

# ***Competitividad de los puertos Atlánticos Españoles para articulación de rutas multimodales con Francia mediante Autopistas del mar***

**Alba MARTINEZ-LOPEZ**

Department of Naval Engineering, University of A Coruña  
C/Mendizábal s/n, 15403 Ferrol, A Coruña, Spain.

Email: [amartinezl@udc.es](mailto:amartinezl@udc.es).

Telephone: +34 981 337400 ext.3848

**Lorena GARCIA-ALONSO**

Department of Applied Economic, University of Oviedo  
Avda. Del Cristo s/n, 33006 Oviedo, Spain.

Email: [lorena@uniovi.es](mailto:lorena@uniovi.es)

Telephone: +34 985104995

Motivado por las importantes relaciones comerciales entre España y Francia y el problema del colapso de las carreteras pirenaicas que unen ambos países, el gobierno español y francés firman en Abril del 2007 las bases reguladoras para el establecimiento de Autopistas del mar entre España y Francia en la fachada Atlántico-Mancha-Mar del norte.

Por tal motivo, en este trabajo se aborda la competitividad de los principales puertos españoles de interés general de la costa atlántica frente al tráfico unimodal con Francia desarrollando un modelo matemático de coste y tiempo para las rutas multimodales planteadas.

Se llevará a cabo un análisis independiente de cada puerto español con diversas alternativas de puertos franceses y ciudades destino en Francia según un modelo de distribución *one to many*. Cada puerto se estudiará según los resultados de una matriz de decisión multicriterio valorando sus índices. De esta valoración se obtendrán las rutas marítimas con más posibilidad de éxito.

A continuación los resultados obtenidos serán sometidos a un análisis de sensibilidad (Crystal Ball) según las variables consideradas y por tanto se determinará la dependencia del éxito de la ruta a factores externos o por el contrario, controlables. Este segundo planteamiento posibilitará conocer el nivel de riesgo asociado a las decisiones propuestas.

## 1. Introducción

El grado de congestión al que han llegado algunos de los principales corredores terrestres de mercancía del territorio comunitario aconseja desviar tráfico de las carreteras hacia modos de transporte alternativos. Con ello se pretende reducir los costes derivados de la elevada concentración de tráfico que padecen; reducción que se produciría tanto en su vertiente externa (relacionada principalmente con el grado de siniestralidad y el deterioro del medio ambiente), como privada (por mayores tiempos de viaje).

Para alcanzar este objetivo, en la Política Europea de Transporte se contempla el desarrollo del Short Sea Shipping (SSS). Aunque son numerosas las definiciones dadas al SSS, según la Comisión Europea se refiere a "... the movement of cargo and passengers by sea between ports situated in geographical Europe or between those ports situated in non-European countries having a coastline on the enclosed seas bordering Europe".

Las ventajas asociadas a este modo con relación al transporte por carretera tienen que ver con su menor siniestralidad, sus bajos costes de infraestructura, su capacidad para llegar a regiones ultra-periféricas y su menor incidencia sobre el medio ambiente (si bien autores como Vanherle et al., (2010) hacen importantes matizaciones a este respecto). Pero a pesar de todas estas ventajas, el transporte por carretera sigue siendo el predominante para canalizar los flujos intracomunitarios de mercancía. Las principales razones por las cuales los freight handlers son reacios al cambio de modo tienen que ver con su percepción del SSS como una alternativa anticuada, más lenta, rígida y compleja desde el punto de vista administrativo, además de menos fiable. Y todo ello hace que tiendan a considerar que supone una opción menos satisfactoria que el transporte por carretera para ofrecer un servicio door-to-door (véase Medda et al. 2010 y Triunfante Martins et al. 2010).

Para tratar de invertir esta percepción, el Libro Blanco de 2001 (La política europea de transporte de cara al 2010: la hora de la verdad), introdujo el concepto de *autopista del mar* como instrumento con el que reactivar el

desarrollo del SSS. Posteriormente, en 2003, la Comisión Europea revisó la Transeuropean Network of Transport (TEN-T) incluyendo como objetivo para 2020 la implantación de autopistas del mar en 4 corredores (TEN-T Project 21): i) Motorway of the Baltic Sea; ii) Motorway of the Sea of Western Europe; iii) Motorway of the Sea of south-east Europe; and iv) Motorway of the Sea of south-west Europe, connecting Spain, France, Italy and Malta, and linking with the Motorway of the Sea of south-east Europe, including links to the Black Sea.

