

Análisis de las dimensiones institucional, económica, social y ambiental portuarias a través de inteligencia artificial



Beatriz Molina Serrano

Departamento de Ingeniería Civil, Transporte y Territorio, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Nicoletta González-Cancelas

Departamento de Ingeniería Civil, Transporte y Territorio, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Francisco Soler-Flores

Facultad de Educación, Universidad Internacional de La Rioja, España

Alberto Camarero Orive

Departamento de Ingeniería Civil, Transporte y Territorio, Universidad Politécnica de Madrid, España

Recibido: 10 de abril de 2017. Aceptado 30 de octubre de 2017.

Resumen

Los puertos son impulsores, pero a la vez están inmersos en los procesos de globalización de las sociedades. Es por ello que no son ajenos a la potencialidad de las metodologías de minería de datos, las cuales intentan descubrir patrones en grandes volúmenes de conjuntos de datos como los que se manejan en el ámbito portuario: La minería de datos es una disciplina ligada a la inteligencia artificial que, aplicado en un entorno portuario, posibilita encontrar nuevas herramientas para aumentar la sostenibilidad portuaria. Este artículo pretende analizar la sostenibilidad portuaria a través de las relaciones que se establecen entre variables de sostenibilidad, empleando para ello técnicas de inteligencia artificial como son las redes bayesianas. La principal conclusión que se extrae del análisis es que el pilar fundamental de la sostenibilidad portuaria es la dimensión institucional.

Palabras clave

Sostenibilidad
Puertos
Inteligencia artificial
Redes bayesianas

Palavras-chave

Sustentabilidade
Portas
Inteligência artificial
Redes bayesianas

Analysis of port institutional, economic, social and environmental dimensions using artificial intelligence

Abstract

Ports are drivers, but at the same time they are immersed in the processes of globalization of societies. That is why they are not alien to the potential of data mining methodologies, which try to discover patterns in large volumes of data sets such as those handled in the port area: Data mining is a discipline linked to the artificial intelligence that, applied in a port environment, makes it possible to find new tools to increase port sustainability. This article aims to analyze port sustainability through the relationships established between sustainability variables, using artificial intelligence techniques such as Bayesian networks. The main conclusion drawn from the analysis is that the fundamental pillar of port sustainability is the institutional dimension.

Keywords

Sustainability
Ports
Artificial intelligence
Bayesian networks

Introducción

Tal y como apuntan Plata, Gómez y Bosque (2010) mediante la incorporación, no solo de criterios económicos, sino también de criterios ambientales y sociales en los procesos de planificación, se está caminando hacia 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 (Awad, González y Camarero, 2015).

Los puertos marítimos se configuran como nodos con una importancia capital dentro de las cadenas logísticas como punto de enlace entre dos sistemas de transporte, el marítimo y el terrestre (Hesse y Rodrigue, 2006; Rodrigue, 2006; Barbero y Rodríguez, 2012). Sin embargo, como consecuencia de la complejidad del sector del transporte y del aumento del volumen de mercancías transportado, se ha llegado a una situación de creciente congestión de las rutas, la escasez de espacios libres en las instalaciones marítimas (estos dos problemas suponen, en definitiva, un aumento de los costes y un freno a la actividad económica regional) y el importante impacto medio ambiental de los puertos marítimos (Comisión Europea, 2000, 2001; Mc Calla, 2007; Roso, Woxenius y Lumsden, 2009). Para poder dar solución a estos problemas descritos, entre las diferentes soluciones que aportan distintos autores se debe apostar por una planificación sostenible.

Las instalaciones deben producir el menor impacto en los ciudadanos, causándoles el menor trastorno posible, y minimizando los cambios en sus costumbres, siempre buscando el bienestar de la comunidad. Un buen diseño debe comenzar por comprender la idiosincrasia del lugar, integrando los valores culturales y costumbristas del lugar, lo que permite una rápida y profunda aceptación (Palomino, Almazán, González y Soler, 2012).

En este marco se introduce el concepto de desarrollo sostenible, el cual partió de la búsqueda de compatibilidad entre el desarrollo económico y la protección y uso adecuado de los recursos naturales. Por primera vez se incluyó en la Conferencia de Estocolmo (1972), si bien no fue asumido por la sociedad hasta 1987 con el Informe Brundtland donde el concepto de desarrollo sostenible pasó a definirse como “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (WCED, 1987).

Esta visión de sostenibilidad fue ampliándose a otras dimensiones, de forma que actualmente, el concepto de desarrollo sostenible posee un carácter integral, multidimensional e interactivo. Así:

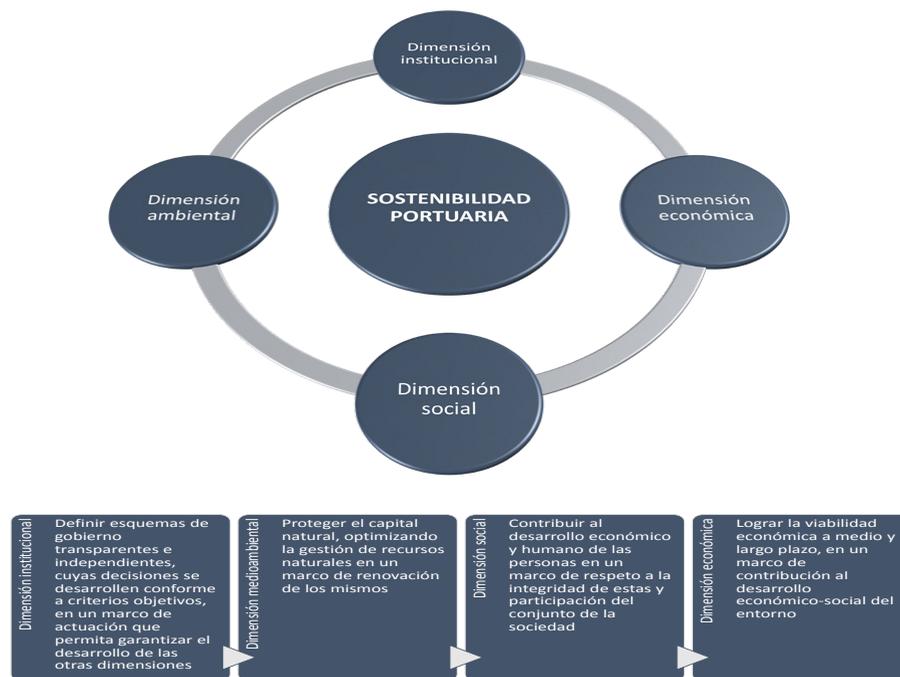


Figura 1. Dimensiones de la sostenibilidad portuaria. Fuente: Molina, González, Soler y Camarero, 2016.

- » Sostenibilidad: Capacidad para mantener la continuidad en el largo plazo del medio ambiente, y de las actividades humanas en sus aspectos económicos, sociales, institucionales y ambientales (RSE UNE 165010)
- » Responsabilidad social de la Empresa: La integración voluntaria, por parte de las empresas, de las preocupaciones sociales y medioambientales en sus operaciones comerciales y sus relaciones con sus grupos de interés. (Comunicación de la Comisión COM (2002) 347 final)

Este concepto de sostenibilidad está siendo aplicado en forma emergente por autoridades del sector transporte y muchos otros campos de actividad e industrias a nivel mundial, fuertemente impulsada por iniciativas que incorporan la variable ambiental y la responsabilidad social empresarial en la gestión estratégica de las empresas (Doerr, 2011). En el caso de los puertos, la sostenibilidad portuaria tiene sus raíces en las propuestas del GRI (Global Reporting Initiative, 2000) de las cuáles conserva, entre otras cuestiones, los cuatro ejes o dimensiones que conforman un enfoque de desarrollo sostenible, es decir, el institucional, el económico, el ambiental y el social (Figura 1).

De esta forma se considera que la gestión sostenible de una empresa u organismo tiene como meta el mantenimiento equilibrado en el largo plazo de su función y actividad, de modo que se tengan en cuenta el efecto recíproco de su actividad con el entorno económico, social y ambiental con el que se relaciona y el efecto de su actividad con su propia estructura al tiempo que se el efecto de sus funciones y actividades en sus aspectos o dimensiones económica, social, medioambiental e institucional, buscando un desarrollo equilibrado de estas cuatro dimensiones (Serrano, 2015).

