

Inteligencia artificial para determinar si el empleo de gas natural licuado en el *short sea shipping* es una apuesta social

Artificial intelligence to determine if liquified natural gas in short sea shipping is a social bet

Beatriz Molina Serrano*

Nicoleta González Cancelas**

Universidad Politécnica de Madrid (España)

Francisco Soler Flores***

Universidad Internacional de La Rioja (España)

*Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Civil, Transportes, España. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid. Doctorando de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Es especialista en trasnportes, movilidad y seguridad vial. beatriz.molinas@alumnos.upm.es

**Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Civil, Transportes, España. Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Contratado Doctor del Departamento de Ingeniería Civil, Transportes de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Es especialista en Logística y transporte. Es profesora del Máster Universitario en Sistemas de Ingeniería Civil (MUSIC) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid y del Master en Gestión y Planificación Portuaria e Intermodalidad. nicoleta.gcancelas@upm.es

*** Facultad de Educación. Universidad Internacional de La Rioja, España. Licenciado en Matemáticas por la Universidad de Almería. Doctor en Tecnología y Sistemas de Información por la Universidad de Castilla-La Mancha. francisco.soler@unir.net

Correspondencia: Beatriz Molina, Tel. +34 651300076, Dir: Avd. Profesor Aranguren s/n, Madrid 28040.

Resumen

El impulso del *short sea shipping* desarrollado por la Unión Europea con el fin de reducir la congestión en sus principales corredores, ha derivado en la necesidad de buscar combustibles alternativos que sean más amigables con el medio ambiente, tales como el gas natural licuado. En este artículo se pretende conocer si el empleo de gas natural licuado como combustible alternativo tiene incidencia sobre componentes sociales, al emplear para esto inteligencia artificial a través de redes bayesianas.

Palabras clave: data mining, gas natural licuado, red bayesiana, *short sea shipping*.

Abstract

The impulse of the short sea shipping, developed by the European Union to reduce congestion in its main corridors, has led the need to look for alternative fuels more environmental friendly, such as liquefied natural gas. This article aims to know if the use of liquefied natural gas, as an alternative fuel for short sea shipping, has an impact on social components, using artificial intelligence.

Keywords: Bayesian network, data mining, liquefied natural gas, short sea shipping.

Fecha de recepción: 13 de octubre de 2017
Fecha de aceptación: 16 de abril de 2018

I. INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo en Europa tiene una gran importancia para la cohesión y el desarrollo económico de la Unión Europea. No obstante, a su vez es una fuente de contaminación, sobre todo en las zonas próximas a la costa que es normalmente donde vive la mayor parte de la población [1].

El primer tercio del siglo XX supuso para la economía occidental un periodo de crecimiento. En concreto, el crecimiento del comercio internacional en la década de los noventa llevó aparejado un aumento en la congestión de los principales corredores europeos, lo que generó importantes externalidades (principalmente contaminación y la accidentalidad); el núcleo del que parten los grandes ejes un es área extensa de Europa central que comprende Alemania, Holanda y Bélgica, con ramificaciones a Londres, París y Milán, y extensiones más débiles y menos densas a las periferias de Europa del Este y los países mediterráneos y nórdicos.

Como respuesta, se planteó la implantación de cadenas multimodales en las que cada modo de transporte se emplea en su tramo más eficiente [2]. Así, el objetivo era llevar la carga la mayor parte del recorrido por vía marítima, dada su eficiencia energética y a fin de producir poco daño medioambiental, aumentar la seguridad y reducir la saturación de la infraestructura [3]. Por esta razón, la Comisión Europea promovió el *short sea shipping* como una alternativa y, más recientemente, las denominadas “autopistas del mar”, puesto que complementan el transporte por carretera, pues es más eficiente energéticamente, menos contaminante, al tiempo que resta congestión a las infraestructuras viales [4].

En los proyectos Recordit [5] y Realise [6], [7] se demuestra que el transporte multimodal 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 [8], [9]. Dentro de la estrategia también se buscaba alcanzar un desarrollo territorial sostenible, el cual pretende “alcanzar un equilibrio a largo plazo entre el desarrollo económico, la protección del medio ambiente, el uso eficiente de los recursos y la equidad social” [10].

Con este impulso de las autopistas del mar se esperaba optimizar los modos de transporte, descongestionar las carreteras, reducir las emisiones de dióxido

de carbono (CO₂) y óxidos de azufre (SO_x), así como ofrecer un transporte seguro y de calidad, de modo que se garantizara la conexión entre las vías navegables y el ferrocarril y la creación de corredores multimodales [3], al tener en cuenta que las instalaciones deben producir el menor impacto en los ciudadanos, causándoles el menor trastorno posible y minimizar los cambios en sus costumbres, en busca del bienestar de la comunidad [11].