Las autopistas del mar son corredores marítimos. Esto es, un conjunto de puertos y de servicios intermodales que prestan un servicio de SSS para atender un trayecto concreto en una determinada zona de la UE. Su articulación exige, además de la elección de puertos de escala, el establecimiento de frecuencias y conexiones de entrada y salida de los mismos que posibiliten la oferta de un servicio puerta-a-puerta en condiciones de coste y calidad equiparables a los del transporte por carretera (González Laxe et al., 2007). Esto es, el éxito de las autopistas del mar depende de su capacidad para integrar sus servicios en una cadena de transporte intermodal, de manera que la mercancía pase de uno a otro modo sin costes adicionales derivados de la burocracia o de ineficiencias en el servicio portuario (Paixao Casaca et al., 2010).

Todo ello hace que la elección del puerto sea crítica para el éxito de la autopista del mar. No obstante, los trabajos dedicados a la elección portuaria en el marco del SSS son muy escasos, y tienden a limitarse a la perspectiva de las navieras. Hasta donde conocemos, ninguno aborda este problema con una perspectiva global de *servicio de transporte* como la propuesta en este trabajo. Con él pretendemos desarrollar una herramienta que facilite la identificación de los puertos que articulen aquellas rutas marítimas que constituyan la mejor opción para competir con el transporte por carretera. Para ello, planteamos como caso de estudio el de la puesta en marcha de una autopista del mar que conecte las fachadas atlánticas de España y Francia. La estructura del trabajo presentado a continuación es la siguiente. En la sección 2 delimitamos el marco del trabajo; esto es, las alternativas portuarias barajadas para establecer una alternativa intermodal al transporte por carretera. En la sección 3 analizamos cada una de ellas, comparando su competitividad potencial en términos de coste y tiempo. En

la sección 4 analizamos los resultados obtenidos en términos del riesgo asumido respecto a las hipótesis realizadas para analizar la competitividad de las diferentes alternativas planteadas. Finalmente, en la sección 5 presentamos las principales conclusiones del trabajo realizado.

## **2. Selección de extremos de ruta**

La reforma de la TEN-T motivó la firma de un acuerdo bilateral entre España y Francia en 2006 para promover el desarrollo de autopistas del mar que unieran sus respectivas fachadas atlánticas. A partir de este acuerdo se creó una comisión intergubernamental encargada de elaborar una propuesta de selección de proyectos de autopistas del mar susceptibles de recibir ayudas adicionales a las contempladas en el Programa Marco Polo II. Los parámetros a valorar desde este punto de vista administrativo tienen que ver con el volumen de tráfico atraído (y derivado de la carretera), la calidad del proyecto (según número de puertos vinculados, frecuencia del servicio y calidad de las infraestructuras) y resultados económicos y financieros esperados (véase Aperte y Baird, 2010).

La finalidad de este trabajo no es identificar qué puertos cumplen mejor con estos requisitos; sino determinar cuáles están en mejor disposición de articular una cadena intermodal atractiva frente a la alternativa unimodal (carretera). Los puertos analizados fueron elegidos por su ubicación, su relevancia dentro de sus respectivos sistemas portuarios nacionales y su potencial para formar parte de una autopista del mar. Todos ellos disponen de un área de influencia relevante o están próximos a núcleos de población importantes; son de categoría A (tienen importancia internacional y un volumen anual de tráfico que supera 1,5 millones de toneladas de mercancía o 200.000 pasajeros); y reúnen los requisitos de calado y superficie necesarios para acoger los barcos Ro-Ro adecuados a las exigencias del servicio (véase Mbiydzenyuy et al, 2010). Estos requisitos se establecen en las bases del concurso que ambos países han puesto en marcha para promover mediante subvención la puesta en marcha de autopistas del mar que unan sus respectivas costas atlánticas. Según dichas bases, es necesaria una frecuencia mínima de servicio de 4 salidas a la semana por sentido durante los 2 primeros años de explotación, transcurridos los cuales habrá de pasar a 7.

Además, habrá de alcanzar un tráfico anual mínimo de 350.000 semirremolques al cabo de 5 años y de 850.000 transcurridos 10. Este concurso se deriva del acuerdo suscrito entre España y Francia, publicado en el Boletín Oficial del Estado de España y en el Boletín Oficial de la República Francesa (BOE nº 265, de 2006; BOAMP, nº 2007-514, de 2007).