En este contexto, merece una atención particular el transporte marítimo, al transportar alrededor del 80% del volumen del comercio internacional (en toneladas-kilómetros) a nivel mundial (Sánchez, Jaimurzino, Willmsmeier, Pérez, Doerr y Pinto, 2015). Así, en el sector portuario, se debe entender la gestión sostenible como "aquella que permite que crezca el volumen de tráfico de contenedores, graneles sólidos y líquidos, mercancía general y número de pasajeros, disminuyendo a su vez el consumo de energía

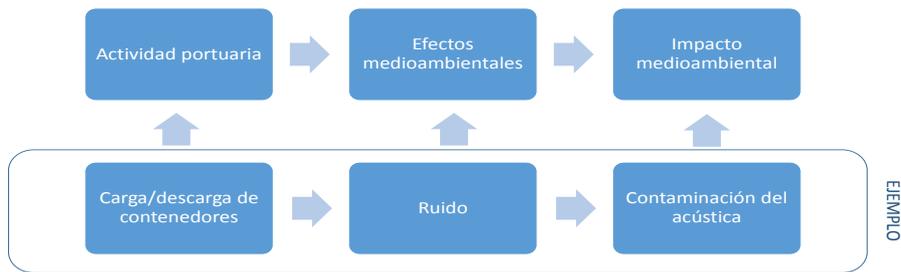


Figura 2. Actividad portuaria vs impacto ambiental. Fuente: elaboración propia.

y recursos naturales, el volumen de residuos generados y los impactos negativos a los sistemas sociales y ecosistemas en las áreas de influencia del puertos” (Crespo, Ripoll, Crespo y Giner, 2005). En la figura 2 se ilustra un caso de actividad portuaria vs impacto ambiental.

Sin embargo, uno de los principales desafíos que plantea la introducción de criterios de sostenibilidad en el modelo de gestión y desarrollo portuario es romper la inercia existente en relación a la consideración “única” del factor económico como variable de desarrollo, y lograr que las variables ambiental y social tomen la importancia que deben a fin de que el modelo de gestión y desarrollo portuario realmente tienda hacia la sostenibilidad (Grupo de trabajo 23, 2004).

El Texto Refundido de la Ley de Puertos del Estado y de la Marina Mercante (BOE núm. 253, de 20/10/2011), incorpora la sostenibilidad como uno de los principios que deben regir el modelo de planificación y de gestión de los puertos. Para ello, en el artículo 55.4 prevé que el proyecto de Plan de Empresa de cada Autoridad Portuaria debe acompañarse de una Memoria de Sostenibilidad, la cual constituye una herramienta de análisis y diagnóstico. Dicha memoria se lleva a cabo a través de una metodología, basada en el GRI a la cual se incorpora la constitución de indicadores específicos, y es aprobada por Puertos del Estado y las Autoridades Portuarias. La redacción de estas Memorias de Sostenibilidad, supone un esfuerzo de integración de información sobre el comportamiento de la Autoridad Portuaria y su desempeño ambiental, económico y social, si bien no determinan el comportamiento de la misma, sino que describe, por medio de indicadores de desempeño, los resultados derivados de la adopción y aplicación de códigos, políticas y sistemas de gestión (Crespo, Giner, Morales, Pontet y Ripoll, 2007).

Estos indicadores de sostenibilidad permiten evaluar el desempeño de la gestión de desarrollo sostenible, más allá de los reportes de sostenibilidad, los indicadores permiten controlar de manera objetiva la marcha de la gestión de la Autoridad Portuaria en esta materia. Por ello, resulta obvio que los indicadores deben cubrir las cuatro dimensiones de la sostenibilidad. La aplicación de los indicadores es útil para que las Autoridades Portuarias controlen su gestión sostenible, evalúen el impacto de los programas aplicados y los modifiquen cuando sea necesario. Los indicadores permiten realizar Benchmarking de gestión sostenible entre puertos para determinar las mejores prácticas y comparar el desempeño de una Autoridad Portuaria frente a la industria similar, y en el marketing puede ser un elemento diferenciador y de competitividad en el mercado. La aplicación generalizada a un sistema portuario permitiría realizar un benchmarking preciso en materia de sostenibilidad entre puertos de una misma región o país (González, Guerra, Martín, Nóvoa, Otero y Penela, 2010).

De la aplicación de dichas herramientas surgen los objetivos (económicos, medio ambientales, sociales e institucionales) que una autoridad o empresa portuaria debe alcanzar para asegurar el desarrollo sostenible y crecimiento de su puerto (Autoridad Portuaria de A Coruña, Autoridad Portuaria de Valencia, Organismo Público Puertos del Estado, 2008). Los objetivos económicos pueden ser: el incremento del volumen

de negocio, aumentar los ingresos por concesiones, reducir el endeudamiento con el fin de asegurar la sostenibilidad financiera del puerto y optimizar y rentabilizar las inversiones de los activos portuarios. En el caso de la dimensión medio ambiental, los objetivos pueden ser tales como accionar con respeto al medio ambiente, minimizar los impactos ambientales derivados de la actividad portuaria, minimizar los accidentes ambientales y mejorar la gestión ambiental en el recinto portuario. Los objetivos sociales que pueden ser internos y externos, deben estar enmarcados en ámbitos tales como desarrollar y modernizar sistemas de gestión de los recursos humanos, desarrollar un equipo humano motivado y comprometido y lograr un respaldo sostenido y activo de la comunidad del entorno. Para los objetivos institucionales se puede estar buscando impulsar ciertos cambios legales y normativos para modernizar la forma de desarrollo y operación del puerto, reorganizar el mercado portuario incorporando competencia, gestión e inversión privada para mejorar su eficiencia y capacidad de expansión, modernizar el régimen laboral para mejorar su competitividad, desarrollar la comunidad portuaria para incrementar la eficiencia operacional y calidad de los procesos, institucionalizar y optimizar la relación ciudad puerto, expandir la gestión operativa del puerto a la cadena logística para agregar valor e integrar a la comunidad logística local al desarrollo del puerto.

Por tanto, el objetivo que se persigue es que través de estos cuatro ejes de la sostenibilidad, los puertos se conformen como un sistema y no sean vistos como entes aislados y sujetos a una coyuntura comercial concreta, sino como elementos que se interrelacionan con un entorno físico, social y ambiental, en el que han de integrarse de forma efectiva, esto es, siendo capaces de adaptarse a una coyuntura cambiante y a la vez, apuntando a una renovación que contribuya a alcanzar el mejor de los escenarios futuros posibles (Puertos del Estado, 2011).

Sin embargo, una fuerte limitación metodológica no ha permitido una más extensa aplicación del concepto. Aún es una cuestión crítica y no resuelta para la gestión del desarrollo sostenible, la disponibilidad de metodologías que permitan evaluar el impacto del accionar de las instituciones y empresas en cada una de las dimensiones de la sostenibilidad, determinando el valor y las variables que cuantifiquen la verdadera contribución o aporte de esa gestión al desarrollo sostenible.

Una de las metodologías a emplear son las Redes Bayesianas, a partir de las cuales se puede obtener de una forma gráfica las relaciones entre las variables consideradas de cada una de las cuatro dimensiones, con objeto de poder determinar a posteriori los valores que cuantifiquen su contribución a la sostenibilidad.

En la tabla siguiente (Cuadro 1) se muestra una relación de los principales trabajos en sistemas de transportes en los que se han empleado Redes Bayesianas para su desarrollo:

Cuadro 1. Trabajos desarrollados con RB en sistemas de transportes. Fuente: Elaboración propia.