Sin embargo, la puesta en marcha de esta política incrementó la contaminación, pues el sector de la navegación ha sido una de las fuentes más importantes. Así surgió la necesidad de buscar combustibles alternativos con el fin de reducir los niveles de contaminación en zonas costeras densamente pobladas y con presencia de alto tráfico de embarcaciones [12], dado que la reducción, la estabilización y la limitación del crecimiento de los gases de efecto invernadero es el objetivo principal del protocolo de Kyoto de Naciones Unidas.

Un combustible alternativo es el gas natural licuado que cuenta con emisiones de CO₂ inferiores a los combustibles tradicionales y con ausencia de emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y reducción de óxidos de nitrógeno (NO_x) [13]. Su uso respeta los reglamentos de la política de transportes en Europa y, en el futuro, permitirá una diversificación de las fuentes de abastecimiento energético, ahorrará costos, generará un impacto positivo en el medio ambiente y contribuirá a evitar el cambio climático [14], al tiempo que fortalecerá las autopistas del mar [15].

En la actualidad, el uso del gas natural licuado no es significativo, y son también escasos los estudios que analizan el cambio de combustible. Por tanto, el objetivo del presente artículo es elaborar una metodología que permita determinar la relación entre las variables que definen el uso del gas natural licuado en las autopistas del mar en Europa mediante técnicas de minería de datos, a fin de establecer las variables más relevantes en la toma de decisiones y ayudar en la planificación y la toma de decisiones en la política de transporte europea.

Para esto se ha generado una base de datos con variables que relacionan el *short sea shipping* con el gas natural licuado en el ámbito europeo, y se consideraron variables relativas a los 28 países integrantes de la Unión Europea, más Noruega e Islandia.

II. METODOLOGÍA

Ante la necesidad de manejar una gran información de datos surgen nuevas técnicas basadas en la minería de datos con objeto de descubrir patrones [16]. En la investigación se han empleado redes bayesianas dado que 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 [17]. Algunas de estas ventajas son las que se enlistan a continuación:

- Permite representar de forma simultánea la dimensión cuantitativa (tablas de probabilidad) y cualitativa (grafo) de un problema; se pueden trabajar con datos incompletos [17], [18].
- Es posible realizar una inferencia bidireccional [17], [19].
- Es posible realizar un análisis de sensibilidad.
- Pueden realizar predicciones con información incompleta.

Para su construcción, la metodología seguida se dividió en tres fases, tal y como se muestra en la Figura 1.

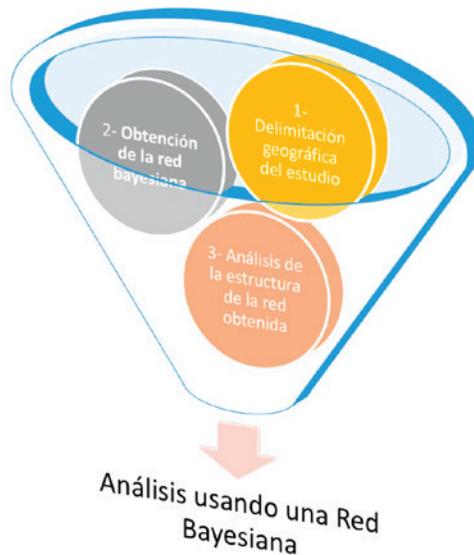


Figura 1. Esquema de la metodología que se siguió en el estudio

A. Fase 1: delimitación geográfica del estudio

En esta fase se definen las variables que conforman la base de datos, de modo que es necesario para esto proceder a una delimitación geográfica del estudio con la acotación del ámbito en el cual se va a desarrollar. En el caso particular del estudio realizado, la delimitación geográfica es Europa, al contar con datos de los 28 países que integran la Unión Europea más datos de Noruega e Islandia. Se tienen en cuenta estos dos últimos países al considerarlos similares a los 28 restantes y, por tanto, interesantes de cara al estudio. Dichos países fueron anexionados por su ubicación (ambos son países costeros), por ser naciones marítimas y porque Noruega forma parte del Área de Control de Emisiones de Sulfuro (SECA) del mar del Norte.