Atendiendo a todos estos aspectos, en este trabajo se consideran como posibles extremos de la autopista del mar los puertos españoles de Vigo, Ferrol, A Coruña y Gijón, y los franceses de Saint Nazaire, Le Havre y Calais. Estos 3 son los puertos mejor ubicados para conectar con Rennes, Paris y Lille, las tres ciudades más importantes del país accesibles desde su fachada atlántica y, por tanto, los 3 extremos franceses de la correspondiente cadena intermodal. En el caso español consideramos que el extremo de ruta será el propio puerto. Esto es así por dos razones. La primera, porque los núcleos de población/actividad más importantes de sus respectivas áreas de influencia pertenecen a las provincias en que se ubican (see García-Alonso and Sánchez-Soriano, 2007). La segunda, porque dichos núcleos son los principales generadores de tráfico de la fachada norte de España. Las provincias interiores de Madrid y Zaragoza también canalizan un importante volumen de tráfico a través de la fachada norte, pero fueron descartadas como posible extremo de la cadena intermodal. Esto se debe a el grueso del tráfico de ambas provincias utiliza las instalaciones del puerto de Bilbao cuando se canaliza hacia el norte (see García-Alonso and Sánchez-Soriano, 2010), y este puerto no es adecuado como posible extremo de la ruta marítima planteada en este trabajo.

El puerto de Bilbao se descarta como posible extremo de ruta marítima porque las autopistas del mar a través de puertos atlánticos resultan interesantes para distancias marítimas interportuarias comprendidas entre los 834 y los 1400 Km, según las conclusiones de estudios previos (véanse el Proyecto 'Emma', del cuarto Programa Marco de la Comisión Europea, o el Proyecto INECEU, financiado por el Ministerio de Fomento de España). Asimismo, desde la UE (COM-1999-), también se recomienda respetar un umbral mínimo de 1385 km de distancia terrestre para desarrollar una cadena de transporte intermodal (estas

referencias fueron establecidas para el caso europeo. Para otros contextos, veáse, por ejemplo, Brooks and Trifts, 2008).

En la tabla 1 se detallan los kilómetros que separan los extremos de las posibles cadenas intermodales.

**Tabla 1. Posibles rutas alternativas**

Extremo español	Puerto francés	Distancia marítima	Extremo francés	Distancia terrestre
Vigo	Calais	1390	Rennes	1453
	St. Nazaire	915	Paris	1577
	Le Havre	1232	Lille	1793
Ferrol	Calais	1206	Rennes	1412
	St. Nazaire	717	Paris	1553
	Le Havre	1049	Lille	1751
A Coruña	Calais	1225	Rennes	1392
	St. Nazaire	717	Paris	1514
	Le Havre	1217	Lille	1731
Gijón	Calais	1156	Rennes	1061
	St. Nazaire	563	Paris	1184
	Le Havre	1152	Lille	1400
Santander	Calais	1164	Rennes	892
	St. Nazaire	508	Paris	1015
	Le Havre	1006	Lille	1231
Bilbao	Calais	1206	Rennes	795
	St. Nazaire	522	Paris	917
	Le Havre	1049	Lille	1134

Fuente: Asociación española de Marina Civil.

Atendiendo a los umbrales señalados anteriormente, los puertos de Santander y Bilbao se descartan por su excesiva proximidad terrestre a los destinos finales franceses. Asimismo, se descartan las combinaciones de Ferrol, A Coruña y Gijón con Saint Nazaire debido a su cercanía marítima. Sin embargo, si consideramos las alternativas de Gijón-Calais y Gijón-Le Havre dado que la distancia marítima que los separa es adecuada y ambas opciones respetan el umbral de distancia terrestre para uno de los extremos de la cadena (Lille). En definitiva, las combinaciones portuarias analizadas en este trabajo para crear una autopista de mar que articule una cadena intermodal capaz de competir con éxito con el transporte por carretera son los recogidos en la tabla 2.

**Tabla 2. Posibles rutas marítimas para el establecimiento de una autopista del mar**

Puerto español ( <i>l</i> )	Puerto francés ( <i>k</i> )
Vigo	Calais
	St. Nazaire
	Le Havre
Ferrol	Calais
	Le Havre
A Coruña	Calais
	Le Havre
Gijón	Calais
	Le Havre

