

# Estudio de las relaciones entre variables de transporte y comercio internacional, y variables incidentes en la elección del uso del gas natural licuado para Short Sea Shipping mediante un análisis con redes de creencia

## *Study of the Relationships Between Transport and International Trade Variables, and Those Involved in the Choice of Liquefied Natural Gas Use in Short Sea Shipping Through a Belief Networks Analysis*

Beatriz Molina Serrano<sup>1\*</sup>, Nicoleta González Cancelas<sup>2</sup>, Francisco Soler Flores<sup>3</sup>, Alberto Camarero Orive<sup>4</sup>

### Resumen

Con objeto de paliar la importante congestión existente en los principales corredores europeos, la Unión Europea impulsó el uso del transporte intermodal a través del Short Sea Shipping, cuyo uso ha llevado a la necesidad de buscar combustibles alternativos al tradicional para reducir las emisiones a la atmósfera, tales como el gas natural licuado. En este artículo se pretende realizar un estudio de las relaciones entre variables de transporte y comercio internacional y variables incidentes en la elección del uso del gas natural licuado para Short Sea Shipping mediante un análisis con redes de creencia también llamadas redes bayesianas.

**Palabras clave:** Redes de creencias, GNL, Short Sea Shipping.

### Abstract

*In order to alleviate the significant congestion in the main European corridors, the European Union promoted the use of intermodal transport through Short Sea Shipping, whose use has led to the need to search for alternative fuels to the traditional one to reduce emissions to the atmosphere, such as liquefied natural gas. This paper aims to analyze relationships between transport and international trade variables and variables involved in the choice of liquefied natural gas use in Short Sea Shipping. Belief networks, called Bayesian networks, are used.*

**Keywords:** Belief networks, LNG, Short Sea Shipping.

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento del comercio internacional de los años 90 del siglo pasado y la entrada de nuevos países a la Unión Europea conllevó un aumento en la congestión de los principales corredores europeos, por lo que se planteó a nivel continental una estrategia que consistía en transportar las mercancías por vía marítima la mayor distancia posible, para minimizar tanto los daños ambientales como el resto de externalidades (Cánovas, 2015). Este impulso del transporte marítimo de corta distancia pretendía garantizar la conexión entre el mar, las vías navegables y el ferrocarril

(Gonzalez Cancelas, Soler Flores, Camarero Orive y López Ansorena, 2012), a través de la intermodalidad, además de desarrollar las autopistas del mar (Comisión Europea, 2001).

En los proyectos RECORDIT (2003) y REALISE (2002 y 2005) se demuestra que el transporte intermodal reduce los costos internos y externos totales, lo que hace que este se convierta en una mejor alternativa económica cuando se compara con el transporte unimodal (Lloyd, 2003; Vassallo, 2004). Por esta razón, la Comisión Europea promueve el Short Sea Shipping (SSS) como una alternativa al transporte unimodal, definiendo SSS como el transporte de mercancías y pasajeros entre los puertos del continente o entre la Unión Europea y puertos de otros países situados en su área de influencia en el Mar Báltico, Mediterráneo o Negro (González y Camarero, 2009).

Sin embargo, esta estrategia aumentó la contaminación adyacente a las costas del continente, provocada por el combustible usado en las embarcaciones de clase feeder, el cual produce no solamente emisiones de gases de efecto invernadero tipo CO<sub>2</sub>, sino también altos niveles de emisión de partículas de óxido de azufre (Comisión Europea, 2001). Así, se puso de manifiesto la importancia de conciliar el

\* Autora de contacto: [beatriz.molinas@alumnos.upm.es](mailto:beatriz.molinas@alumnos.upm.es)

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

<sup>2</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

<sup>3</sup> Dr. en Tecnología y Sistemas de Información. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

<sup>4</sup> Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

desarrollo de la actividad portuaria con el uso eficaz y eficiente de los recursos en los puertos (López Ansorena y Almazán Gárate, 2015).

Estos efectos del cambio climático, junto con la presión urbanística en la costa y el aumento de la erosión ha llevado a los gobiernos a invertir más en la protección de la costa (Antón Camacho, A., Lechuga Álvaro, A., de la Peña Olivas, J.M. y Almazán Gárate, 2015).

Por este motivo fue necesario establecer una política energética que propusiera soluciones sobre el abastecimiento, los efectos del crecimiento y el medio ambiente europeo (Comisión Europea, 2006), así como la creación de una industria marítima respetuosa con el medio ambiente, competitiva, innovadora y complementaria, surgiendo también la necesidad de buscar combustibles alternativos al comúnmente usado en el transporte marítimo de corta distancia en Europa, con el objetivo de reducir los niveles de contaminación en zonas costeras densamente pobladas y con presencia de alto tráfico de embarcaciones (Camarero Orive, Pardillo Mayora, Torres Flores y González Cancelas, 2006).

Psaraftis y Kontovas (2010) afirman que existen diversas maneras de reducir los gases de efecto invernadero tales como tener motores de bajo consumo, encontrar una propulsión óptima, usar combustibles alternativos o depuradores en el escape, etc. Otras contribuciones interesantes se han realizado en torno al impacto medioambiental del SSS y las recomendaciones de políticas sobre el cambio climático (Corbett, Fischbeck y Pandis, 1999; Endresen, 2008; Corbett y Korhler, 2003; Corbett, Wang y Winebrake, 2009; Devanney, 2010; Devanney y Beach, 2010).

Uno de los combustibles potenciales a usar en un futuro próximo es el Gas Natural Licuado (GNL) que cuenta con emisiones de CO<sub>2</sub> ligeramente inferiores al tradicional y, principalmente, con ausencia de emisiones de Dióxido de Sulfuro SO<sub>2</sub>, así como de Óxido de Nitrógeno NO<sub>x</sub> (Brynolf, Andersson y Fridell, 2011). Aunque los beneficios son numerosos, el número de barcos que actualmente usan el GNL aún no es significativo.

Los estudios e investigaciones realizados con respecto al tipo de combustible usado en el SSS en Europa que podrían cumplir las exigencias medioambientales de contenido de sulfuros, se concentran básicamente en tres: el Gasóleo Pesado, el Gasóleo marítimo y el GNL. El primero, es el más usado en la actualidad a pesar de tener un contenido de azufre de al menos el 1% de la masa, es decir, más del permitido en las Áreas de Control de Emisiones de Sulfuro. Aunque los dos siguientes cumplen con las regulaciones, el último resulta ser la mejor alternativa no

solo por cumplir con las estrictas reglamentaciones para emisiones de dióxido de sulfuro SO<sub>x</sub>, sino también por satisfacer aquellas relacionadas con las de Óxidos de Nitrógeno NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub> (Brynolf, Andersson y Fridell, 2011).