Autores	Año	Título
Friedman, N., & Goldszmidt, M.	1996	Building classifiers using Bayesian networks
Jara-Díaz, S., Martínez-Budría, E., Cortes, C., & Vargas, A.	1997	Marginal costs and scale economies in spanish ports
Tebaldi, C., & West, M.	1998	Bayesian inference on network traffic using link count data
Cain, J.	2001	Planning improvements in natural resource management. guidelines for using Bayesian networks to support the planning and management of development programmes in the water sector and beyond

Autores	Año	Título
Conati, C., Gertner, A. y VanLehn, K.	2002	Using Bayesian networks to manage uncertainty in student modeling. User Modeling and User-Adapted Interaction
Sun, S., Zhang, C., & Yu, G.	2006	A Bayesian network approach to traffic flow forecasting
Zheng, W., Lee, D. H., & Shi, Q.	2006	Short-term freeway traffic flow prediction: Bayesian combined neural network approach
Janssens, D., Wets, G., Brijs, T., Vanhoof, K., Arentze, T., & Timmermans, H.	2006	Integrating Bayesian networks and decision trees in a sequential rule-based transportation model
Castillo, E., Menéndez, J. M., and Sánchez-Cambronero, S.	2008	Traffic estimation and optimal counting location without path enumeration using Bayesian networks
Castillo, E., Menéndez, J. M., & Sánchez-Cambronero, S.	2008	Predicting traffic flow using Bayesian networks
Trucco, P., Cagno, E., Ruggeri, F., & Grande, O.	2008	A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation
Klemola, E., Kuronen, J., Kalli, J., Arola, T., Hanninen, M., Lehtikoinen, A., ... & Tapaninen, U.	2009	A cross-disciplinary approach to minimising the risks of maritime transport in the Gulf of Finland.
VKaluz, P., Kölzsch, A., Gastner, M. T., & Blasius, B.	2010	The complex network of global cargo ship movements.
Hofleitner, A., Herring, R., Abbeel, P., & Bayen, A.	2012	Learning the dynamics of arterial traffic from probe data using a dynamic Bayesian network
Cancelas, N. G., Flores, F. S., & Orive, A. C.	2013	Modelo de eficiencia de las terminales de contenedores del sistema portuario español
Camarero, A., González-Cancelas, N., Soler, F., & López, I.	2013	Utilización de redes bayesianas como método de caracterización de parámetros físicos de las terminales de contenedores del sistema portuario español
Flores, F. S., Cancelas, N. G., Orive, A. C., Gárate, J. L. A., & Monzón	2014	Diseño de un modelo de planificación de zonas de actividades logísticas mediante el empleo de redes bayesianas
Li, K. X., Yin, J., Bang, H. S., Yang, Z., & Wang, J.	2014	Bayesian network with quantitative input for maritime risk analysis

En el presente artículo se muestran los resultados obtenidos tras la construcción de una red bayesiana para analizar las cuatro dimensiones de la sostenibilidad del sistema portuario español, el cual está compuesto por 28 Autoridades Portuarias que gestionan un total de 46 puertos de interés general.

Construcción del modelo de inteligencia artificial

En las últimas décadas se han desarrollado numerosas técnicas de análisis y modelización de datos en distintas áreas de la estadística y la inteligencia artificial (Todd, Stamper y Macpherson, 1994; Bishop, 2006). La Minería de Datos (MD) es un área moderna interdisciplinar, que engloba a aquellas técnicas que operan de forma automática (requieren de la mínima intervención humana) y, además, son eficientes para trabajar con las grandes cantidades de información disponibles en las bases de datos de numerosos problemas prácticos (Lizaso Torres, Delfor Meyer y Torres Cárdenas, 2011). Estas técnicas permiten extraer conocimiento útil (asociaciones entre variables, reglas, patrones, etc.) a partir de la información cruda almacenada, permitiendo así un mejor análisis y comprensión del problema. En algunos casos este conocimiento puede ser también post-procesado de forma automática, permitiendo obtener conclusiones e, incluso; tomar decisiones de forma casi automática, en situaciones prácticas concretas (sistemas inteligentes). La aplicación práctica de estas disciplinas se extiende a numerosos ámbitos comerciales y de investigación en problemas de predicción,

clasificación o diagnóstico (Cios, Pedrycz y Swiniarski, 2007; Witten y Frank, 2005). La aplicación de la minería de datos ha sido profusa en varias disciplinas, como la biología (Wong, Li, Fu y Wang, 2006), economía (Vityaev y Kovalerchuk, 2004), medicina (Cios y Kacprzyk, 2001).

Entre las diferentes técnicas disponibles en minería de datos, las redes probabilísticas o redes bayesianas permiten modelizar de forma conjunta toda la información relevante para un problema dado, utilizando posteriormente mecanismos de inferencia probabilística para obtener conclusiones en base a la evidencia disponible (Pearl, 1988; Castillo, Gutiérrez and Hadi, 1997). Estos modelos se adaptan de forma natural a la concepción probabilística y local actual de la modelización en planificación.

Se puede decir que una Red Bayesiana es un conjunto de nodos y arcos. Cada nodo corresponde a una variable, que a su vez representa una entidad del mundo real, y los arcos que unen los nodos indican relaciones de influencia causal entre las variables. Una Red Bayesiana es un grafo acíclico dirigido, en el que cada nodo representa una variable y cada arco una dependencia probabilística, en la cual se especifica la probabilidad condicional de cada variable dados sus padres (Castillo, Gutiérrez y Hadi, 1997). La variable a la que apunta el arco es dependiente (causa-efecto) de la que está en el origen de éste. La topología o estructura de la red ofrece información sobre las dependencias probabilísticas entre las variables y sus dependencias condicionales dada otra(s) variable(s). Dichas dependencias simplifican la representación del conocimiento (menos parámetros) y el razonamiento (propagación de las probabilidades). Una Red Bayesiana proporciona una forma compacta y modular de representar la distribución conjunta de varias variables aleatorias. Una Red Bayesiana consta de una parte cualitativa, que describe las relaciones entre las distintas variables, y una parte cuantitativa, que describe la fuerza de dichas relaciones mediante probabilidades condicionadas.

Las Redes Bayesianas son una representación compacta de una distribución de probabilidad multivariante. Formalmente, una Red Bayesiana es un grafo dirigido acíclico, donde cada nodo representa una variable aleatoria y las dependencias entre las variables quedan codificadas en la propia estructura del grafo según el criterio de d-separación. Asociada a cada nodo de la red hay una distribución de probabilidad condicionada a los padres de ese nodo, de manera que la distribución conjunta factoriza como el producto de las distribuciones condicionadas asociadas a los nodos de la red. Es decir, para una red con n variables x_1, x_2, \dots, x_n , como se aprecia a continuación:

Las variables seleccionadas en el estudio para la construcción del modelo de la red bayesiana son las que se incluyen en el Cuadro 2. Los valores de dichas variables corresponden a los datos de las Memorias de Sostenibilidad publicadas anualmente por las Autoridades Portuarias de los puertos españoles y completados con información suministrada por el Organismo Público Puertos del Estado, corresponden al registro histórico desde el año 2010, contando con casi 3000 registros.

Cuadro 2. Clasificación de los principales factores en las cuatro dimensiones de la sostenibilidad portuaria. Fuente: Elaboración propia.