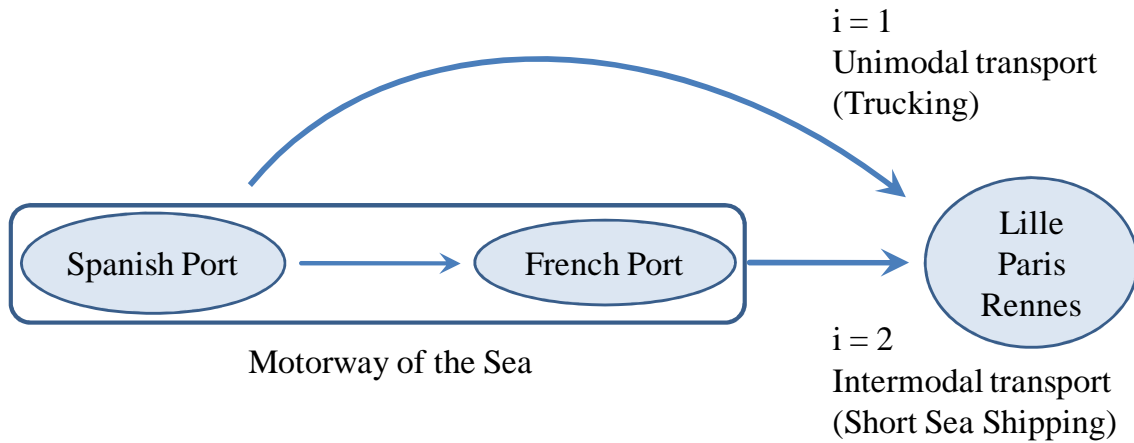
Para analizar las posibilidades de éxito de la cadena intermodal resultante de cada una de estas combinaciones portuarias proponemos utilizar un método de decisión multicriterio. Este tipo de análisis permite evaluar cuál de las alternativas consideradas cumple mejor una serie de objetivos atendiendo a criterios preestablecidos. La identificación de la mejor de las opciones sometidas al análisis multicriterio se consigue mediante la agregación de las valoraciones correspondientes a cada criterio, que han de estar normalizadas para cada alternativa.

La doble vertiente del análisis multicriterio llevado a cabo en este trabajo da lugar a una matriz de decisión compleja. El objetivo final es identificar qué autopista del mar articula la cadena intermodal con mayores posibilidades de éxito frente al transporte por carretera para conectar el extremo español con los tres franceses (Rennes, Paris y Lille). Pero para elegir entre las autopistas del mar alternativas, previamente y para cada una de ellas, hemos de comparar los modos de transporte también alternativos atendiendo a los criterios establecidos (ver figura 1).

Primero se compara el cumplimiento de los criterios por parte de ambos modos de transporte para cada uno de los tres posibles extremos de ruta franceses. Esto se hace para todas las cadenas intermodales posibles, derivadas de las autopistas del mar alternativas (combinaciones portuarias recogidas en la tabla 2). Hecho esto, y tras agregar la valoración de los criterios para cada transporte alternativo respecto a los 3 extremos de ruta franceses, podemos identificar qué autopista del mar confiere mayores posibilidades de éxito a la cadena intermodal

resultante. En definitiva, el objetivo de este trabajo no es analizar ni la competencia intermodal entre ambas opciones, ni qué puertos pueden articular una ruta marítima óptima desde el punto de vista de las navieras (vehicle route planning), ni tampoco el diseño de una red de puertos (commodity problems); sino identificar cuáles favorecen la oferta de un servicio de transporte puerta-a-puerta competitivo respecto al servicio unimodal.

**Figura 1. Opciones alternativas para cada combinación de puertos de la table 2**



### 3. Valoración de alternativas

Dado que el volume de comercio y la evolución de los costes de transporte están inversamente relacionados, los flujos de mercancía se podrían beneficiar de una reducción de los mismos. Esta reducción podría darse tanto en terminus monetarios como de tiempo (véase Limao y Venables, 2001). Asimismo, las variables *tiempo* y *coste* son determinantes en la elección del modo de transporte para la mercancía (véase Garcia-Menendez et al., 2004). Por tanto, los criterios considerados en este trabajo son dos: tiempo y coste invertido en cada ruta. Proponemos sendos índices para valorar cada uno de ellos, tal como se muestra en (1) y (2).

$$I_{ijkl}^T = 1 - \frac{Time_{ijkl}}{\sum_{i=1}^2 Time_{ijkl}} \quad (1)$$

$$I_{ijkln}^C = 1 - \frac{Cost_{ijkln}}{\sum_{i=1}^2 Cost_{ijkln}} \quad (2)$$



Donde (1) es el *índice de tiempo* y (2) es el *índice de coste*. Los sub-índices representan respectivamente:

- i) las alternativas de transporte (*i*: carretera o SSS);
- ii) el extremo de ruta en Francia (*j*: Rennes, Paris o Lille);
- iii) el puerto francés considerado (*k*: Saint Nazaire, Le Havre o Calais); y
- iv) el puerto español y fin de ruta en España (*l*: Vigo, Ferrol, A Coruña y Gijón).
- v) Para el cálculo del índice de coste se considera además el año en que tiene lugar el recorrido (*n*): 2006, 2007, 2008 o 2009.