Con respecto a las emisiones de gases de efecto invernadero, el GNL produce una cantidad ligeramente inferior a la generada por los combustibles tipo diésel y es solamente un 1% menos eficiente. No obstante, su implementación requiere una inversión significativa en barcos cargueros de GNL de mediana y pequeña escala para llevar el gas a las terminales intermedias o a los tanques de almacenamiento y su estricta regulación ambiental desafía las formas de gobernanza marítima tradicionales (Verbeek, Kadijk, Mensch, Wulffers, Beemt y Fraga, 2011; Gullberg y Gahnström, 2011; Gritsenko y Yliskylä-Peuralahti, 2013; Acedo y Almazán, 2015).

El objetivo del presente estudio es elaborar una metodología para determinar la relación entre las variables que definen el uso del GNL en el SSS en Europa, mediante técnicas de minería de datos en este casos redes de creencia, de manera que se estudien las relaciones entre variables de transporte y comercio internacional y variables incidentes en la elección del uso del GNL para SSS mediante un análisis con redes de creencia también llamadas redes bayesianas, cada nodo corresponde a una variable, que a su vez representa una entidad del mundo real, las redes bayesianas modelan un fenómeno mediante un conjunto de variables y las relaciones de dependencia entre ellas, pueden tener diversas aplicaciones, para clasificación, predicción, diagnóstico, etc que es lo que se pretende en esta investigación estudiando la especial incidencia que tienen las variables de transporte y comercio internacional, de manera que pueden dar información interesante en cuanto a cómo se relacionan las variables del dominio, las cuales pueden ser interpretadas en ocasiones como relaciones de causa-efecto.

## 2. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL ESTUDIO

Ante la necesidad de manejar una gran información de datos surgen nuevas técnicas basadas en la minería de datos. En este documento se han empleado redes bayesianas. Para su construcción, la metodología seguida se divide en tres fases, tal y como se muestra en la figura 1.

### 2.1. Definición de las variables

Los indicadores considerados fueron seleccionaron de acuerdo a la relación directa o indirecta que tuviesen con



Figura 1. Esquema del estudio.

**Tabla 1.** Variables seleccionadas para conformar la base de datos

Categoría	Variable	Descripción
Transporte y comercio internacional	MTG	Transporte Marítimo
	MSFT RAIL	Distribución modal de transporte de carga por ferrocarril
	MSFT ROAD	Distribución modal de transporte de carga por carretera
	MSFT INW	Distribución modal de transporte de carga por aguas continentales
	SSS VTEU	TEUs en Short Sea Shipping
Economía y finanzas	GDP	Producto interno bruto
	EGS	Exportaciones de estados miembros a terceros países
	IGS	Importaciones de estados miembros a terceros países
	GOVDEF	Deuda, Excedente público
	PROIND	Producción en la industria
	PROCON	Producción en la construcción
	SHAIMPT	Participación en las importaciones por miembro de la UE
	SHAEXPO	Participación en las Exportaciones por miembro de la UE
Medioambiente y energía	AETSO	Emisiones de SOx procedentes del transporte y comunicación
	GHGTR	Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte
	ETXTRANS	Impuestos ambientales sobre transporte
	GENWAS	Generación total de residuos
	GPICONS	Precios del gas natural de uso industrial
	WELEC	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos producidos por hogares
	REPRO	Productividad de los recursos
	GHGAGR	Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura
Institucional y política	SECA	Áreas de control de emisión de azufre
	SFRONT	Ubicación geográficas de las costas
	RCO	Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en operación
	RCU	Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en construcción
	RCP	Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en planes
	FDG	Forma de gobierno
	EPG	Modelos de gestión portuaria en Europa
Población y condición social	RDEXPN	Gastos totales en investigación y desarrollo
	POBL	Población
	LIFEEXP	Esperanza de vida
	RISKPOV	Población en riesgo de pobreza o exclusión social
	UNER	Tasa de desempleo
	STENTER	Estudiantes matriculados en educación terciaria
	EXPSPBE	Gastos en protección social

el GNL y las autopistas del mar; además se incluyeron algunos que no poseen relación aparente con los tópicos a analizar. En total se decidieron incluir 35 indicadores para confeccionar la base de datos, 28 de ellos extraídos de Eurostat, 3 del documento The European LNG terminal infrastructure 2015: Status and Outlook de la Asociación de infraestructura del gas en Europa (GIE) y los 4 restantes fueron de elaboración propia. Se elaboró un panel de expertos pertenecientes al Grupo de Investigación en Ingeniería Marítima y Portuaria, reconocido de la Universidad Politécnica de Madrid, cuyos integrantes han participado en numerosos trabajos e investigaciones de esta temática.

La delimitación geográfica en el estudio es Europa, contando con los 28 países de la Unión Europea, Noruega e Islandia, los cuales se incluyeron por ser países marítimos que resultaban relevantes en el estudio al tener características similares al resto de los países de la Unión.

El criterio de selección de las variables se realiza de acuerdo a la relación con el SSS y GLN, empleando un total de 35. Respecto a la tarea de agrupación de las variables, dichas variables se clasificaron en 5 tipos o grupos de acuerdo a su naturaleza, tal y como se relaciona en la tabla 1.

La información recolectada de cada uno de los indicadores considerados hace referencia al último año para el cual se encontraba disponible al momento de la consulta.

## 2.2. Construcción de la red de creencias

La relación entre el conjunto de variables seleccionadas se obtiene a través del análisis de un grafo dirigido. Esta sección, se muestra el proceso que debe seguirse para la construcción e interpretación de la red bayesiana.

En el presente estudio se eligió la construcción de una red de creencias o red bayesiana pues este tipo de redes representan, de manera compacta, una distribución de

probabilidad multivariante. Asimismo, se eligió también pues el uso de redes bayesianas para la representación gráfica de las relaciones entre variables trae consigo una gran cantidad de ventajas, que facilitan la comprensión de las relaciones causales a través del grafo (Puga, García, de la Fuente Sánchez y de la Fuente Solana, 2007).

Se puede decir que una Red Bayesiana es un conjunto de nodos y arcos donde cada nodo corresponde a una variable que representa una entidad del mundo real. Los arcos de unión de dichos nodos indican relaciones de influencia causal entre las variables (Flores, Cancelas, Orive, Gárate y Monzón, 2013). A nivel técnico, una red bayesiana es un grafo dirigido acíclico en donde cada uno de sus nodos hace referencia a una variable aleatoria y las relaciones entre las variables se encuentran codificadas en la propia estructura del grafo de acuerdo al criterio de separación. A cada nodo de la red se le asocia una distribución de probabilidad condicionada a los padres de ese nodo, de tal forma que la distribución conjunta multiplica las distribuciones condicionadas asociadas a los nodos de la red; la ecuación (1) muestra una red con n variables  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .

$$p(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n p(x_i | x_{pa(i)}) \quad [1]$$

Rodríguez y Dolado (2007) aseguran que la ingeniería del conocimiento en las Redes Bayesianas es el proceso de construcción, validación y uso de las redes Bayesianas. Este, se realiza por medio de la definición de la estructura o grafo y de los parámetros de la red, para lo cual es necesario seguir seis pasos: conocer el dominio a modelar, seleccionar las variables de interés, definir un tipo para cada variable, establecer la topología de la red, construir las tablas de probabilidad para cada nodo y, finalmente evaluar y verificar la red bayesiana (figura 2).