El criterio de selección de las variables para conformar la base de datos se realizó con atención a la relación de estas con el *short sea shipping* y el gas natural licuado, y en consideración a un total de 35 variables. Dichas variables se clasificaron en cinco categorías de acuerdo con su naturaleza. El conjunto de variables y su categoría se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables consideradas en el estudio clasificadas por categorías

Categoría	Nomenclatura	Variable	Unidades
Transporte y comercio internacional	MTG	Transporte marítimo	Miles de toneladas
	MSFT RAIL	Distribución modal de transporte de carga por ferrocarril	Porcentaje
	MSFT ROAD	Distribución modal de transporte de carga por carretera	Porcentaje
	MSFT INW	Distribución modal de transporte de carga por aguas continentales	Porcentaje
	SSS VTEU	TEUs en <i>short sea shipping</i>	1000 TEUs
Economía y finanzas	GDP	Producto interior bruto	Millones de euros
	EGS	Exportaciones de Estados miembros a terceros países	Millones de euros
	IGS	Importaciones de Estados miembros a terceros países	Millones de euros
	GOVDEF	Deuda, excedente público	% GDP
	PROIND	Producción en la industria	Index, 2010=100 %
	PROCON	Producción en la construcción	Index, 2010=100 %
	SHAIMPT	Participación en las importaciones por miembro de la UE	% (EU=100 %)
SHAEXPO	Participación en las exportaciones por miembro de la UE	% (EU=100 %)	

Categoría	Nomenclatura	Variable	Unidades
Medioambiente y energía	AETSO	Emisiones de SOx procedentes del transporte y comunicación	Toneladas
	GHGTR	Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte	Miles de toneladas
	ETXTRANS	Impuestos ambientales sobre transporte	Millones de euros
	GENWAS	Generación total de residuos	Toneladas
	GPICONS	Precios del gas natural de uso industrial	Euro/kilowatt-hora
	WELEC	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos producidos por hogares	Kilogramos per cápita
	REPRO	Productividad de los recursos	Euro/kilogramo
	GHGAGR	Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura	Millones de toneladas
Institucional y política	SECA	Áreas de control de emisión de azufre	Número
	SFRONT	Ubicación geográficas de las costas	Número
	RCO	Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en operación	Billones m ³ por año
	RCU	Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en construcción	Billones m ³ por año
	RCP	Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en planes	Billones m ³ por año
	FDG	Forma de gobierno	Número
	EPG	Modelos de gestión portuaria en Europa	Número
Población y condición social	RDEXPN	Gastos totales en investigación y desarrollo	Euro/habitante
	POBL	Población	Habitantes
	LIFEEXP	Esperanza de vida	Edad
	RISKPOV	Población en riesgo de pobreza o exclusión social	Porcentaje población
	UNER	Tasa de desempleo	Porcentaje población activa
	STENTER	Estudiantes matriculados en educación terciaria	Población
	EXSPBE	Gastos en protección social	Euro/habitante

Las fuentes consultadas a fin de obtener los datos de las variables anteriores se incluyen en la Figura 2, para lo cual se tomaron los datos más actualizados disponibles de cada una de ellas en el momento del estudio.

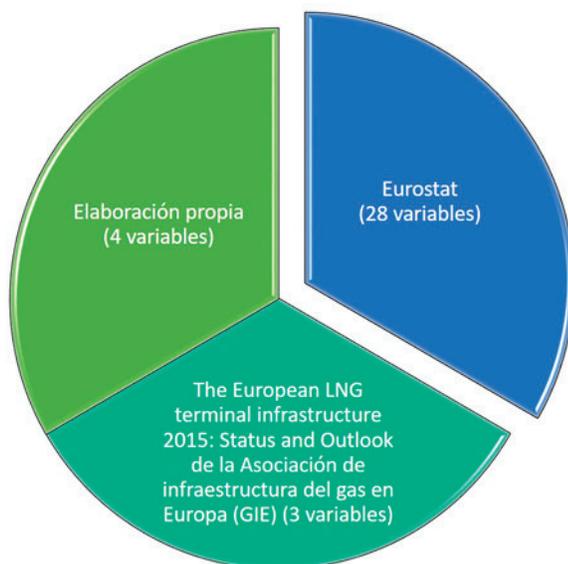


Figura 2. Fuentes de las variables incluidas en el estudio

B. Fase 2: obtención de la red bayesiana

Los modelos gráficos directos, también denominados “redes bayesianas”, cuentan con una noción compleja de independencia al considerar la direccionalidad de los arcos [20]. Técnicamente, se trata de un grafo dirigido acíclico en el que 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 con el 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 .