Dimensión	ID	Marca temporal	Descripción	Unidades
Dimensión medioambiental: Calidad y gestión ambiental	MSED	Gestión ambiental	Grados de implantación de los sistemas de gestión ambiental (EMAS, ISO 14001 y PERLS) y recursos económicos invertidos gastos, así como inversiones en su caso, asociados a la implantación, certificación y mantenimiento de un sistema de gestión ambiental	Número
	AQED	Calidad del aire	Principales focos de emisión del puerto que suponen emisiones significativas, evolución del número de quejas o denuncias registradas por la Autoridad Portuarias procedentes de grupos de interés relativas a emisiones de polvo o a la calidad del aire en general, medidas implantadas por la Autoridad Portuaria para controlar las emisiones ligadas a la actividad del conjunto del puerto	Número
	WQED	Calidad del agua	Principales focos de vertido situados en el puerto que tienen un impacto significativo en la calidad del agua y sedimentos de las dársenas del puerto, medidas implantadas por la Autoridad Portuaria para controlar las emisiones ligadas a la actividad del conjunto del puerto, superficie de la zona de servicio que cuenta con recogida y tratamiento de aguas residuales	Millones de toneladas
	SQED	Calidad acústica	Principales focos de emisión (puntuales y difusos) del puerto que suponen emisiones acústicas significativas, evolución del número de quejas o denuncias registradas por la Autoridad Portuaria procedentes de grupos de interés, elaboración de mapa de ruido y plan de acción acústica	% cifra de negocio
	RMED	Gestión de residuos	Residuos generados por la Autoridad Portuaria que son segregados y valorizados, actividades o fuentes de generación de residuos dentro del puerto, iniciativas promovidas por la Autoridad Portuaria para la mejora de la gestión de residuos de la comunidad portuaria	% mercancía
	WEED	Ecoeficiencia	Eficiencia en el uso del suelo, consumo de agua y energía eléctrica por la Autoridad Portuaria	Número
	EIED	Comunidad portuaria	Condiciones o exigencias sobre aspectos ambientales en los pliegos de prescripciones técnicas particulares de los servicios portuarios, en términos de otorgamiento y en títulos de concesión o autorización	Número
	Dimensión social: capital humano y empleo	ETSD	Capital humano de la actividad portuaria	Empleo, comunicación interna y participación, formación, estructura de plantilla y equidad, seguridad y salud en el trabajo, etc.
PCSD		Empleo y seguridad laboral en la comunidad portuaria	Empleo en la comunidad portuaria, seguridad laboral y formación en servicios y concesiones portuarios, etc.	% ferrocarril

Dimensión	ID	Marca temporal	Descripción	Unidades
Dimensión institucional: Conjunto de objetivos e indicadores de sostenibilidad que reflejan prioridades estratégicas en el ámbito de la sostenibilidad para el conjunto del sistema portuario de interés general.	MSID	Herramientas de apoyo a la gestión	Herramientas de apoyo a la gestión	%
	RIID	Generación de infraestructura portuaria	Papel de la Autoridad Portuaria como proveedor de la infraestructura	Inversión/ Cash flow
	STID	Mercados servidos	Estructura y evolución de los principales tráficos de mercancías	Tm/m2
	EDID	Papel del sector portuario como dinamizador de la actividad productiva	Principales sectores o actividades relevantes en el desarrollo económico local que se apoyan en el puerto para su desarrollo	Importe neto de la cifra de negocio/ persona)
	TRID	Servicios y concesiones/ autorizaciones	Tipos, marco de prestación y regulación	% empleados dentro de convenio
	PIID	Presencia de la iniciativa privada	Número de empresas que operan en el puerto, superficie terrestre ocupada, caracterizada como uso comercial concesionado, etc.	Número
	PSID	Transparencia y libre concurrencia	Iniciativas dirigidas a garantizar que todo operador que desee prestar servicios en el puerto u optar a una concesión pueda conocer de modo transparente las condiciones para operar en el puerto y los mecanismos administrativos que regulan dicho proceso	Millones euros
	IEID	Calidad en la prestación de los servicios	Iniciativas promovidas por la Autoridad Portuaria dirigidas a mejorar la eficiencia, la calidad del servicio y el rendimiento de los servicios prestados a la mercancía	Número total
	TSID	Integración de los puertos en el sistema de transporte	Eficiencias con la que son coordinados los diferentes modos de transporte que confluyen en el puerto	Número
Dimensión económica: situación económico financiera del sistema portuario español	FSED	Situación económica financiera	Entre otros indicadores: rentabilidad sobre activos, EBIDTA/tonelada, servicio de la deuda, relación gastos de explotación e ingresos de explotación, etc.	Número
	SIED	Nivel y estructura de las inversiones	Entre otros indicadores: inversión pública en relación con el cash-flow, inversión ajena frente a la inversión pública, renovación de activos	Número
	BSED	Negocio y servicios	Entre otros indicadores: ingresos por tasas de ocupación y actividad, uso comercial de la superficie, uso de los muelles, etc.	Kwh/m2
	VPED	Valor generado y productividad	Entre otros indicadores: productividad del trabajo según ingresos, productividad del trabajo según EBIDTA, etc.	Número

Obtener una red bayesiana a partir de datos, es un proceso de aprendizaje que se divide en dos etapas: el aprendizaje estructural y el aprendizaje paramétrico (Pearl, 1988). La primera de ellas consiste en obtener la estructura de la red bayesiana, es decir, las relaciones de dependencia e independencia entre las variables involucradas. La segunda etapa, tiene como finalidad obtener las probabilidades a priori y condicionales requeridas, a partir de una estructura dada.

A continuación se describe la discretización de las variables, la construcción del modelo y la inferencia y clasificación.

Discretización de variables

Una vez seleccionadas las variables de estudio, es necesario, para el proceso de construcción de los modelos, la discretización de las variables. Normalmente las redes bayesianas consideran variables discretas o nominales, por lo que si no lo son hay que discretizarlas antes de construir el modelo. Aunque existen modelos de redes bayesianas con variables continuas, éstos están limitados a variables gaussianas y relaciones lineales. Los métodos de discretización se dividen en dos tipos principales: (i) no supervisados y (ii) supervisados. Así se estudian diferentes tipos de discretizaciones y será una opción del software desarrollado.

La discretización consiste en dividir el rango de las variables continuas en un número finito de intervalos exhaustivos y exclusivos. En el caso de las redes Bayesianas, las herramientas generalmente necesitan los atributos discretizados. Para discretizar los atributos es necesario seleccionar el número de intervalos. Los intervalos se dividen teniendo en cuenta la frecuencia, es decir, el número de instancias en cada intervalo o utilizando el mismo rango, es decir, la misma distancia. Naturalmente, siempre se pierde 'información' al discretizar. Una vez seleccionadas las variables de estudio en las tareas anteriores, es necesario, para el proceso de construcción de los modelos, la discretización de las variables. Para este estudio se ha considerado emplear variables discretas, para lo cual se han discretizado las variables continuas. Dicha discretización se realiza atendiendo a criterio experto para la selección de estratos.

Los atributos continuos se transforman en intervalos que pueden ser usados como etiquetas discretas. El experto del dominio decidirá el número de intervalos, rechazar o corregir instancias con outliers, etc.

Una vez que hemos preprocesado los datos, empieza el proceso de aprendizaje (el proceso de minería de datos). En el caso de las redes Bayesianas, consiste en aprender la estructura de la red y generar las tablas de probabilidades para cada nodo. En la mayoría de los casos, en este paso también serán necesarios expertos del dominio para definir total o parcialmente la estructura de la red, decidiendo la dirección de los arcos (relaciones causa-efecto), nodos raíz/ hoja y/o parámetros como umbrales, algoritmos, etc. Una vez obtenida la red, es posible que sea necesario editarla para añadir, borrar o invertir los arcos.

En este caso los estratos de discretización se han realizado a través de percentiles, siendo p25, p50 y p75 los estratos definidos.

Construcción de los modelos

En esta parte del proceso, el aprendizaje estructural consiste en encontrar las relaciones de dependencia entre las variables, de forma que se pueda determinar la topología o estructura de la red bayesiana. De acuerdo al tipo de estructura, se aplican diferentes métodos de aprendizaje estructural: aprendizaje de árboles, aprendizaje de poli-árboles,

aprendizaje de redes multiconectadas, métodos basados en medidas y búsqueda, métodos basados en relaciones de dependencia.

Para la construcción del modelo, en esta investigación se ha empleado el algoritmo K2. El algoritmo K2 está basado en la optimización de una medida, que es lo que se pretende en la planificación, optimizar los ratios de explotación. Esa medida se usa para explorar, mediante un algoritmo de ascensión de colines, el espacio de búsqueda formado por todas las redes que contienen las variables de la base de datos. Se parte de un red inicial y ésta se va modificando (añadiendo arcos, borrándolos o cambiándolos de dirección), obteniendo una nueva red con mejor medida. En concreto, la medida K2 (Cooper and Herskovitz, 1992) para una red G y una base de datos D es la siguiente:

$$f(G; D) = \log P(G) + \sum_{i=1}^n \left[\sum_{k=1}^{s_j} \left[\frac{\log(\Gamma(\eta_{ik}))}{\Gamma(\eta_{IK} + \eta_{ik})} + \sum_{j=1}^{r_i} \frac{\log(\Gamma(\eta_{ijk} + \eta_{ijk}))}{\Gamma(\eta_{ijk})} \right] \right]$$

donde N_{ik} es la frecuencia de las configuraciones encontradas en la base de datos D de las variables x_i , donde n es el número de variables, tomando su j -ésimo valor y sus padres en G tomando su k -ésima configuración, donde s_i es el número de configuraciones posibles del conjunto de padres y r_i es el número de valores que puede tomar la variable x_i .