El primero, consiste en conseguir información adicional de los datos disponibles por medio de un experimento en la materia o un proceso adicional, lo que guiará la búsqueda y evaluación de los patrones resultantes (Moral, 2014).

El segundo, implica seleccionar el conjunto de variables de manera cuidadosa, de tal forma que enriquezca el análisis sin que le agregue complejidad innecesaria al estudio,

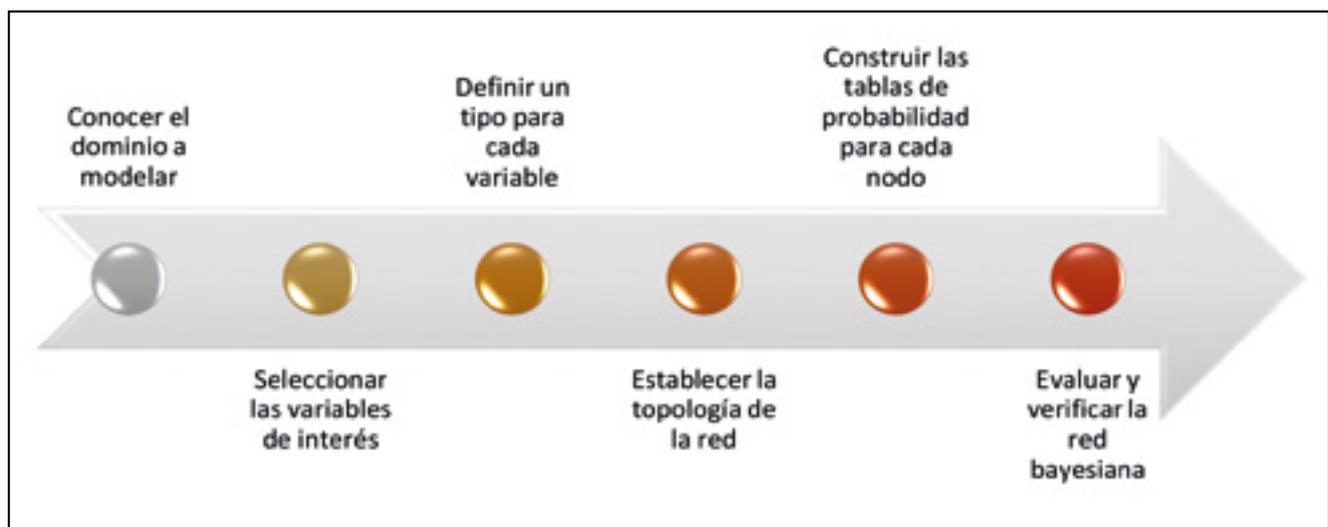
puesto que esto último puede generar un costo computacional alto.

En el tercer paso se debe tipificar cada una de las variables en booleano, etiqueta o numérico, así mismo, si es necesario se debe definir su discretización. En la topología de la red, se requiere establecer las relaciones entre las variables, siendo preferentes las relaciones causales; esta causalidad implica una correlación, pero no así a la inversa. El quinto paso es la construcción de las tablas de probabilidad para cada nodo y el sexto paso es el análisis de sensibilidad, en el cual se puede observar la variación de los valores introducidos, es decir la forma en la que algunas variables afectan los resultados del resto de ellas.

Después de seleccionar las variables de estudio, es necesario para la construcción de los modelos, la discretización de las variables. En las redes bayesianas es común el uso de variables discretas o nominales, por lo que cuando una no lo es, debe ser discretizada antes de construir el modelo. A pesar de que existen modelos de redes bayesianas con variables continuas, éstos están limitados a variables gaussianas y relaciones lineales. Los métodos de discretización pueden ser supervisados o no supervisados. El desarrollo de la aplicación permite implementar algoritmos en busca de ese objetivo como por ejemplo la búsqueda 'glotona' (hill-climbing).

En este punto, el aprendizaje estructural se enfatiza en encontrar las relaciones de dependencia entre las variables, de tal forma que se logre determinar la topología de la red bayesiana. Dependiendo del tipo de estructura, es posible aplicar distintos métodos de aprendizaje estructural: redes multiconectadas, aprendizaje de árboles, aprendizaje de poli-árboles, aprendizaje de métodos basados en medidas y búsqueda y métodos basados en relaciones de dependencia.

Cuando el sistema contiene un número pequeño de variables y estados, la construcción de la red bayesiana puede realizarse de forma manual. No obstante, en la actualidad se ha vuelto necesario automatizar el proceso de construcción de la red porque la mayoría de las bases de datos contienen un elevado número de variables que dificultan la construcción manual (Rodríguez y Dolado, 2007). Dicha automatización puede realizarse a través de los pasos de la técnica de minería de datos, que son herramientas que ha surgido para procesar grandes cantidades de información (Lizazo Torres, Delfor Meyer y Torres



**Figura 2.** Pasos del proceso de construcción, validación y uso de las redes Bayesianas.

Cárdenas, 2011). En el estudio, el software empleado para la construcción de la red fue Elvira, al contar con un formato para la codificación de los modelos, un lector-intérprete para los modelos codificados, una interfaz para la construcción de redes, algoritmos para la toma de decisiones, entre otros.

En la etapa de clasificación es posible aprovechar las tareas de aprendizaje que poseen los métodos bayesianos. Cada uno de los ejemplos observados aumenta o disminuye la probabilidad de que la hipótesis establecida sea correcta, en otras palabras, una hipótesis que no concuerda con un conjunto de ejemplos no es desechada sino que disminuye la probabilidad estimada para la hipótesis. Estos métodos resultan ser robustos al posible ruido generado por datos incompletos o erróneos.

A continuación, se evalúa la forma en que su comportamiento se ajusta a un conjunto de datos. Para ello, se usa un estudio de validez cruzada, el cual consiste en estimar el modelo con un conjunto aleatorio de la muestra, conformado por el 70% u 80% de los datos; posterior a esto, se prueba el modelo con el 30% o el 20% restante. El grado de ajuste del modelo al conjunto de datos muestra evidencia sobre su grado de validez (Puga, 2012).