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

La construcción de una red bayesiana se realiza a partir de la definición de la estructura o grafo y de los parámetros de la red, de manera que son necesarios los seis pasos [20] que se presentan en la Figura 3.



Figura 3. Pasos necesarios para la construcción de una red bayesiana.

Pese a las múltiples ventajas que presenten las redes bayesianas, este tipo de redes presentan también algunas dificultades a la hora de su construcción, dentro de las que se encuentran el costo computacional de explorar una red previamente desconocida, así como la calidad y el alcance de los parámetros iniciales que pueden distorsionar los resultados.

C. Fase 3: análisis de la red estructura de la red obtenida

En esta última fase se analiza cómo se relacionan las distintas variables que conforman la red. En el caso de las redes bayesianas se dice que X es un padre de Y si y solo si existe un arco $X \rightarrow Y$. Se dice también que Y es hijo de X .

Dentro de una red bayesiana existen distintos tipos de conexiones entre las variables. Dichas conexiones son las que se recogen en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de relaciones en redes bayesianas

Tipo de conexión	Definición	Definición
Conexiones en serie	$A \rightarrow B \rightarrow C$	Representan un conjunto de variables asociadas linealmente que denota dependencia entre las variables, es decir, B depende de A y C de B. En términos causales se diría que A es causa de B y que B es causa de C
Conexiones convergentes	$X \rightarrow Y \leftarrow Z$	En este tipo de conexión, varias variables apuntan con sus arcos hacia una variable de convergencia, esto es, convergen en un mismo nodo hijo, de forma que 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.
Conexiones divergentes	$M \leftarrow N \rightarrow O$	En ellas se tiene un nodo padre que proyecta sus arcos hacia varios hijos; o lo que es lo mismo, las flechas 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 padre se conoce, las variables hijo se tornan independientes y la información no se propaga si añadimos evidencias sobre los nodos hijo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la metodología anteriormente propuesta, la red bayesiana obtenida es la de la Figura 4, en la que además se resaltan las variables de la categoría “Población y condición social” al basarse en ellas el estudio realizado.

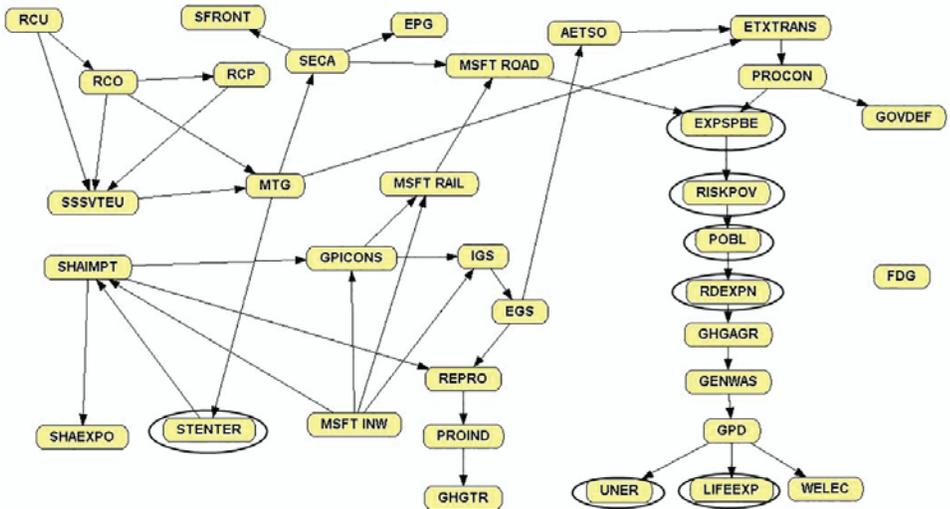


Figura 4. Red bayesiana obtenida mediante el empleo del algoritmo K2

En un primer análisis de la red se observa que la variable “Forma de gobierno” (FDG) no posee relación alguna con el resto de las variables que conforman la red y, por tanto, no es ni causa ni efecto de ninguna.

Por el contrario, “Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en construcción” (RCU), de la categoría “Institucional y política”, y “Distribución modal de transporte de carga por aguas continentales” (MSFT INW) de la categoría “Comercio internacional y transporte”, son los dos nodos raíz de la red, al ser las únicas que son únicamente padres de otras variables.