Las redes Bayesianas llevan tiempo incorporándose a tareas de clasificación supervisada, pero no al caso de planificación en lo relacionado con los puertos. En base a ideas expuestas por (Acid & de Campos, 1995; Friedman & Goldszmidt, 1996), y ampliadas en (Sierra & Larranaga, 1998), se pueden utilizar las factorizaciones de probabilidad representadas por las redes Bayesianas para realizar clasificaciones, considerando para ello la existencia de una variable especial, la variable a clasificar, que viene a ser predicha por un grupo de variables, el resto, y de forma que la estructura de la red obtenida puede ser utilizada para la predicción del valor de la clase de esta variable a clasificar, mediante la asignación de valores a las predictoras, y la posterior propagación de la evidencia introducida en la red; esto es, mediante el cálculo de la probabilidad a posteriori del nodo asociado a la variable especial, dados los valores del resto.

En la construcción de la red se ha utilizado el software Elvira específico para trabajar con redes bayesianas (Elvira Consortium, 2002). El programa Elvira cuenta con un formato propio para la codificación de los modelos, un lector-intérprete para los modelos codificados, una interfaz gráfica para la construcción de redes, con opciones específicas para modelos canónicos, algoritmos exactos y aproximados (estocásticos) de razonamiento, tanto para variables discretas como continuas, métodos de explicación del razonamiento, algoritmos de toma de decisiones, aprendizaje de modelos a partir de bases de datos, fusión de redes, etc.

Un primer estudio de la red indica que hay dos padres en la red:

- » PSID: Iniciativas dirigidas a garantizar que todo operador que desee prestar servicios en el puerto u optar a una concesión pueda conocer de modo transparente las condiciones para operar en el puerto y los mecanismos administrativos que regulan dicho proceso
- » MSID: Sistemas de gestión de apoyo a la toma de decisiones: sistemas de gestión de la calidad, cuadros de mando integral, campañas de caracterización de mercados, etc.

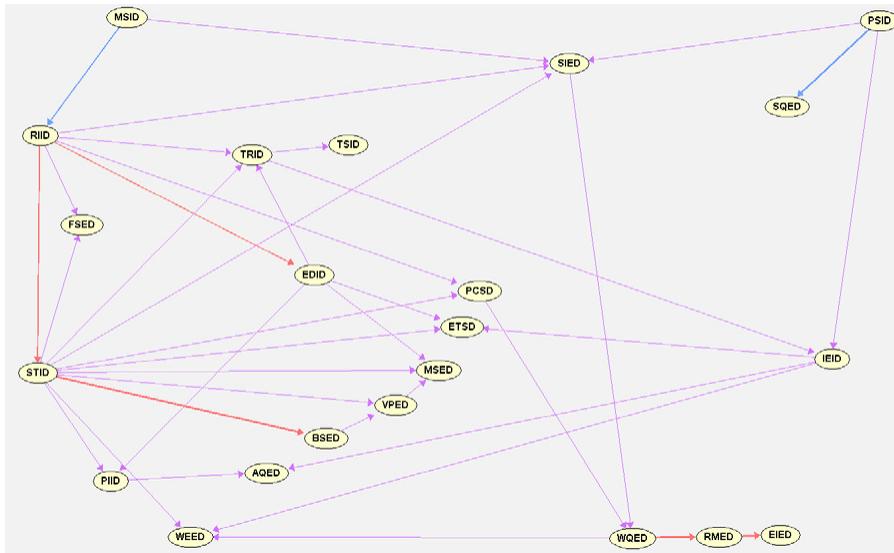


Figura 3. Red bayesiana obtenida empleando el algoritmo K2. Fuente: Elaboración propia.

Por lo que a partir de estas variables se relacionan las demás, son por ello, muy importantes para la planificación de un modelo sostenible

Resultados obtenidos

Las conexiones en serie representan a un conjunto de variables asociadas linealmente que denota dependencia entre las variables, en este caso Figura 4.

En este caso, RMED depende de WQED y EIED de RMED. En términos causales diríamos que WQED es causa de RMED y que RMED es causa de EIED. En este caso, dada la dependencia entre las variables, cuando conocemos información sobre WQED podemos modificar nuestra certeza sobre el estado de EIED; y a la inversa, cuando sabemos algo sobre el estado de EIED la creencia sobre el estado de WQED se altera. Sin embargo, si el estado de RMED es conocido; conocer alguna información sobre WQED o EIED no modificará nuestra creencia sobre el estado de estas variables. Podríamos decir que la propagación de la información se bloquea y se dice que WQED y EIED se tornan condicionalmente independientes dado RMED.

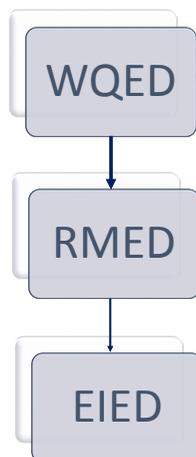


Figura 4. Relación serial entre variables de sostenibilidad portuaria. Fuente: elaboración propia.

Por lo que de las relaciones entre las tres variables al aumentar el valor del nodo padre aumenta el valor del nodo hijo, así al aumentar los principales focos de vertido situados

en el puerto que tienen un impacto significativo en la calidad del agua y sedimentos de las dársenas del puerto, aumentan los residuos generados por la Autoridad Portuaria que son segregados y valorizados y las actividades o fuentes de generación de residuos dentro del puerto y de la misma forma, si aumentan las medidas implantadas por la Autoridad Portuaria para controlar las emisiones ligadas a la actividad del conjunto del puerto y la superficie de la zona de servicio que cuenta con recogida y tratamiento de aguas residuales, aumentan las iniciativas promovidas por la Autoridad Portuaria para la mejora de la gestión de residuos de la comunidad portuaria.

De igual modo, debido a las relaciones que se destacan en la red si aumentan las actividades o fuentes de generación de residuos dentro del puerto, aumentan las condiciones o exigencias sobre aspectos ambientales en los pliegos de prescripciones técnicas particulares de los servicios portuarios, en términos de otorgamiento y en títulos de concesión o autorización.

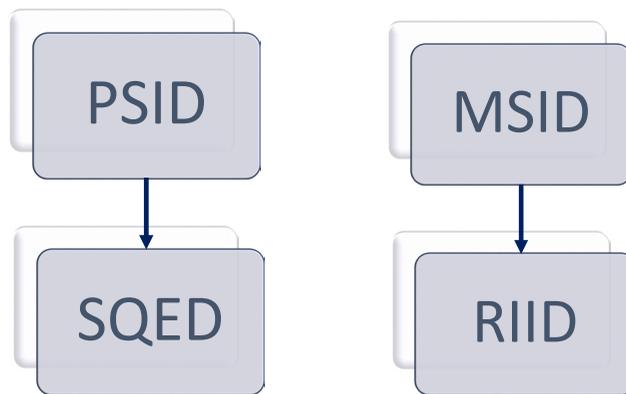


Figura 5. Relaciones con influencia negativa entre variables de sostenibilidad portuaria.
Fuente: elaboración propia.

Cuando las relaciones son de influencia negativa como en el caso de la figura 5 al aumentar iniciativas dirigidas a garantizar que todo operador que desee prestar servicios en el puerto u optar a una concesión pueda conocer de modo transparente las condiciones para operar en el puerto y los mecanismos administrativos que regulan dicho proceso disminuye entre otros indicadores la inversión pública en relación con el cash-flow y la renovación de activos.