La red se ha construido con el software Elvira. El programa Elvira está destinado a la edición y evaluación de modelos gráficos probabilistas, concretamente redes bayesianas y diagramas de influencia. Existen diversas técnicas para construir redes bayesianas a partir de una base de datos. En este trabajo hemos empleado el algoritmo K2 (Cooper and Herskovits 1992). El algoritmo K2 está basado en la optimización de una medida. Esa medida se usa para explorar, mediante un algoritmo de ascensión de colinas, el espacio de búsqueda formado por todas las redes que contienen las variables de la base de datos. Se parte de una red inicial y ésta se va modificando (añadiendo arcos, borrándolos o cambiándolos de dirección) obteniendo una nueva red con mejor medida.

### 2.3. Interpretación de los resultados

En esta última fase se analiza la forma en la que las distintas variables se encuentran relacionadas, realizando un análisis de la red obtenida. Se estudia la red y se descompone en pequeñas relaciones para su estudio. Las redes de creencia o redes bayesianas contemplan tres tipos de relaciones.

Generalmente las redes bayesianas obtenidas tras un estudio suelen tener un aspecto bastantes enmarañado, de manera que a simple vista no se perciben las relaciones entre las variables por lo que se hace necesario desenmarañar la red, de manera que un experto en la temática de estudio de la red vaya desplazando y agrupando los nodos de manera que estudie las relaciones del tipo, convergente, divergente y serial que se producen entre grupos de 3 variables.

En el caso de estudio, dado que el análisis de todas las combinaciones de 3 elementos es muy laborioso, el análisis de la red se realiza de manera que se centra en la relación entre las variables de transporte y comercio internacional con el resto de variables.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo a la metodología anteriormente propuesta, la red bayesiana obtenida es la de la figura 4, destacando las variables de transporte y comercio internacional, en cuyo estudio se pretende incidir. Se observa que la variable FDG (forma de gobierno) no posee relación alguna con las variables que conforman la red y por lo tanto no es ni causa ni efecto de ninguna.

Por otro lado, RCU (capacidad de las terminales de regasificación de GLN en construcción) y MSFT INW (distribución modal de transporte de carga por aguas continentales) son los dos nodos raíz de la red, al ser las únicas que son padres y no hijos de otras variables, perteneciendo RCU al grupo de variables de comercio internacional y transporte y MSFT INW al grupo institucional y político, tal y como se muestra en la tabla 1.

En redes bayesianas se dice que X es un padre de Y si y sólo si existe un arco  $X \rightarrow Y$ . Se dice también que Y es hijo de X. Al conjunto de los padres de X se representa como  $pa(X)$ , y al de los hijos de X por  $S(X)$  (figura 5), de manera que cada nodo es independiente de sus no-descendientes, dados sus padres.

Si se realiza un estudio de padres e hijos, en la tabla 2 se puede observar para las variables de transporte y comercio internacional los padres e hijos de cada una de ellas. Así, se aprecia las variables de transporte y comercio internacional se relacionan con variables de los cinco grupos, pero especialmente entre ellas y con variables de tipo institucional o político relacionadas con la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en operación, en construcción

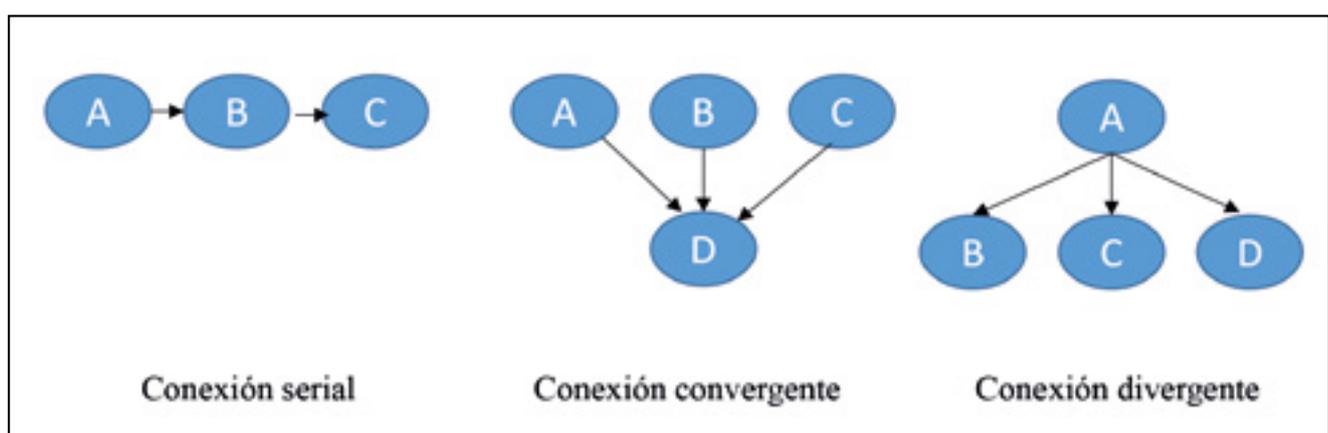
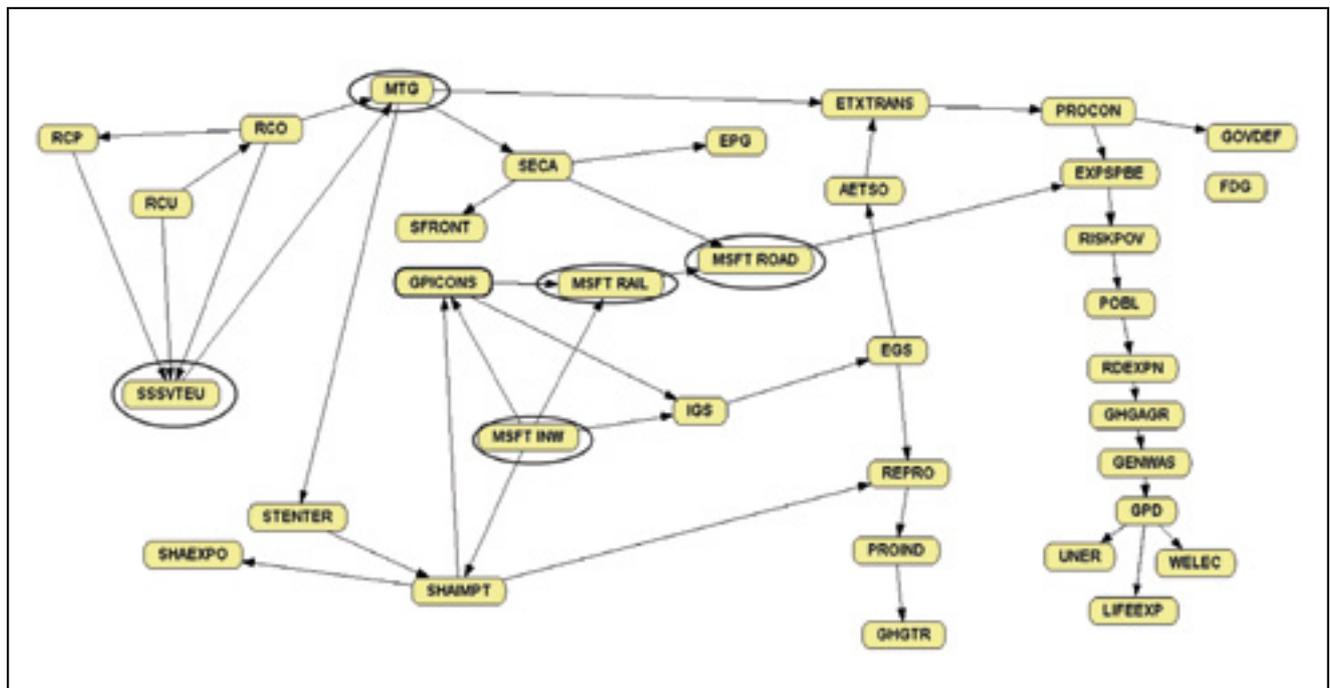


Figura 3. Tipos de conexiones en las redes Bayesianas.