Al realizar un estudio de padres e hijos de las variables de la categoría “Población y condición social” (Tabla 3) se observa que las variables de esta categoría se relacionan mucho entre sí, y son además hijas de variables de “Transporte y comercio internacional”, tales como “Transporte marítimo” (MTG) y “Distribución modal de transporte de carga por carretera” (MSFT ROAD). Asimismo, se observa que dichas variables son hijas de “Participación en las importaciones por miembro de la UE (SHAIMPT)”, “Producto interior bruto (GDP)” y “Producción en la construcción (PROCON)”, de la categoría “Economía y finanzas”.

Tabla 3. Variables padres e hijos de las variables de la categoría población y condición social

Variables	Padres	Hijos
Gastos totales en investigación y desarrollo (RDEXPN)	Población (POBL)	Emissiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura (GHGAGR)
Población (POBL)	Población en riesgo de pobreza o exclusión social (RISKPOV)	Gastos totales en investigación y desarrollo (RDEXPN)
Esperanza de vida (LIFEEXP)	Producto interior bruto (GDP)	
Población en riesgo de pobreza o exclusión social (RISKPOV)	Gastos en protección social (EXSPBE)	Población (POBL)
Tasa de desempleo (UNER)	Producto interior bruto (GDP)	
Estudiantes matriculados en educación terciaria (STENTER)	Transporte marítimo (MTG)	Participación en las importaciones por miembro de la UE (SHAIMPT)
Gastos en protección social (EXSPBE)	Distribución modal de transporte de carga por carretera (MSFT ROAD)	Población en riesgo de pobreza o exclusión social (RISKPOV)
	Producción en la construcción (PROCON)	

Continúa...

Variables	Padres	Hijos
Categorías:	Transporte y comercio internacional	
	Economía y finanzas	
	Medioambiente y energía	
	Institucional y política	
	Población y condición social	

Por otra parte, al analizar las relaciones de la variable “Estudiantes matriculados en educación terciaria (STENTER)”, se observa que permanece en un grupo aislado respecto al resto de variables de su categoría (Figura 5), ya que su padre es la variable “Transporte marítimo (MTG)”, y su hijo es “Participación en las importaciones por miembro de la UE (SHAIMPT)”.

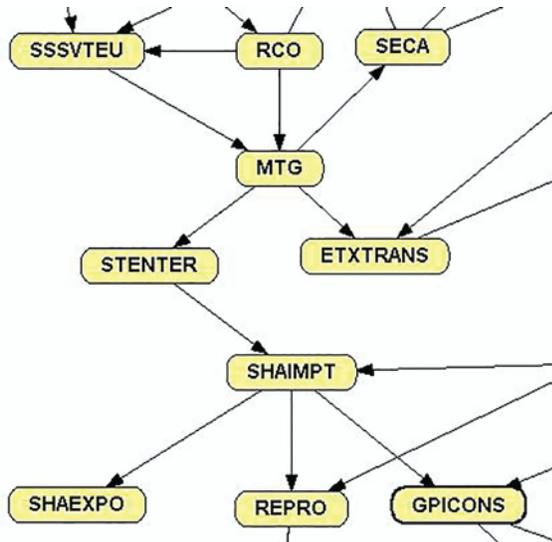


Figura 5. Detalle de relaciones de la variable “Estudiantes matriculados en educación terciaria (STENTER)”

Al considerar las relaciones en serie, la red define que el número de estudiantes matriculados en educación terciaria (STENTER) depende del “Número de TEUS en *short sea shipping* (SSSVTEU)” y de la “Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en operación (RCO)”, a través del “Volumen de transporte marítimo (MTG)”. Es decir, los países más evolucionados –en términos de tráfico marítimo con capacidad de

transporte de *short sea shipping* elevada y con terminales de regasificación de gas natural licuado – 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.

De manera análoga, al considerar la relación en serie entre las variables “Transporte marítimo (MTG)”, “Estudiantes matriculados en educación terciaria (STENTER)” y “Participación en las importaciones por miembro de la UE (SHAIMPT)”, se deduce que el volumen de transporte marítimo de cada uno de los países es causa de la participación en las importaciones de la UE, a través del número de estudiantes matriculados en educación terciaria.

De igual forma, en la Figura 5 se observan otras relaciones en serie que parten de la variable “Estudiantes matriculados en educación terciaria” (STENTER), pero que se bifurcan hacia sus tres hijos en “Participación en las importaciones por miembro de la UE (SHAIMPT)”, y son sus hijos: “Participación en las exportaciones por miembro de la UE (SHAEXPO)”, “Productividad de los recursos (REPRO)” y “Precios del gas natural de uso industrial (GPICONS)”. Dichas relaciones indican que el número de estudiantes matriculados en educación terciaria es causa de la participación en las importaciones por miembro de la UE y, a su vez, que la participación en las importaciones por miembro de la UE es causa de la participación en las exportaciones por miembro de la UE, de la productividad de los recursos y de los precios del gas natural de uso industrial. Cabe destacar que una variable relacionada con el número de estudiantes matriculados en educación terciaria afecta a variables de otras categorías como son la categoría de “Medioambiente y energía”, y la categoría “Economía y finanzas”.