Así también, si aumentan los sistemas de gestión de apoyo a la toma de decisiones: sistemas de gestión de la calidad, cuadros de mando integral, campañas de caracterización de mercados, etc. disminuyen el papel de la Autoridad Portuaria como proveedor de la infraestructura.

Las variables de tipo social, que siempre deben ser tenidas en cuenta por el planificador se relacionan con las demás variables analizadas de la forma que se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Relaciones principales de las variables sociales. Fuente: Elaboración propia.

Variables de la categoría social			Variables padres	Variables hijos
ETSD	Capital humano de la actividad portuaria	Empleo, comunicación interna y participación, formación, estructura de plantilla y equidad, seguridad y salud en el trabajo, etc.	STID EDID IEID	No hay hijos
PCSD	Empleo y seguridad laboral en la comunidad portuaria	Empleo en la comunidad portuaria, seguridad laboral y formación en servicios y concesiones portuarios, etc.	STID RIID	WQED

Según se observa en el Cuadro 4, las principales relaciones de las variables sociales son las variables institucionales, de forma que algunas de estas variables son los padres de las variables sociales. Así, en términos causales (causa-efecto) se observa que el empleo y la seguridad laboral de la comunidad portuaria son un efecto principalmente del papel de la Autoridad Portuaria como proveedor de la infraestructura y de la estructura y evolución de los principales tráficos de mercancías. Por tanto, se puede decir que el planificador conoce de esta manera que un aumento de los tráficos provocará una mejora en el empleo y la seguridad laboral del puerto, de igual modo que el papel Autoridad Portuaria en la de la gestión del suelo mejorará o empeorará las condiciones de los empleados.

Cuadro 4. Padres e hijos de las variables sociales. Fuente: Elaboración propia.

Dimensión	ID	Marca temporal	Descripción	Relación
Ambiental	WQED	Calidad del agua	Principales focos de vertido situados en el puerto que tienen un impacto significativo en la calidad del agua y sedimentos de las dársenas del puerto, medidas implantadas por la Autoridad Portuaria para controlar las emisiones ligadas a la actividad del conjunto del puerto, superficie de la zona de servicio que cuenta con recogida y tratamiento de aguas residuales	Hijo de PCSD
Institucional	RIID	Generación de infraestructura portuaria	Papel de la Autoridad Portuaria como proveedor de la infraestructura	Padre de PCSD
	STID	Mercados servidos	Estructura y evolución de los principales tráficos de mercancías	Padre de PCSD y de ETSD
	EDID	Papel del sector portuario como dinamizador de la actividad productiva	Principales sectores o actividades relevantes en el desarrollo económico local que se apoyan en el puerto para su desarrollo	Padre de ETSD
	IEID	Calidad en la prestación de los servicios	Iniciativas promovidas por la Autoridad Portuaria dirigidas a mejorar la eficiencia, la calidad del servicio y el rendimiento de los servicios prestados a la mercancía	Padre de ETSD

Análogamente, la variable de calidad del agua es hijo de la variable de empleo y seguridad laboral en la comunidad portuaria, de forma que, en términos causales, una causa principal que incide sobre la calidad del agua son las condiciones sociales de los trabajadores en referencia principalmente a su formación. Si se analizan las relaciones de la variable capital humano de la actividad portuaria, de la dimensión social, se aprecia que es una de las variables principales, al igual que la variable empleo y seguridad laboral en la comunidad portuaria es la variable institucional de la estructura y evolución de los principales tráficos de mercancías. Por tanto, si los tráficos del puerto aumentan el capital humano de la actividad portuaria será mayor. Sin embargo, esta variable social no tiene hijos en la red, por lo que no propaga su efecto sobre ninguna variable del estudio.

Asimismo, del análisis de la red se puede concluir que las dos variables institucionales que hacen referencia a los principales sectores o actividades relevantes en el desarrollo económico local que se apoyan en el puerto para su desarrollo y las iniciativas promovidas por la Autoridad Portuaria dirigidas a mejorar la eficiencia, la calidad del

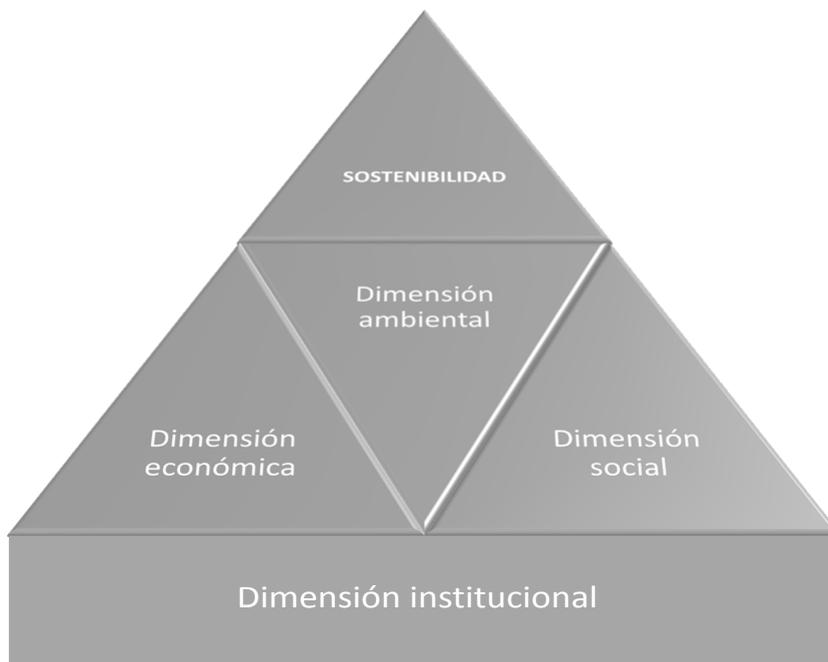


Figura 6. Estructura piramidal de las categorías obtenidas en la Red Bayesiana. Fuente: elaboración propia.

servicio y el rendimiento de los servicios prestados a la mercancía son una alguna de las causas principales de las variables de empleo, comunicación interna y participación, formación, estructura de plantilla y equidad, seguridad y salud en el trabajo, etc.

Conclusiones

A través de la construcción de una red bayesiana se conocen las relaciones entre las diferentes variables de sostenibilidad en un entorno portuario. A partir de la red bayesiana construida usando el algoritmo K2 para analizar la sostenibilidad del sistema portuario español se observa que la categoría más decisiva es la institucional, luego económica y social a la misma altura, y finalmente categoría ambiental, tal y como se muestra en la Figura 6.

En el escenario económico, social y político en el que nos encontramos, la sociedad es cada vez más exigente en relación a sus gestores públicos, reclamando no sólo la eficacia y eficiencia de los recursos gestionados, sino transparencia y buenas prácticas de gestión, como contrapartida indispensable para lograr su reconocimiento y apoyo. Las instituciones portuarias no deben realizar su planificación y gestión portuaria guiándose únicamente por la viabilidad económica de su actividad y la contribución a la organización de una logística eficiente, sino que también queda patente su responsabilidad con la sociedad y el medio ambiente, así como su compromiso con la transparencia.

Hay un amplio grupo de colectivos de carácter social, económico y administrativo que se ven afectados por la actividad de las Autoridades Portuarias y que a su vez influyen en el desarrollo y desempeño de las actividades de las Autoridades Portuarias. Debido a su compromiso institucional, la mayoría de puertos identifican sus expectativas y definen posibles marcos de comunicación o participación con cada uno de ellos.

La ley de puertos establece diversos mecanismos para garantizar que las empresas que operan en el dominio público portuario presten sus servicios en régimen de libre competencia y libre concurrencia. En relación a la calidad de los servicios destacar

también que algunas autoridades cuentan con mecanismos de impulso a la mejora de la calidad y competitividad de los servicios, y con mecanismos de valoración de la calidad de estos. Se aprecia de las relaciones establecidas en la red obtenida que las variables que miden estos mecanismos inciden muy directamente en muchas variables, especialmente las medioambientales.