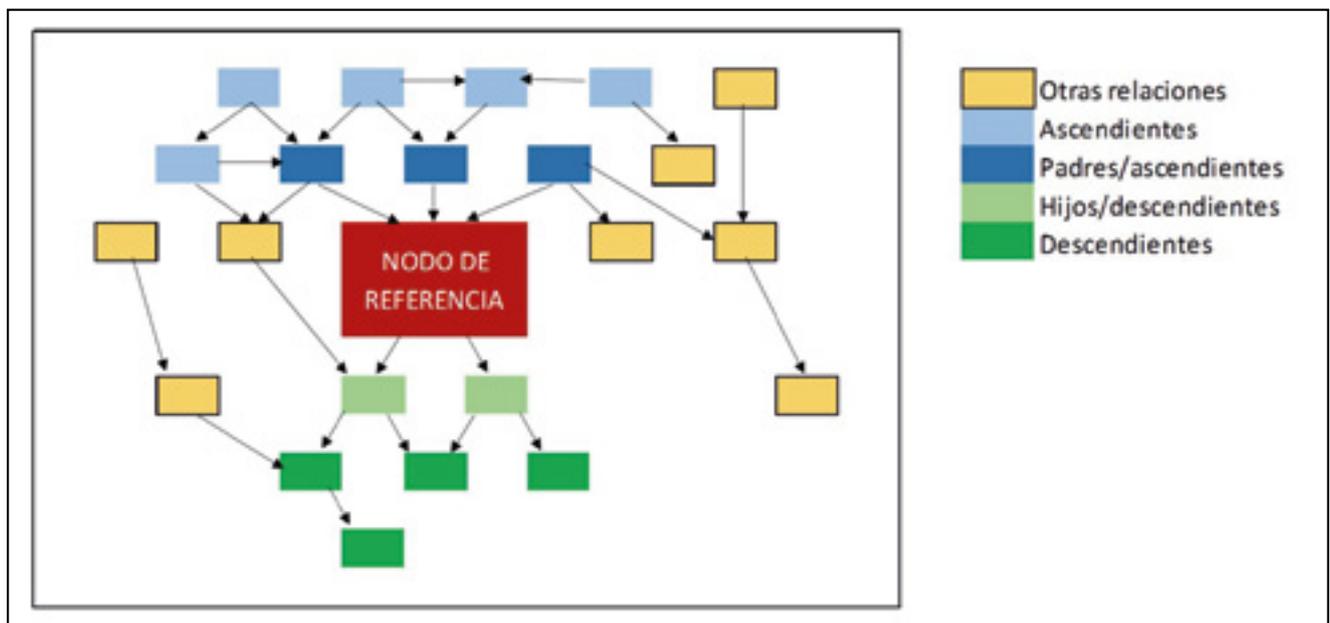
**Tabla 2.** Variables de transporte y comercio internacional: estudio de padres e hijos

Variables	Variables padres			Variables hijos		
MTG	RCO	SSSVTEU		STENTER	ETXTRANS	SECA
MSFT RAIL	MSFT INW	GPICONS		MSFT ROAD		
MSFT ROAD	MSFT RAIL	SECA		EXPSBPE		
MSFT INW				MSFT RAIL	SHAIMPT	GPICONS
SSSVTEU	RCP	RCO	RCU	MTG		IGS

- Comercio internacional y Transporte
- Institucional y Político
- Economía y Finanzas
- Condición Social y Poblacional
- Medio Ambiente y Energía



**Figura 4.** Red bayesiana construida para las variables de estudio con algoritmo, se destacan las variables de transporte y comercio internacional K2.



**Figura 5.** Relaciones de padres-hijos, ascendentes, descendientes y de otro tipo.

o en planes, que aparecen como padres de estas variables (causa de ellas).

Si se analizan las relaciones de la variable SSSVTEU (TEUs en SSS), (figura 6) y se realiza un análisis convergente, en las conexiones convergentes varias variables apuntan con sus arcos hacia una variable de convergencia esto es, convergen en un mismo nodo hijo, se podría describir como  $X \rightarrow Y \leftarrow Z$ , X y Z convergen en Y. La propiedad importante de este tipo de conexión a la hora de propagar la información es que cuando se tiene evidencia sobre la variable de convergencia, los nodos padre se vuelven dependientes y la evidencia del estado de uno de ellos se propaga por los demás, Conocer el valor del hijo común (Y) abre la comunicación entre los padres (X y Z), ya que conocer el valor de un padre cambia las probabilidades del otro. Se diría, en nuestro ejemplo, de la relación de convergencia que converge en SSSVTEU que RCO, RCU y RCP son dependientes dado SSSVTEU (TEUs en SSS), por lo que conocidos los TEUs en SSS las variables que establecen la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en operación, en construcción o en planes son dependientes entre sí, Este efecto se conoce con el nombre de explaining-away, que podríamos traducir como descartar/potenciar causas. De igual modo SSSVTEU y RCO son dependientes dado MTG, por lo que conocido el transporte marítimo, se aprecia que el número de TEU en SSS y la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en operación son variables dependientes. Estas relaciones son muy importantes para un planificador dado que si conoce las previsiones de crecimiento de transporte marítimo, está información le aportará conocimiento sobre otras variables.

Si se analizan las relaciones seriales  $A \rightarrow B \rightarrow C$ , las conexiones en serie representan a un conjunto de variables asociadas linealmente que denota dependencia entre las variables, en este caso, B depende de A y C de B. En términos causales diríamos que A es causa de B y que B es causa de C, así, en la red construida  $RCO \rightarrow RCP \rightarrow SSSVTEU$ , de manera que RCO es causa de RCP y RCP es causa de

SSSVTEU. En este tipo de estructura se dice que los enlaces convergen cola-concabeza en B. Al conocer el valor de B, se cierra la comunicación entre el padre de B y el hijo de B. Así se puede decir que la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en operación es causa de la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en planificación y los TEUs en SSS. Por tanto, conocer a priori la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en operación cambia la opinión que se tiene acerca de la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en planificación, lo cual, a la vez, afecta a los TEUs en SSS. Sin embargo una vez conocida la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en planificación, conocer la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en operación ya no afecta para saber del número de TEUs en SSS. Los sistemas que presentan este comportamiento se dice que tienen la propiedad de Markov, que dice que, dado el presente, el futuro es independiente del pasado.