Ambos índices están normalizados según las dos alternativas de transporte contempladas (*i*) para llegar a un extremo de ruta (*j*) partiendo del otro (*l*), de manera que respectivamente cumplen (3) y (4). Así, cuanto más próximo esté a la unidad el valor del índice correspondiente, menor será el tiempo/coste necesario para cubrir el trayecto con la opción considerada respecto a su alternativa.

$$\sum_{i=1}^2 I_{ijkl}^T = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^2 I_{ijkln}^C = 1 \quad (4)$$

Como ya se ha comentado, las ciudades de Rennes, Paris y Lille son las referencias consideradas para calcular los índices correspondientes a cada criterio para cada alternativa de transporte. Calculados los índices, agregamos sus respectivas valoraciones para cada autopista del mar alternativa. Esta agregación la realizamos utilizando *Índices de pertinencia (Relevance indexes, RI)* definidos según (5) y (6). En nuestro caso se interpretan como la probabilidad (*the relevance*) de que el cargador elija a una determinada opción de transporte (modo y ruta) teniendo en cuenta las condiciones de acceso (en términos de tiempo o de coste) a las tres ciudades que suponen el extremo francés del trayecto.

$$RI_{ikl}^T = \sum_{j=1}^3 (I_{ijkl}^T \times \alpha_j) \quad (5)$$

$$RI_{ikln}^C = \sum_{j=1}^3 (I_{ijkln}^C \times \alpha_j) \quad (6)$$

Donde  $I_{ijkl}^T$  y  $I_{ijkl}^C$  son respectivamente los índices de tiempo y coste de cada alternativa modal ( $i$ ) asociados al puerto francés ( $k$ ) que haga las veces de pivote para conectar el extremo francés ( $j$ ) con el español ( $l$ ); y donde  $\alpha_j$  es el factor de ponderación de cada ruta, determinado en función de la población de cada uno de los núcleos que suponen el extremo de la cadena en Francia, según (7).

$$\alpha_j = \frac{Population_j}{\sum_{j=1}^3 Population_j} \quad (7)$$

Para calcular el tiempo invertido en recorrer el tramo marítimo se ha considerado una velocidad de navegación de 35 Kn y un tiempo de carga/descarga portuaria del buque de 34 unidades/hora; mientras que para el acarreo terrestre se ha tenido en cuenta la legislación europea (Reglamento 561/2006), y una velocidad media de los camiones de 90 Km/h. Asimismo, para calcular los índices de coste correspondientes a los tramos marítimos se han replicado las estimaciones utilizadas en el Proyecto INECEU; mientras que para los tramos terrestres se han tenido en cuenta los datos anuales facilitados por el Observatorio del coste del transporte de mercancías por carretera (Dirección General de Transporte por Carreteras de la Secretaría de Estado de Transporte del Ministerio de Fomento de España). Se han supuesto las mismas tarifas portuarias en todas las instalaciones.

El resultado de todos los cálculos realizados se muestra en las tablas 3 y 4. La tabla 3 recoge los índices de pertinencia respecto al tiempo para todos los trayectos analizados en este trabajo. La tabla 4 recoge los correspondientes al coste para cada uno de los extremos de ruta españoles.

**Tabla 3. Índices de pertinencia respecto al tiempo**

	Vigo		Ferrol		A Coruña		Gijón	
	Truck	SSS	Truck	SSS	Truck	SSS	Truck	SSS
Puerto francés	$RI_{1k1}^T$	$RI_{2k1}^T$	$RI_{1k2}^T$	$RI_{2k2}^T$	$RI_{1k3}^T$	$RI_{2k3}^T$	$RI_{1k4}^T$	$RI_{2k4}^T$
Saint Nazaire	0.45	0.55	---	---	---	---	---	---
Le Havre	0.47	0.53	0.45	0.55	0.45	0.55	0.49	0.51
Calais	0.50	0.50	0.48	0.52	0.48	0.52	0.52	0.48

Atendiendo al criterio del tiempo empleado, podemos ver que las autopistas del mar Vigo-St. Naizaire, Ferrol-Le Havre y A Coruña-Le Havre articulan las cadenas intermodales más competitivas respecto al transporte terrestre.

Asimismo, las cadenas intermodales cuyas autopistas del mar pivotan en el puerto francés de Calais ofrecen los peores resultados. En este sentido, cabe destacar el caso de las rutas marítimas de Vigo-Calais (para la que la alternativa intermodal es equivalente a la unimodal) y de Gijón-Calais (para la que la opción unimodal es preferible).