En el caso de realizar un análisis convergente, se observa que “TEUS en *short sea shipping* (SSSVTEU)” y “Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en operación (RCO)” son variables dependientes entre sí, dado el valor de “Transporte marítimo (MTG)”.

Por el contrario, si se analiza una relación divergente se observa que las variables “Participación en las exportaciones por miembro de la UE (SHAEXPO)”, “Productividad de los recursos (REPRO)” y “Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en operación (RCO)” son independientes entre sí, al considerar la variable “Participación en las importaciones por miembro de la UE (SHAIMPT)”.

En la Figura 6 se observa que las variables de la categoría de “Población y condición social” tienen una relación más directa entre sí, puesto que la mayoría de las conexiones entre ellas son en serie. Así, desde la variable “Impuestos ambientales sobre transporte (ETXTRANS)” hasta las variables “Tasa de desempleo (UNER)”, “Esperanza de vida (LIFEEXP)” y “Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos producidos por hogares (WELEC)” se van sucediendo relaciones seriales de causa-efecto. De ellas se deduce que los gastos en protección social son causa de población en riesgo de pobreza o exclusión social en primera instancia y, de forma derivada, de los gastos totales en investigación y desarrollo, de la población y, en mucha menor medida, de la tasa de desempleo y de la esperanza de vida.

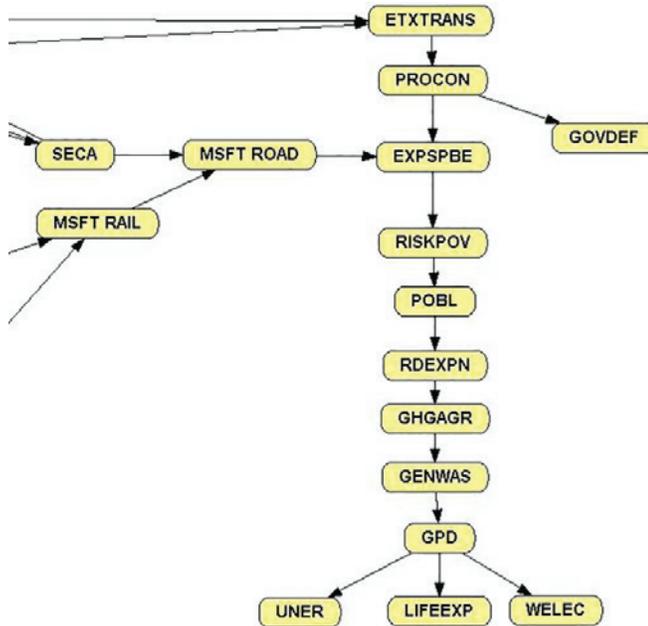


Figura 6. Detalle de las relaciones del resto de las variables de la categoría población y condición social

Otras relaciones de este tipo a destacar son las que parten de “Áreas de control de emisión de azufre (SECA)” y “Distribución modal de transporte de carga por ferrocarril (MSFT RAIL)”, y pasa por “Distribución modal de transporte de carga por carretera (MSFT ROAD)” hasta llegar a “Gastos en protección social (EXSPBE)”. De ellas se desprende que los gastos

en protección social son consecuencia directa de la distribución modal de transporte de carga por carretera, y de forma indirecta a través de la distribución modal de transporte de carga por carretera, así como de las variables de distribución modal de transporte de carga por ferrocarril y de las áreas de control de emisión de azufre. De esta manera, a través del control de emisiones los gastos en protección social son mayores en países con mayor reparto modal en la carretera, así como en aquellos en los que las políticas medioambientales son más restrictivas.

Otra relación en serie también importante que se observa en la Figura 6 es la que se establece desde “Impuestos ambientales sobre transporte (ETXTRANS)”, hasta “Gastos en protección social (EXPSBE)”. Dicha relación establece que los gastos en protección social son causa de variables de la producción en la construcción y, de manera indirecta a través de producción en la construcción, de la variable “Impuestos ambientales sobre transporte”.