El mismo tipo de relación en serie se produce entre  $MTG \rightarrow SSVTEU \rightarrow RCO$ , así MTG depende de SSVTEU y de RCO, así como STENTER, ETXTRANS y SECA depende de MTG así RCO. Por lo que el número de estudiantes matriculados en educación terciaria dependen del número de TEUs en SSS y de la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en operación a través del volumen de Transporte Marítimo, es decir, que los países más evolucionados en términos de tráfico marítimo con capacidad de transporte de SSS elevada y con terminales de regasificación de GLN poseen mayor número de alumnos matriculados en ciclos superiores, así como mayores Áreas de control de emisión de azufre y mayores impuestos ambientales sobre transporte.

En la figura 7 puede apreciarse la relación divergente, que puede notarse como  $M \leftarrow N \rightarrow O$ . Para este tipo de estructura se dice que los enlaces convergen cola-con-cola en el nodo N. De este modo, conocer el valor del padre común (N) cierra la comunicación entre los hijos (M y O), es decir, una vez que se conoce el valor de N, conocer el valor que toma un hijo ya no aporta información sobre

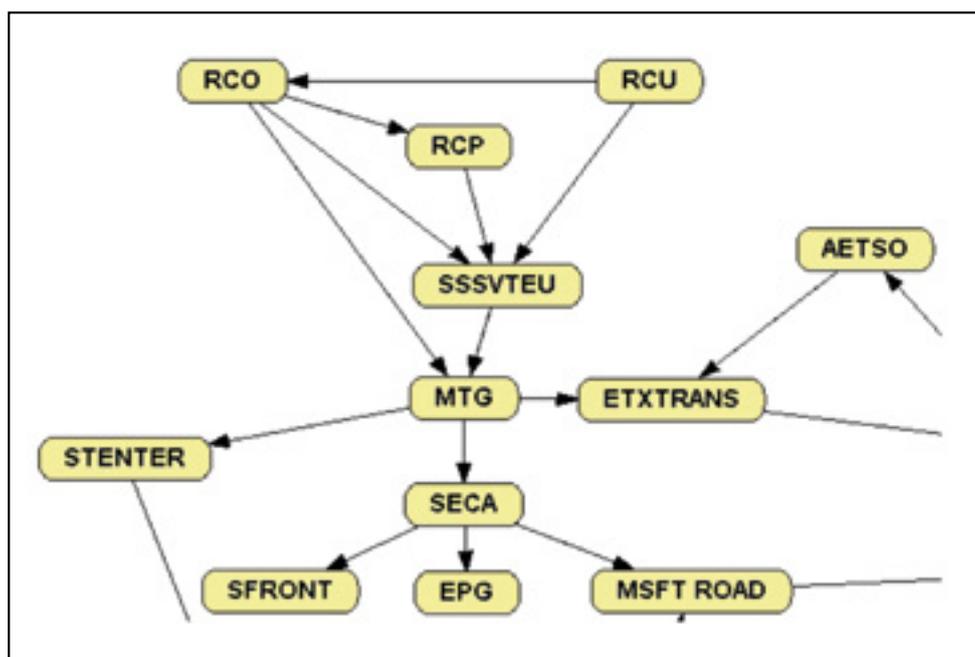


Figura 6. Relaciones entorno a la variable SSSVTEU.

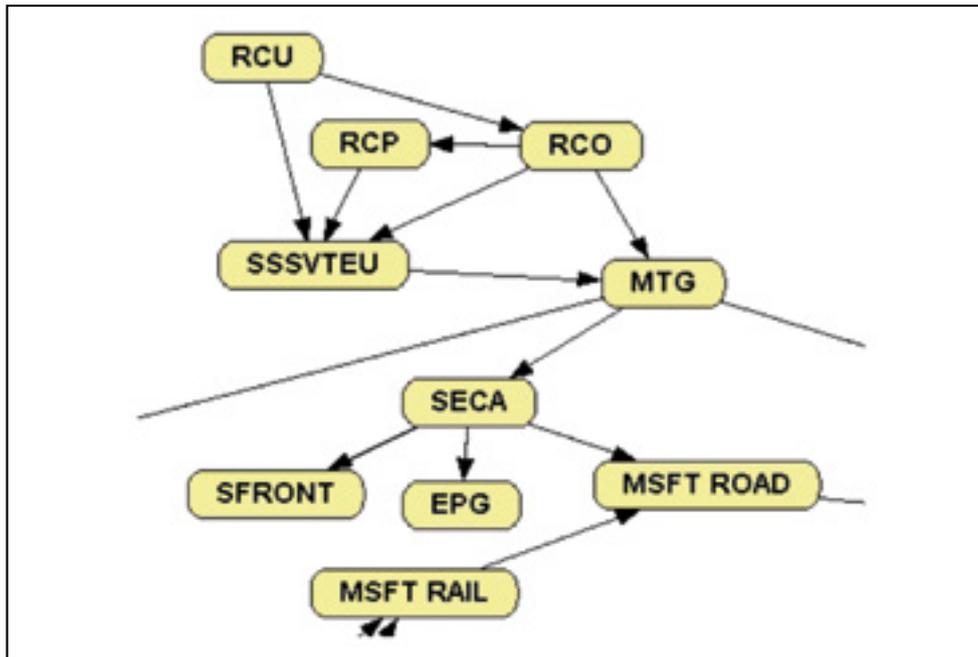


Figura 7. Relaciones entorno a la variable MTG.