Respecto al transporte, desde las Autoridades Portuarias se impulsan diferentes estrategias destinadas a lograr una mayor integración y coordinación de los distintos modos de transporte, lo cual permite mejorar la eficiencia ambiental y la competitividad de las cadenas de transporte portuarias. A pesar del gran esfuerzo realizado durante los últimos años, persiste el reto de mejorar y optimizar la conexión con redes de alta capacidad, su reflejo en la red indica que Integración de los puertos en el sistema de transporte pasa por generación de infraestructura portuaria, estudio de los mercados servidos y el papel del sector portuario como dinamizador de la actividad productiva, todo ello a través de los Servicios y concesiones/autorizaciones.

En lo que respecta al resto de la comunidad portuaria, el 90% de las Autoridades establecen como requisito en los pliegos de prescripciones particulares de los servicios portuarios, en las condiciones de otorgamiento o en los títulos de concesión o autorización, contar con un sistema de gestión de prevención y salud. Por ello, cada vez más terminales o servicios portuarios optan por certificarse según el sistema de gestión de riesgos laborales OHSAS.

Debido a la conexión convergente que confluye en la variable de capital humano de la actividad portuaria y conociendo que en las conexiones convergentes varias variables apuntan con sus arcos hacia una variable de convergencia, esto es, convergen en un mismo nodo hijo. En este tipo de conexiones las variables madre son independientes entre sí, pero una variable de convergencia puede influir sobre sus nodos padre. Así el papel del sector portuario como dinamizador de la actividad productiva, los mercados servidos y calidad en la prestación de los servicios convergen en capital humano de la actividad portuaria. Por lo que 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.

Con respecto a la calidad del aire y del agua, las Autoridades Portuarias contribuyen de modo activo aplicando diferentes iniciativas para reducir las emisiones de polvo y partículas y para mejorar la calidad del agua y la calidad acústica. No obstante, algunas actividades como la manipulación de mercancías a granel con métodos convencionales siguen generando molestias y quejas en su entorno; por ello es necesario seguir trabajando en políticas de regulación e incentivo dirigidas a lograr un mejor desempeño ambiental por parte de las empresas que operan este tipo de productos.

Por otro lado, las variables institucionales están muy interconectadas entre sí, en términos de causa-efecto entre ellas unas son causa de otras y unas son efecto de otras. Las variables de tipo económico son importantes en términos de causa-efecto porque son efectos de mercados servidos: es decir del tráfico portuario, que es una variable que pertenecen a la dimensión institucional, de manera que el aumento de los tráficos portuarios incidirá positivamente en las variables económicas.

De igual manera el valor generado y la productividad de un puerto dependen del tipo de negocio y de servicio (ocupación y actividad de los ingresos por comisiones, uso comercial de la superficie, uso de muelles, etc.), así la productividad del trabajo según ingresos, productividad del trabajo según EBIDTA, etc. dependen de la actividad del puerto, relaciones que podrían resultar obvias para el planificador de manera que son un elemento de control de la calidad de la red. Además de lo expuesto, se puede concluir

que, en líneas generales que, las variables sociales son efecto de variables institucionales pero no tienen una relación directa con su misma dimensión que es la social, es decir no hay ni causa ni efecto de una variable social sobre otra.

Finalmente, las variables ambientales están estrechamente interconectadas en la Red Bayesiana y son principalmente efectos de variables de categoría institucional. Por lo tanto, las variables económicas, sociales y ambientales son efectos de variables institucionales.

Como conclusión, la cuestión clave es que las Autoridades Portuarias empiezan a incorporar elementos sostenibles -incluidos en la Ley Portuaria- en sus herramientas, utilizadas para regular los servicios portuarios y la gestión de la posesión pública.

Bibliografía

- » ACID, Silvia & DE CAMPOS, Luis (1995) Approximations of causal networks by polytrees: An empirical study. *Advances in Intelligent Computing—IPMU'94*, 149-158.
- » AUTORIDAD PORTUARIA DE A CORUÑA, AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA, ORGANISMO PÚBLICO PUERTOS DEL ESTADO (2008) Guía para la elaboración de memorias de sostenibilidad en el sistema portuario español. FEPORTS.
- » AWAD NÚÑEZ, Samir; GONZÁLEZ-CANCELAS, Nicoleta; CAMARERO ORIVE, Alberto (2015) Establecimiento de los factores a considerar para determinar la zona de ubicación de de un puerto seco y de sus jerarquías a través de un panel DELPHI. *Revista Transporte y Territorio /13* (2015) ISSN 1852-7175 [100-121]
- » BISHOP, Christopher (2006) *Pattern recognition and machine learning*. Springer New York: SpringerLink (Online service).
- » CAIN, Jeremy (2001) *Planning improvements in natural resource management. guidelines for using bayesian networks to support the planning and management of development programmes in the water sector and beyond*. Wallingford, Oxon: CEH Wallingford.
- » CAMARERO, Alberto, GONZÁLEZ-CANCELAS, Nicoleta, SOLER, Francisco y LÓPEZ, Iñigo (2013) Utilización de redes bayesianas como método de caracterización de parámetros físicos de las terminales de contenedores del sistema portuario español. *Revista de Ingeniería*, (39), 31-38.
- » CANCELAS, Nicoleta González, FLORES, Francisco Soler y ORIVE, Alberto Camarero (2013) Modelo de eficiencia de las terminales de contenedores del sistema portuario español. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA. Rect@*, Vol. 14; 49-67.
- » CASTILLO, Enrique, GUTIÉRREZ, Jose María y HADI, Ali S. (1997) *Expert Systems and Probabilistic Network Models*. Springer Verlag.
- » CASTILLO, Enrique, MENÉNDEZ, Jose María & SÁNCHEZ CAMBRONERO, Santos (2008) Traffic estimation and optimal counting location without path enumeration using Bayesian networks. *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 23(3), 189-207
- » CASTILLO, Enrique, MENÉNDEZ, Jose María & SÁNCHEZ CAMBRONERO, Santos (2008) Predicting traffic flow using Bayesian networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 42, No. 5; 482-509.
- » CIOS, Krzysztof and KACPRZYK, Janusz (2001) *Medical Data Mining and Knowledge Discovery*. PhysicaVerlag.
- » CIOS, Krzysztof, PEDRYCZ, Witold and SWINIARSKI, Roman (2007) *Data Mining: A Knowledge Discovery Approach*. Springer Verlag.
- » COMISIÓN EUROPEA (2000) *IQ— Intermodal Quality*. Final Report, Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme – Integrated Transport Chain.
- » COMISIÓN EUROPEA (2001) *European Transport Policy for 2010: Time to decide*. Office for official publications of the European Communities, Luxemburg. White Paper
- » CONATI, Cristina, GERTNER Abigail Y VANLEHN, Kurt (2002) Using bayesian networks to manage uncertainty in student modelling. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 12, 371-417.