**Tabla 4. Índices de pertinencia respecto al coste**

	2006		2007		2008		2009	
	Truck	SSS	Truck	SSS	Truck	SSS	Truck	SSS
<b>Vigo</b>	$RI_{1k11}^C$	$RI_{2k11}^C$	$RI_{1k12}^C$	$RI_{2k12}^C$	$RI_{1k13}^C$	$RI_{2k13}^C$	$RI_{1k14}^C$	$RI_{2k14}^C$
Saint Nazaire	0.43	0.57	0.43	0.57	0.42	0.58	0.43	0.57
Le Havre	0.43	0.57	0.43	0.57	0.42	0.58	0.43	0.57
Calais	0.46	0.54	0.45	0.55	0.45	0.55	0.46	0.54
<b>Ferrol</b>	$RI_{1k21}^C$	$RI_{2k21}^C$	$RI_{1k22}^C$	$RI_{2k22}^C$	$RI_{1k23}^C$	$RI_{2k23}^C$	$RI_{1k24}^C$	$RI_{2k24}^C$
Le Havre	0.42	0.58	0.41	0.59	0.40	0.60	0.41	0.59
Calais	0.45	0.55	0.44	0.56	0.43	0.57	0.44	0.56
<b>A Coruña</b>	$RI_{1k31}^C$	$RI_{2k31}^C$	$RI_{1k32}^C$	$RI_{2k32}^C$	$RI_{1k33}^C$	$RI_{2k33}^C$	$RI_{1k34}^C$	$RI_{2k34}^C$
Le Havre	0.42	0.58	0.42	0.58	0.41	0.59	0.42	0.58
Calais	0.45	0.55	0.45	0.55	0.44	0.56	0.45	0.55
<b>Gijón</b>	$RI_{1k41}^C$	$RI_{2k41}^C$	$RI_{1k42}^C$	$RI_{2k42}^C$	$RI_{1k43}^C$	$RI_{2k43}^C$	$RI_{1k44}^C$	$RI_{2k44}^C$
Le Havre	0.47	0.53	0.46	0.54	0.46	0.54	0.47	0.53
Calais	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.51	0.50	0.50

Respecto al criterio de coste, podemos ver que todas las cadenas intermodales son preferibles al transporte unimodal salvo cuando se utiliza la ruta marítima Gijón-Calais, en cuyo caso se produce un empate entre las alternativas modales. Asimismo, la opción de Calais resulta ser la menos ventajosa también para el resto de puertos españoles. Por otro lado, cabe destacar la ventaja que ofrece la alternativa intermodal respecto a la carretera cuando ésta se articula sobre la autopista del mar Ferrol-Le Havre.

Para facilitar la comparación entre las diferentes autopistas del mar, definimos los *Índices diferenciales de pertinencia (Differential indexes of relevance, DIR)* respecto al tiempo y coste según (8) y (9).

$$DIR_k^T = RI_{2k}^T - RI_{1k}^T \quad (8)$$

$$DIR_{kn}^C = (RI_{2kn}^C - RI_{1kn}^C) \times \beta_n \quad (9)$$

Donde  $RI_k^T$  e  $RI_{kn}^C$  son respectivamente los Índices de pertinencia respecto al tiempo y coste, y  $\beta_n$  es el factor de ponderación respecto al volumen de tráfico anual habido con Francia desde el correspondiente puerto español, según (10):

$$\beta_n = \frac{Traffic_n}{\sum_{n=1}^4 Traffic_n}, \forall n = 2006 \text{ a } 2009 \quad (10)$$

Los Índices diferenciales de pertinencia reflejan el nivel de interés que tiene para el cargador cada autopista del mar frente a la alternativa de la carretera. Será mayor cuanto mayor sea el valor del índice. A partir de ellos podemos definir los *índices portuarios (Port indexes, PI)*. Para el criterio tiempo, equivalen a los respectivos diferenciales de pertinencia; pero para el criterio de coste es necesario agregar los índices diferenciales de cada año, según se muestra en (11).

$$PI_k^C = \sum_{n=1}^4 (DIR_k^C) \quad (11)$$

La tabla 5 recoge los Índices portuarios según ambos criterios para todas las rutas marítimas analizadas.

**Tabla 5. Índices portuarios respecto al tiempo y al coste**

	Vigo		Ferrol		A Coruña		Gijón	
	$PI_k^T$	$PI_k^C$	$PI_k^T$	$PI_k^C$	$PI_k^T$	$PI_k^C$	$PI_k^T$	$PI_k^C$
Saint Nazaire	0.10	0.14	---	---	---	---	---	---
Le Havre	0.06	0.15	0.10	0.18	0.09	0.17	0.02	0.07
Calais	0.01	0.09	0.05	0.12	0.04	0.11	-0.03	0.00

Según estos datos, cadenas intermodales más competitivas respecto al criterio tiempo son las que se articulan sobre las autopistas de Vigo-Saint Nazaire y Ferrol-Le Havre; mientras que las rutas marítimas que incluyen al puerto de Calais resultan ser la peor opción para tres de los cuatro puertos españoles considerados. Respecto al criterio de coste, la competitividad del transporte intermodal resulta más interesante aún que respecto al criterio tiempo (mayores valores de los índices). La alternativa Ferrol-Le Havre vuelve a destacar sobre el resto por su competitividad respecto a la carretera. A un nivel similar está la opción A Coruña-Le Havre, seguida por Vigo-Le Havre y Vigo-Saint Nazaire.