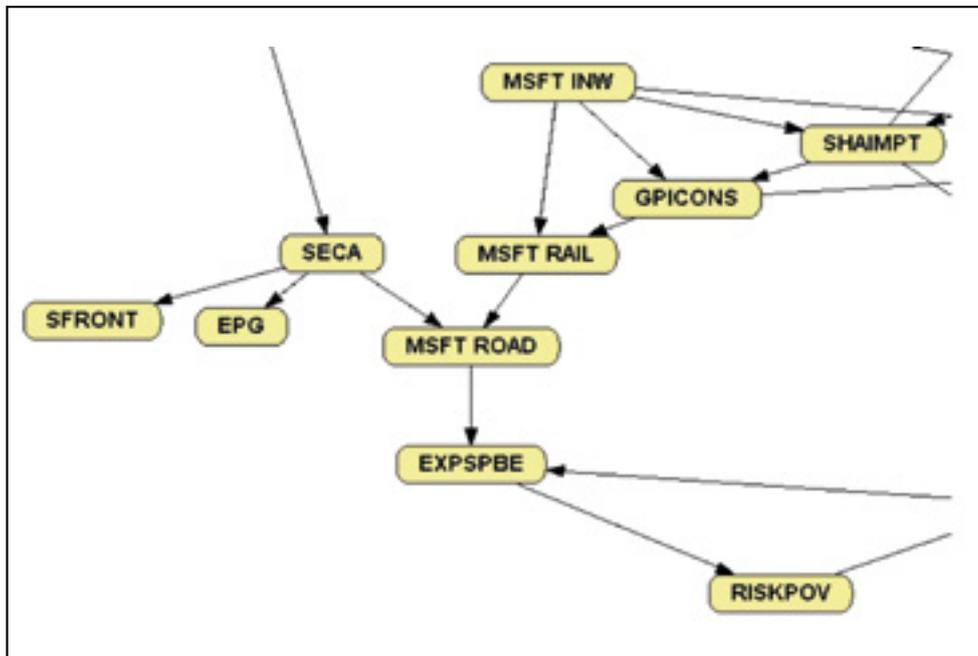


Figura 8. Relaciones entorno a MSFT ROAD, MSFT RAIL y MSFT INW.

el valor que puede tomar el otro. En las conexiones divergentes tenemos un nodo padre que proyecta sus arcos hacia varios hijos; o lo que es lo mismo, las flechas que salen de él y divergen hacia sus hijos. Este tipo de conexión es el más apropiado para representar problemas de diagnóstico. Sin embargo, cuando el estado de la variable madre se conoce las variables hijo se tornan independientes y la información no se propaga si añadimos evidencias sobre los nodos hijo. Así en las relaciones  $SFRONT \leftarrow SECA \rightarrow EPG$  o  $SFRONT \leftarrow SECA \rightarrow MSFTROAD$ , conocida la variable SECA (Áreas de control de emisión de azufre) que es el padre común la comunicación entre su hijos se cierra, entre ubicación geográfica de las costas, modelos de gestión portuaria en Europa y distribución modal de transporte de carga por carretera. Si no se conoce el valor de las áreas de control de emisiones, las variables “ubicación geográfica de

las costas”, “modelos de gestión portuaria en Europa” y “distribución modal de transporte de carga por carretera” son dependientes. Sin embargo, si se conocen las áreas de control de emisión de azufre, las tres variables anteriores son independientes.

Se aprecia una relación entre las variables de transporte y comercio internacional de distribución modal de transporte de carga tanto por carretera, como por ferrocarril como por aguas intercontinentales (figura 8), entre ellas se produce una relación en serie  $A \rightarrow B \rightarrow C$ , de manera que  $MSFT INW \rightarrow MSFT RAIL \rightarrow MSFT ROAD$ , representan a un conjunto de variables asociadas linealmente que denota dependencia entre las variables, en este caso, MSFT RAIL depende de MSFT INW y MSFT ROAD de MSFT RAIL. En términos causales diríamos que MSFT INW es causa de MSFT RAIL y que MSFT RAIL es causa de MSFT ROAD.

A su vez sucedería lo mismo con la relación SECA→ MSFT ROAD→ EXPSPBE, por lo que los gatos en protección social, entre otras variables, dependen de forma directa de la distribución modal de transporte de carga tanto por carretera y de las áreas de control de emisión de azufre a través de la distribución modal de transporte de carga tanto por carretera.

De la relación convergente en MSFT ROAD se puede decir que SECA y MSFT RAIL son independientes a priori pero dependientes dado MSFT ROAD.

De la relación divergente en MSFT INW se puede decir que MSFT RAIL y GPICONS son dependientes a priori, es decir que la distribución modal de transporte de carga por ferrocarril y los precios del gas natural de uso industrial son variables dependientes, pero independientes dado distribución modal de transporte de carga por aguas intercontinentales. De igual modo, la relación divergente en MSFT INW respecto a SHAIMPT y GPICONS, hace que estas dos variables sean dependientes a priori, pero independientes dado distribución modal de transporte de carga por aguas intercontinentales.

De la relación en serie SHAIMPT →GPICONS→ MSFT RAIL, se aprecia un conjunto de variables asociadas linealmente que denota dependencia entre las variables de manera que la distribución modal de transporte de carga por ferrocarril depende de la participación en las importaciones por miembro de la UE y que la participación en las importaciones por miembro de la UE depende de los precios del gas natural de uso industrial.

#### 4. CONCLUSIONES

La inteligencia artificial y en especial las redes bayesianas suponen una alternativa óptima para determinar las relaciones entre las variables que afectan al GLN como combustible para empleo en el SSS en Europa.

El GLN se muestra como una alternativa en la necesidad de buscar combustibles más amigables con el medioambiente en el SSS es por ello que la herramienta desarrollada permite a los gestores tomar decisiones para minimizar la congestión del transporte en Europa, a través de la cual fue posible establecer que las variables RCU (capacidad de las terminales de regasificación de GLN en construcción) y MSFT INW (distribución modal de transporte de carga por aguas continentales) son las variables más importantes en la decisión de implementar el GLN como combustible en el tramo marítimo de las autopistas del mar.

Asimismo, las variables de transporte y comercio internacional y economía y finanzas son las más relevantes en la toma de decisiones, mientras que las variables de las categorías de medioambiente y energía y población y condición social son las más dependientes y, por tanto, se ven afectadas en mayor proporción que el resto.

Respecto al estudio de las variables de transporte y comercio internacional, entre otras cuestiones, se relacionan con variables de los cinco grupos, pero especialmente entre ellas y con variables de tipo institucional o político relacionadas con la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en operación, en construcción o en planes, que aparecen como padres de estas variables.

Respecto al tráfico, conocidos los TEUS en SSS las variables que establecen la capacidad de las terminales

de regasificación de GLN en operación, en construcción o en planes son dependientes entre sí, es decir el número de TEUs movidos en este tipo de transporte va a afectar a la capacidad de las terminales de regasificación de GLN presentes y futuras, por lo que debe ser un elemento a tener muy en cuenta por los planificadores. Así como que conocido el transporte marítimo, se aprecia que el número de TEU en SSS y la capacidad de las terminales de regasificación de GLN en operación son variables dependientes.

Una relación a destacar se produce al apreciarse que los gatos en protección social, entre otras variables, dependen de forma directa de la distribución modal de transporte de carga tanto por carretera.

Se aprecia una relación entre las variables de transporte y comercio internacional de distribución modal de transporte de carga tanto por carretera, como por ferrocarril como por aguas intercontinentales, entre ellas se produce una relación serial.

Con la red construida se aprecia que las variables de transporte y comercio internacional tienen poca relación con variables de tipología de medioambiente y energía.

