50. Port of Barcelona. (2020). Accessed dates October 9, 2020, from <http://www.portdebarcelona.cat/es/web/autoritat-portuaria/memoria-2019>
51. Puertos del Estado. (2020). Puertos del Estado. Retrieved October 31, 2020, from <http://www.puertos.es/es-es/nosotros/puertos/Paginas/Nosotros.aspx>
52. Rosvall, M., & Bergstrom, C. T. (2008). Maps of random walks on complex networks reveal community structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 1118–1123. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706851105>.
53. Shinohara, M., & Saika, T. (2018). Port governance and cooperation: The case of Japan. *Research in Transportation Business and Management*, 26, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.02.009>.
54. Song, D.-W., Cheon, S. H., & Pire, C. (2015). Does size matter for port coopeition strategy? Concept, motivation and implication. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18, 207–227. <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1032229>.
55. Song, Z., Tang, W., & Zhao, R. (2018). Cooperation mode for a liner company with heterogeneous ports: Business cooperation vs. port investment. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 118, 513–533. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.09.004>.
56. Stamatović, K., Langen, P., & Groznic, A. (2018). Port cooperation in the North Adriatic ports. *Research in Transportation Business and Management*, 26, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.03.006>.
57. Sun, Y., He, W., & Cui, M. (2010). *Research on ports cooperation in China Tianjin and Hebei area based on factor analysis*. <https://doi.org/10.1109/ICMSS.2010.5576480>.
58. Sun, Z., Zheng, J., & Hu, H. (2012). Finding community structure in spatial maritime shipping networks. *International Journal of Modern Physics C*, 23, 1250044. <https://doi.org/10.1142/S0129183112500441>.
59. Team, R. (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio. PBC Retrieved from <http://www.rstudio.com>.
60. Thompson, A., Peteraf, M., Gamble, J., Strickland III, A. J., & Jain, A. K. (2013). *Crafting & executing strategy 19/e: The quest for competitive advantage: Concepts and cases*. McGraw-Hill Education.
61. Trujillo, L., Campos, J., & Pérez, I. (2018). Competition vs. cooperation between neighbouring ports: A case study in Chile. *Research in Transportation Business and Management*, 26, 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.03.005>.
62. Vega, L., Cantillo, V., & Arellana, J. (2019). Assessing the impact of major infrastructure projects on port choice decision: The Colombian case. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 120, 132–148. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.021>.
63. Viljoen, N. M., & Joubert, J. W. (2016). The vulnerability of the global container shipping network to targeted link disruption. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 462, 396–409. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.06.111>.
64. Wang, K., Yang, H., & Zhang, A. (2020). Seaport adaptation to climate change-related disasters: terminal operator market structure and inter- and intra-port coopeition. *Spatial Economic Analysis*, 15, 311–335. <https://doi.org/10.1080/17421772.2019.1708443>.
65. Wang, X., & Liu, J. (2018). A comparative study of the measures for evaluating community structure in bipartite networks. *Information Sciences*, 448–449, 249–262. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.03.036>.
66. Wu, D., Wang, N., Yu, A., & Wu, N. (2019). Vulnerability analysis of global container shipping liner network based on main channel disruption. *Maritime Policy & Management*, 46, 394–409. <https://doi.org/10.1080/03088839.2019.1571643>.
67. Wu, G., Gu, C., Qiu, L., & Yang, H. (2018). Community detection based on preferred mode in bipartite networks. *Modern Physics Letters B*, 32. <https://doi.org/10.1142/S021798491850330X>.
68. Yoshitani, T. (2018). PNW Seaport Alliance: Stakeholder's benefits of port cooperation. *Research in Transportation Business and Management*, 26, 14–17. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2018.02.005>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Submit your manuscript to a SpringerOpen® journal and benefit from:

- Convenient online submission
- Rigorous peer review
- Open access: articles freely available online
- High visibility within the field
- Retaining the copyright to your article

Submit your next manuscript at ► [springeropen.com](https://www.springeropen.com)

APÉNDICE 3. INFORME DEL FACTOR DE IMPACTO DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS

A continuación, se muestra el factor de impacto de cada una de las revistas en las que se han publicado los artículos que componen esta tesis. Los datos proceden del *Journal Citation Reports* de *Clarivate Analytics* según el *Rank by Journal Citation Indicator (JCI)*

[A] NETWORKS & SPATIAL ECONOMICS

ISSN: 1566-113X **Editorial:** SPRINGER

Categorías: “Transportation Science & Technology” y “Operations Research & Management Science”

Tabla [A3- 16]: Impacto de la publicación *Networks & Spatial Economics*.

CATEGORÍA	AÑO	FACTOR DE IMPACTO	Networks & Spatial Economics	
			RANGO	CUARTIL

TRANSPORTATION SCIENCE & TECHNOLOGY	2020	2.538	23/58	Q2
OPERATIONS RESEARCH & MANAGEMENT SCIENCE	2020	2.538	48/99	Q2

[B] MARITIME ECONOMICS & LOGISTICS

ISSN: 1479-2931 Editorial: PALGRAVE MACMILLAN LTD

Categoría: "Transportation – SSCI"

Tabla [A3-17]: Impacto de la publicación *Maritime Economics & Logistics*

AÑO	FACTOR DE IMPACTO	Maritime Economics & Logistics	
		RANGO	CUARTIL
2020	3.119	27/51	Q3

[C] EUROPEAN TRANSPORT RESEARCH REVIEW

ISSN: 1867-0717

Editorial: SPRINGER

Categoría: "Transportation Science & Technology" y "Transportation"

Tabla [A3 18]: Impacto de la publicación *European Transport Research Review*

CATEGORÍA	AÑO	FACTOR DE IMPACTO	European Transport Research Review	
			RANGO	CUARTIL
TRANSPORTATION SCIENCE & TECHNOLOGY	2020	2.415	21/58	Q2
TRANSPORTATION	2020	2.415	26/51	Q3