Asimismo, otras relaciones en serie a destacar son las que se dan en torno a la variable “Emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte (GHGAGR)” y de “Generación total de residuos (GENWAS)”, de la categoría de “Medioambiente y energía”, y de “Transporte marítimo (GDP)” de la categoría “Transporte y comercio internacional”. Dichas variables, pese a no ser variables de condición social y poblacional, se encuentran directamente relacionadas con las variables de dicha categoría. Del análisis de estas relaciones se observa que las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura son consecuencia directa de los gastos totales en investigación y desarrollo, y a su vez, a través de gastos totales en investigación y desarrollo, son consecuencia de la población del país. De manera análoga, la generación total de residuos es consecuencia de emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura. Por tanto, del análisis de la red se obtiene que las variables de medioambiente y energía, relacionadas con los residuos y las emisiones de gases de efecto invernadero, son muy sensibles a variables sociales y de población relacionadas con gastos en investigación y desarrollo.

Finalmente, un estudio aparte merece la variable “Producto interior bruto (GDP)”, dada la relación divergente que genera al proyectar sus arcos hacia “Tasa de desempleo (UNER)”, “Esperanza de vida (LIFEEX)” y “Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos producidos por hogares (WELEC)”. Al tra-

tarse de una relación divergente, estas tres variables hijo son independientes al considerar "Producto interior bruto (GDP)". Así, conocido el producto interior bruto de un país, las variables "Tasa de desempleo", "Esperanza de vida" y "Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos producidos por hogares", son independientes entre sí; sin embargo, no hay que olvidar que dichas variables son efecto directo del producto interior bruto. Por tanto, a mayor producto interior bruto, menor tasa de desempleo, mayor esperanza de vida y mayor número de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos producidos por hogares.

Finalmente, cabe destacar que los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos producidos por hogares son consecuencia indirecta de la generación total de residuos a través del producto interior bruto de un país.

IV. CONCLUSIONES

El gas natural licuado se muestra como una alternativa en la necesidad de buscar combustibles más amigables con el medioambiente.

Las redes bayesianas suponen una alternativa óptima en el propósito de determinar las relaciones entre las variables que afectan al gas natural licuado como combustible para empleo en el *short sea shipping* en Europa, al permitir a los gestores tomar decisiones que les permitan minimizar la congestión del transporte en este continente.

La red que se obtuvo ha permitido establecer que las variables "Capacidad de las terminales de regasificación de gas natural licuado en construcción" y "Distribución modal de transporte de carga por aguas continentales" son las más importantes en la decisión de implementar el gas natural licuado como combustible en el tramo marítimo de las autopistas del mar.

De igual forma, la red que se obtuvo muestra que las variables de las categorías "Transporte y comercio internacional" y "Economía y finanzas" son las categorías más relevantes en la toma de decisiones, mientras que las variables de las categorías "Medioambiente y energía" y "Población y condición social" son las más dependientes, y, por tanto, las que se ven afectadas en una mayor proporción.

Con respecto al estudio de las variables de la categoría “Población y condición social” se aprecia que éstas se relacionan mucho entre sí, y son además hijas de variables de la categoría “Transporte y comercio internacional” (transporte marítimo y la distribución modal de transporte de carga por carretera), y de la categoría “Economía y finanzas” (participación en las importaciones por miembro de la UE, producto interior bruto y producción en la construcción). Así, cabe destacar que el número de estudiantes matriculados en educación terciaria afecta a las variables “Medioambiente y energía” y “Economía y finanzas”.

El resto de variables de “Población y condición social” tienen una relación más directa entre ellas, dado que la mayoría de las conexiones que se producen son en serie (relaciones causa-efecto).

En cuanto a las variables de medioambiente y energía relacionadas con los residuos y las emisiones de gases de efecto invernadero cabe indicar que son muy sensibles a variables sociales y de población, en relación con los gastos en investigación y desarrollo de los países de la Unión Europea. Por otra parte, de la red construida se desprende que cuanto mayor es el producto interior bruto, menor es su tasa de desempleo, y mayor es la esperanza de vida y el número de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos producidos por los hogares.

Por último cabría destacar que las variables de “Población y condición social” no afectan a las variables directamente implicadas en el gas natural licuado como combustible en el *short sea shipping* como pueden ser el “Transporte marítimo”, el “Número de TEUS en *short sea shipping*”, las “Terminales de regasificación de gas natural licuado”, las “Áreas de control de emisión de azufre” y la “Ubicación geográficas de las costas”. La única excepción la constituye el “Número de estudiantes matriculados en educación terciaria”, la cual sí se relaciona con algunas de ellas.