- » COOPER, Gregory F. and HERSKOVITZ, Edwards (1992) A bayesian method for the induction of probabilistic networks from data. *Machine Learning*, 9(4):309-348
- » CRESPO SOLER, Cristina, RIPOLL FELIU, Vicente, CRESPO TRUJILLO, Ana M^a, GINER FILLOL, Arturo. (2005) La sostenibilidad ambiental en el sistema portuario de titularidad estatal. XIII Congreso AECA. Armonización y Gobierno de la Diversidad. 22-24 Septiembre 2005
- » CRESPO SOLER, Cristina, GINER FILLOL, Arturo, MORALES BARAZA, Jose Antonio., PONTE TUBAL, Nicolás., RIPOLL FELIU, Vicente (2007) La información de sostenibilidad en el marco de las cuentas anuales: análisis aplicado al caso de la Autoridad Portuaria de Valencia. *Revista do Contabilizado de Maestrado em Ciências Contábeis da UERJ*, Rio Janeiro, v-12, n.3, p-11 set./dez
- » DOERR, Octavio (2011) Políticas portuarias sostenibles. Boletín FAL. CEPAL. Edición n^o 299, número 7 de 2011.
- » ELVIRA CONSORTIUM (2002) Elvira: An environment for creating and using probabilistic graphical models. In: Gámez JA, Salomón A, editors. Proceedings of the 1st European Workshop on Probabilistic Graphical Models (PGM'02). 2002; p. 222-230.
- » GLOBAL REPORTING INITIATIVE (2000) Guía para la elaboración de Memorias de Sostenibilidad. Versión 3.1. GRI
- » FLORES, Francisco Soler, CANCELAS, Nicoleta González, ORIVE, Alberto Camarero, GÁRATE, Jose Luis Almazán & MONZÓN, María del Carmen Palomino (2014) Diseño de un modelo de planificación de zonas de actividades logísticas mediante el empleo de redes bayesianas. *Revista Ingeniería Industrial*, 12(1).
- » FRIEDMAN, Nir & GOLDSZMIDT, Moises (1996) Building classifiers using bayesian networks. Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence, Menlo Park, Ca: AAAI Press
- » GONZÁLEZ, Fernando, GUERRA Andrés, MARTÍN, Federico, NÓVOA, Juan José, OTERO, Carlos y PENELA, Jorge (2010) Medición de la sostenibilidad en el sistema portuario Español: propuesta metodológica a través de indicadores sintéticos de desarrollo sostenible". *XII Reunión de economía mundial*, mayo de 2010. Santiago de Compostela
- » GRUPO DE TRABAJO 23 (2004) La sostenibilidad en los puertos. CONAMA VII Cumbre del desarrollo sostenible, 24 de noviembre de 2004. Madrid (Spain)
- » HESSE, Markus y RODRIGUE, Jean Paul (2006) Global production networks and the role of logistics and transportation, *Growth and Change*, vol. 37, n^o 4, p. 499-509.
- » HOFLEITNER, A., R. HERRING, R., P. ABBEEL P. & BAYEN, A. (2012) Learning the dynamics of arterial traffic from probe data using a dynamic Bayesian network". *Intelligent Transportation Systems*, IEEE Transactions on, 13(4), 1679-1693.
- » JANSSENS, Davy, WETS, Geert, BRIJS, Tom and VANHOOF, Koen (2006) Integrating Bayesian networks and decision trees in a sequential rule-based transportation model. *European Journal of operational research*, 175(1), 16-34.
- » JARA-DÍAZ, Sergio, MARTÍNEZ-BUDRÍA, Eduardo, CORTES C. & VARGAS Andrés (1997) Marginal costs and scale economies in Spanish ports. 25th European Transport Forum, Proceedings Seminar L, PTRC, London, pp. 137-147.
- » KALUZA, Pablo, KÖLZSCH, Andrea , GASTNER, Michael T. & BLASIUS, Bernd (2010) The complex network of global cargo ship movements. *Journal of the Royal Society Interface*, rsif20090495

- » KLEMOLA, Eveliina, KURONEN, Jenni, KALLI, Juha and TAPANINEN, Ulla (2009) A cross-disciplinary approach to minimising the risks of maritime transport in the Gulf of Finland. *World Review of Intermodal Transportation Research*, Vol. 2, No. 4, 343-363.
- » LI, Kevin X., YIN, Jingbo, BANG, H.S., YANG, Zaili & WANG, Jin (2014) Bayesian network with quantitative input for maritime risk analysis. *Transportmetrica A: Transport Science*, 10(2), 89-118.
- » LIZAZO TORRES, Denis; DELFOR MEYER, Roberto and TORRES CÁRDENAS, Verena (2011) Minería De Datos En La Encuesta Permanente De Hogares 2009, Universidad Nacional Del Litoral, Argentina. *Revista Ingeniería Industrial*, no. 1, pp. 19-28.
- » PALOMINO MONZÓN, M. Carmen; ALMAZÁN GÁRATE, José Luis; GONZÁLEZ CANCELAS, Nicoletta y SOLER FLORES, Francisco (2012) Planificación de la integración puerto ciudad: caso de Vigo. *Revista Transporte y Territorio*, nº 7, Universidad de Buenos Aires. p. 150-165. Disponible en: <http://www.rtt.filo.uba.ar/RTT00708150.pdf>
- » PEARL, Judea (1988) Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. Morgan Kaufmann.
- » PLATA, Wenseslao; GÓMEZ, Montserrat y BOSQUE, Joaquín (2010) Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid. *GeoFocus (Artículos)*, nº 10, pp. 103-134. ISSN: 1578-5157.
- » PUERTOS DEL ESTADO (2011) Memoria de sostenibilidad del sistema portuario de interés general.
- » ROSO, Violeta; WOXENIUS, Johan y LUMSDEN, Kenth (2009) The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland, *Journal of Transport Geography*, vol. 17, nº 5, p. 338-345.
- » SÁNCHEZ, Ricardo, JAIMURZINA, Azhar, WILMSMEIER, Gordon, PÉREZ-SALAS, Gabriel, DOERR, Octavio, PINTO, Francisca (2015) Transporte marítimo y Puertos. Desafío y oportunidades en busca de un desarrollo sostenible de América Latina y El Caribe. CEPAL. Serie Recursos Naturales e Infraestructura.
- » SERRANO, Oscar (2015) Operativa portuaria y sostenibilidad. CONAMA LOCAL 2015, 7 octubre de 2015. Málaga
- » SIERRA, Basilio & LARRANAGA, Pedro (1989) Predicting survival in malignant skin melanoma using bayesian networks automatically induced by genetic algorithms. an empirical comparison between different approaches. *Artificial Intelligence in Medicine*, 14(1-2), 215-230.
- » SUN, Shiliang; ZHANG, Changshui; YU, Guoqiang (2006) A bayesian network approach to traffic flow forecasting. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 7(1), 124-132.
- » TEBALDI Claudia. & WEST Mike (2012) Bayesian inference on network traffic using link count data. *Journal of the American Statistical Association*, 93(442), 557-573.
- » TODD, Brian S., STAMPER, Richard, and MACPHERSON, Paul (1994) The Design and Construction of a Medical Simulation Model. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 42, no. 2, pp. 77-91.
- » TRUCCO, Paolo, CAGNO, Enrico, RUGGERI, Fabrizio & GRANDE, Ottavio (2008) A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(6), 845-856.

- » VITYAEV, E. and KOVALCHUK, B. (2004) Empirical Theories Discovery Based on the Measurement Theory. *Mind and Machine*, vol. 14, no. 4, pp. 551-573.
- » WITTEN, Ian H.; and FRANK, Eibe (2005) *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann Pub.
- » WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED) (1987). *Our Common Future* (Brundtland Report), United Nations
- » WONG, Raymond Chi-Wing, LI, Jiuyong, FU, Ada Wai-Chee and WANG, Ke (2006) (, k)-Anonymity: An Enhanced k-Anonymity Model for Privacy Preserving Data Publishing. ACM.
- » ZHENG, Weizhong, LEE, Der-Horng & SHI, Qixin (2006) Short-term freeway traffic flow prediction: Bayesian combined neural network approach. *Journal of transportation engineering*, 132(2), 114-121.

Beatriz Molina Serrano / beatriz.molinas@alumnos.upm.es

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 transporte y seguridad vial.

Nicoletta González-Cancelas / nicoleta.gcancelas@upm.es

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Contratado Doctor del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Madrid. Es especialista en Logística y transporte, profesora del Máster Universitario en Sistemas de Ingeniería Civil, del Master en Gestión y Planificación Portuaria e Intermodalidad y del Master del Campus Portuario de Puertos del Estado.

Francisco Soler-Flores / francisco.solerflores@altran.com

Francisco Soler Flores / fsoler@upm.es Licenciado en Matemáticas por la Universidad de Almería. Doctor en Tecnología y Sistemas de Información por la Universidad de Castilla-La Mancha. Es profesor de la UNIR (Facultad de Educación). Es Solution Manager Data Analytics en Altran Innovación en el Departamento de Bussines Development. Es especialista en Analytics y Machine Learning.

Alberto Camarero-Orive / alberto.camarero@upm.es

Alberto Camarero-Orive Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad Politécnica de Madrid y Licenciado en Economía y en Administración, y Dirección de Empresas por la Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas de la Universidad Carlos III de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Profesor titular del Departamento de Ingeniería Civil y Transportes en la Unidad Docente de Explotación de Puertos. Además, es Profesor del Programa de Doctorado "Ingeniería e Infraestructura de los transportes".