#### 4. Evaluación del riesgo en la selección de alternativas

Para evaluar el acierto de la elección de una autopista del mar concreta, se ha llevado a cabo un análisis de riesgo de los valores de los índices portuarios, así como de su sensibilidad a variaciones en las variables consideradas para su cálculo. Para ello se propone utilizar la simulación de Monte Carlo, que permite alterar simultáneamente el valor de las variables seleccionadas para calcular los índices portuarios. A partir de estas simulaciones se obtienen distribuciones de probabilidad. Si estas distribuciones resultan ser buenos estimadores del valor del índice portuario correspondiente, consideraremos que el valor de dicho índice portuario es sólido y, por tanto, que las decisiones tomadas a partir de él entrañan poco riesgo.

Las simulaciones se han llevado a cabo para cada una de las 9 posibles rutas. En este caso, por tratarse del estudio de escenarios pasados (ya conocidos), se emplearon distribuciones de probabilidad triangulares, con un rango de variación de un 20% entre los valores más y menos probables. La cantidad de pruebas realizadas en cada simulación ha sido de 1.600.000, con una certeza del 100% para todos los resultados obtenidos. Así se han obtenido la media y la mediana de la distribución de probabilidad simulada para cada ruta, además de las de la distribución teórica que más se ajusta a cada una de las simuladas.

Las medias de las distribuciones de probabilidad simuladas se compararon con los valores base, que son los valores de los índices portuarios utilizados para comparar el interés de las rutas analizadas. Consideramos que la distancia entre ambos valores es el riesgo asociado al índice. Así, cuanto más centrado esté el índice (cuanto menor sea esa distancia), menor será su sesgo y, por tanto, menor será el riesgo asumido en la elección. Dado que la distancia es una valoración absoluta del riesgo, consideramos también el coeficiente de variabilidad (desviación estándar respecto a la media) para poder comparar la eficiencia de los diferentes índices. La consistencia del índice portuario se valoró atendiendo a cuánto se aleja su valor del de máxima probabilidad de la distribución simulada correspondiente.

### Valoración del riesgo en los Índices portuarios respecto al tiempo

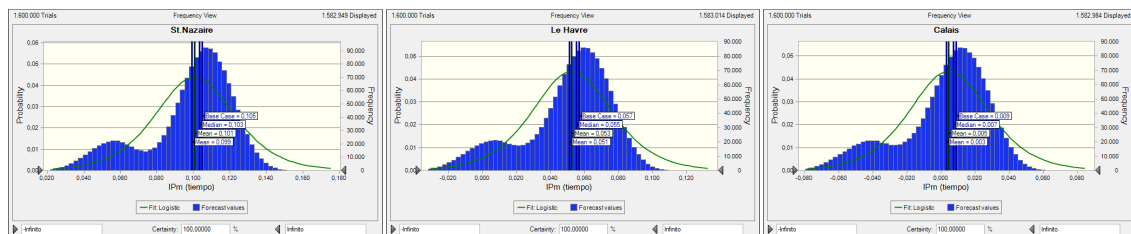
Los componentes del índice portuario respecto al tiempo cuya variación puede influir sobre su valor, y por tanto sobre la elección del puerto, son las velocidades asumidas y los pesos poblacionales. Por tanto, fueron éstos los inputs considerados variables en las simulaciones. La tabla 6 recoge los valores derivados de las simulaciones realizadas atendiendo al método de Monte Carlo. Las figuras 2 a 5 muestran la distribución de probabilidad de las simulaciones realizadas para cada puerto al variar los factores comentados.

**Tabla 6. Resultados de la simulación de Monte Carlo (respecto al tiempo)**

	Vigo			Ferrol		A Coruña		Gijón	
	SN	LH	C	LH	C	LH	C	LH	C
Port indice ( $PI_k^T$ )	0.10	0.06	0.01	0.1	0.05	0.09	0.04	0.02	-0.03
Mean	0.099	0.051	0.003	0.09	0.03	0.07	0.02	0.02	-0.03
Mediana	0.103	0.055	0.007	0.09	0.04	0.07	0.02	0.02	-0.03
Standar deviation	0.028	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
Coeff. Of variability	0.28	0.58	9.55	0.34	0.86	0.42	1.5	0.78	-0.44

Donde SN is Saint Nazaire; LH, Le Havre; and C, Calais.