REFERENCIAS

- [1] A. C. Orive, M. N. G. Cancelas y E. D. Guijarro, “Transporte marítimo: de la SECA a la ECA”, *Rev. de Ob. Púb.: Órg. Prof. Ing. Cam., Can. y Puer.*, n.º 3537, p. 65-76, 2012.

- [2] N. González-Cancelas, "Nuevas cadenas de transporte de mercancías generadas por las infraestructuras logísticas de intercambio modal", *Rev. Trans. y Terr.*, n.º 14, 2016.
- [3] B. Cánovas, "Short sea shipping, una estrategia europea", *Documento de Opinión*, n.º 70, Instituto Español de Estudios Estratégicos, 2015.
- [4] Comisión Europea, *Libro Blanco, la política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad*. Bruselas: Commission of the European Communities, 2001.
- [5] Recordit, "Actions to promote intermodal transport: Final Report n.º WP9. 2003". [En línea]. Disponible en: <http://www.recordit.org/>
- [6] Realise, "Regional action for logistical integration of shipping across Europe. The alliance of maritime regional interests in Europe (AMRIE)", GTC2-2000-33032, 2002. [En línea]. Disponible en: <http://www.realise-sss.org>
- [7] Realise, "The alliance of maritime regional interests in Europe, (AMRIE)", Final report n.º GTC2-2000-33032, 2005. [En línea]. Disponible en: <http://www.realise-sss.org>
- [8] M. Lloyd, "Regional action for logistical integration of shipping across Europe (Realise), Work package 4. Task 4.1 multi-modal pricing and costing analyses inception report", 2003. [En línea]. Disponible en: <http://www.realise-sss.org/>
- [9] W. Vassallo, *Regional action for logistical integration of shipping across Europe (Realise)*. 2004. [En línea]. Disponible en: <http://www.realise-sss.org/>
- [10] S. Awad-Núñez, N. González-Cancelas y A. Camarero-Orive, "Establecimiento de los factores a considerar para determinar la zona de ubicación de un puerto seco y de sus jerarquías a través de un panel Delphi", *Rev. Transp. Terr.*, n.º 13, pp. 100-121, 2015.
- [11] M.D.C. Palomino-Monzón, J. L. Almazán-Gárate, N. González-Cancelas y F. Soler-Flores, "Planificación de la integración puerto ciudad: caso de Vigo", *Rev. Transp. y Terr.*, n.º 7, Universidad de Buenos Aires. pp. 150-165, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.rtt.filo.uba.ar/RTT00708150.pdf>
- [12] Comisión Europea, *Libro Verde, estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura*. Bruselas: Commission of the European Communities.
- [13] S. Bengtsson, K. Andersson y E. Fridell, "A comparative life cycle assessment of marine fuels: liquefied natural gas and three other fossil fuels", en *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 225, no. 2, p. 97-110, 2011.
- [14] A. C. Orive, P. de la Fuente, I. López, E. Domínguez y N. G. Cancelas, "Regeneración de las playas y rehabilitación de los canales de desagüe de Beira (Mozambique)", *Rev. de Ob. Púb.*, vol. 159, n.º 3532, pp. 7-22, 2012.

- [15] A. Acedo y J. L. Almazán, "Pasado, presente y futuro de las autopistas del mar en Europa", *Rev. de Ob. Púb.*, n.º 3565, pp. 31-38, 2015.
- [16] T. Rodríguez-García, "Aplicaciones tecnológicas en la logística de transportes portuarios. Las terminales de contenedores", *Rev. Transp. y Terr.* n.º 14, 2016.
- [17] J. L. Puga, "Cómo construir y validar redes bayesianas con netica", *REMA Rev. Elec. Met. Apl.*, 17(1), p. 1-17, 2012.
- [18] D. Heckerman, "A tutorial on learning with Bayesian networks", en *Innovations in Bayesian networks*, Berlin, Heidelberg: Springer, 2008, pp. 33-82.
- [19] D. Rodríguez y J. Dolado, "Redes bayesianas en la ingeniería del software", *Cc. Uah. Es.*, pp. 1-21, 2007.
- [20] J.L. Almazán-Gárate, M. D. C. Palomino-Monzón, N. González-Cancelas y F. Soler-Flores, "Relationship between air pollution and natural gas with respect to maritime transport. Methodology based on Bayesian Networks", en *Global Virtual Conference. Transport and Logistics Section*, abr. 7-11 2014.