La red construida permite relacionar diferentes variables de manera que es posible conocer si el GLN se muestra como una alternativa en la necesidad de buscar combustibles más amigables con el medioambiente en el SSS, de dichas relaciones entre las variables, y para este fin se concluye que la importancia de las variables por grupos es la siguiente: Comercio internacional y Transporte; Institucional y Político; Economía y Finanzas; Medio Ambiente y Energía y, por último, Condición Social y Poblacional. Por tanto, los planificadores deben atender con especial importancia las variables de los primeros grupos, sin por ello descuidar las restantes.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

Acedo, A., y Almazán, J. (2015). Pasado, presente y futuro de las Autopistas del Mar en Europa. *Revista de Obras Públicas*, nº 3565, pp. 31-38.

Antón Camacho, A., Lechuga Álvaro, A., de la Peña Oliva, J.M., y Almazán Gárate, J.L. (2015). Zonas de la costa apropiadas para el uso de los diques compuestos por tubos de geotextil rellenos de arena. *Ingeniería Civil*, nº 178, pp. 11-22.

Brynnolf, S., Andersson, K.E., y Fridell, E. (2011). A comparative life cycle assessment of marine fuels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M-Journal of Engineering for the Maritime Environment*.

Camarero Orive, A., Pardillo Mayora, J.M., Torres Flores, A., y González Cancelas, M. N. (2006). Pesos de los contenedores manipulados en los puertos españoles y análisis de la mercancía transportada por grupos tarifarios. *Ingeniería Civil*, nº 141, pp. 83-100.

Cánovas, B. (2015). *Short Sea Shipping, una estrategia Europea*. Documento de Opinión, nº 70, Instituto Español de Estudios Estratégicos.

Comisión Europea (2001). *Libro Blanco, la política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad* (pp. 11- 53). COM (2001) 370 final. Bruselas: Commission of the European Communities.

Comisión Europea. (2006). *Libro Verde, estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura* (pp. 3-19). COM

(2006) 105 final. Bruselas: Commission of the European Communities.

Corbett, J.J., Fischbeck, P.S., y Pandis, S.N. (1999). Global Nitrogen and Sulfur Inventories for Oceangoing Ships. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 104, nº D3, pp. 3457-3470.

Corbett, J.J., y Koehler, H.W. (2003). Updated Emissions from Ocean Shipping. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 108, nº D20, p. 4650.

Corbett, J.J., Wang, H., y Winebrake, J.J. (2009). The Effectiveness and Costs of Speed Reductions on Emissions from International Shipping. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 14, nº 8, pp. 593-598.

Devanney, J. (2010). *CO2 Emissions from Shipping: The Case for Taking our Time*. Disponible en [http://www.c4tx.org/ctx/pub/take\\_time.pdf](http://www.c4tx.org/ctx/pub/take_time.pdf)

Devanney, J., y Beach, S. (2010). *Detailed Studies of the Impact of Eedi on Vlcc Design and CO2 Emissions*. Center for Tankship Excellence. Disponible en [http://www.c4tx.org/ctx/pub/eedi\\_vlcc.pdf](http://www.c4tx.org/ctx/pub/eedi_vlcc.pdf)

Endresen, Ø. (2008). The Environmental Impacts of Increased International Maritime Shipping, Past Trends and Future Perspectives. *Global Forum on Transport and Environment in a Globalising World, Guadalajara, México*.

González, M.N., y Camarero, A. (2009). Caracterización de parámetros físicos de las terminales de contenedores del sistema portuario español. *Ingeniería y Ciencia*. Vol. 5, nº 10, pp. 49-73.

González Cancelas, N., Soler Flores, F., Camarero Orive, A., y López Ansorena, I. (2012). Tratamiento de outliers para el estudio de transmisión de vibraciones del ferrocarril. *Ingeniería y Ciencia*. Vol. 8, nº 16, pp. 191-219.

Gritsenko, D., y Yliskylä-Peuralahti, J. (2013). Governing shipping externalities: Baltic ports in the process of SOx emission reduction". *Maritime Studies*. Vol. 12, nº 10.

Gullberg, M., y Gahnström, J. (2011). *North European LNG Infrastructure Project: A feasibility study for an LNG filling station infrastructure and test of recommendations*. Draft Feasibility Report. Trans-European Transport Network.

Lizaso Torres, D., Delfor Meyer, R., y Torres Cárdenas, V. (2011). Minería de Datos en la Encuesta Permanente de Hogares 2009, Universidad Nacional del Litoral, Argentina. *Revista Ingeniería Industrial*, nº 1, pp. 19-28.

Lloyd, M. (2003). *Regional Action for Logistical Integration of Shipping across Europe (realise)*. Work package 4. Task 4.1 multi-modal pricing and costing analyses inception report. Disponible en <http://www.realise-sss.org/>

López Ansorena, C., y Almazán Gárate, J.L. (2015). Los recursos humanos y la huella ecológica portuaria. *Ingeniería Civil*, nº 180, pp. 47-53

Psaraftis, H.N., y Kontovas, C.A. (2010). Balancing the Economic and Environmental Performance of Maritime Transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 15, nº 8, pp. 458-462.

Puga, J.L., García, J.G., De la Fuente Sánchez, L., y De la Fuente Solana, E.I. (2007). Las redes bayesianas como herramientas de modelado en psicología. *Anales de Psicología*, 23(2): pp. 307-316.

REALISE (2002). *Regional Action for Logistical Integration of Shipping across Europe*. The Alliance of Maritime Regional Interests in Europe (AMRIE), GTC2-2000-33032. Disponible en <http://www.realise-sss.org>

REALISE (2005). *The Alliance of Maritime Regional Interests in Europe*, (AMRIE), Final Report nº GTC2-2000-33032. Disponible en <http://www.realise-sss.org>

RECORDIT (2003). *Final Report: Actions to Promote Intermodal Transport*, nº WP9. Disponible en <http://www.recordit.org/>

Rodríguez, D., y Dolado, J. (2007). Redes Bayesianas en la Ingeniería del Software, en Tuya, J., Ramos, I., y Dolado, J., (eds.), *Técnicas cuantitativas para la gestión en la ingeniería del software*. A Coruña: NETBIBLO, S.L.

Soler Flores, F.J., González Cancelas, N., Camarero Orive, A., Almazán Gárate, J.L., y Palomino Monzón, M.C. (2013). Diseño de un modelo de planificación de zonas de actividades logísticas mediante el empleo de redes bayesianas. *Revista Ingeniería Industrial*, 12(1): pp. 7-26.

Vassallo, W. (2004). *Regional Action for Logistical Integration of Shipping across Europe (REALISE)*. Disponible en <http://www.realise-sss.org/>

Verbeek, R., Kadijk, G., Mensch, V.P., Wulfers, C., Beemt, B.V., y Fraga, F. (2011). *Environmental and Economic aspects of using LNG as a fuel for shipping in the Netherlands*. TNO report.