**Figura 2. Distribuciones de probabilidad de las simulaciones de Índices portuarios (respecto al tiempo) para el puerto de Vigo**



**Figura 3. Distribuciones de probabilidad de las simulaciones de Índices portuarios (respecto al tiempo) para el Puerto de Ferrol**

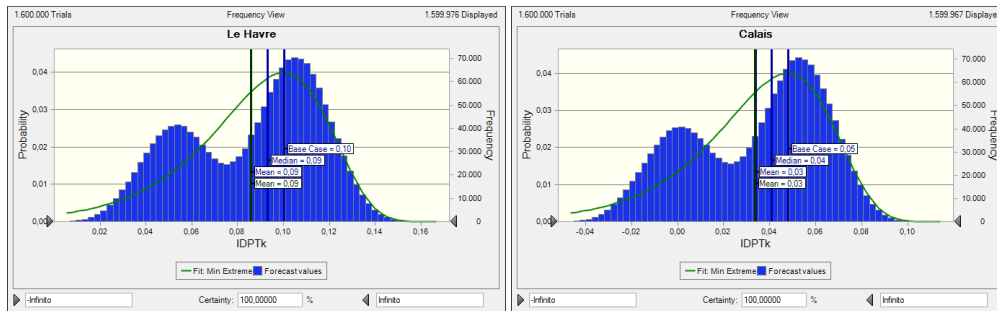


Figura 4. Distribuciones de probabilidad de las simulaciones de Índices portuarios (respecto al tiempo) para el Puerto de A Coruña

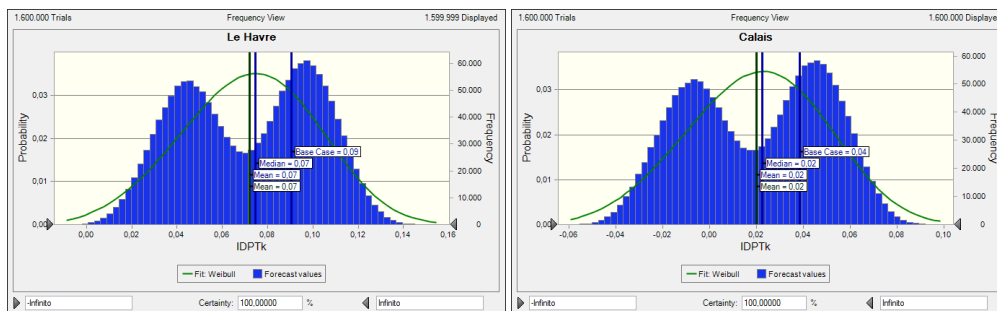
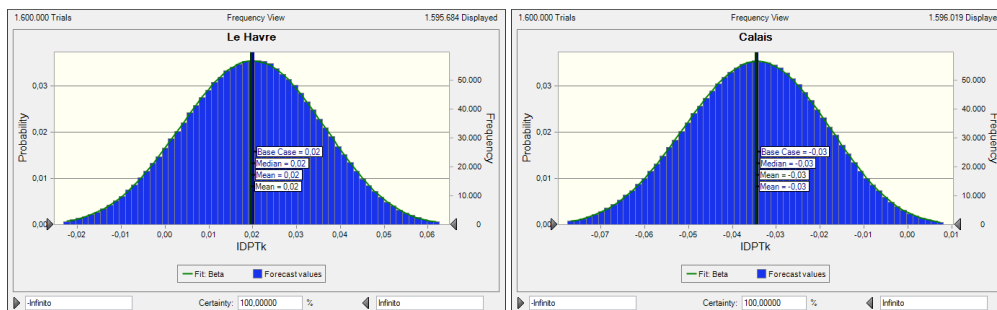


Figura 5. Distribuciones de probabilidad de las simulaciones de Índices portuarios (respecto al tiempo) para el Puerto de Gijón



La diferencia entre los valores base (valor del índice) y las medias parece indicar que el error asumido con la elección del puerto es reducido, si bien la dispersión de los datos obtenidos es muy alta, con elevadas desviaciones estándar. No obstante, la consistencia del índice en todos los casos y la distancia en valores absolutos de los índices entre puertos mantiene el orden de preferencia de las rutas a priori seleccionadas como óptimas. Considerando todos estos aspectos, las alternativas de Ferrol-Le Havre y Vigo-St. Nazaire (ambas entre las que mejores resultados ofrecían para competir con el transporte unimodal) son las elegidas desde el punto de vista temporal (sus correspondientes índices portuarios están centrados, son eficientes y consistentes).

### Valoración del riesgo en Índices portuarios respecto al coste

Para el análisis de riesgo de este índice se ha tenido en cuenta la variación del peso poblacional de los extremos de ruta franceses, el peso anual del tráfico habido entre España y Francia vía marítima, el coste del transporte terrestre por km y el flete por unidad transportada (considerando independientemente el coste del combustible y el coste de capital). La tabla 7 recoge los valores derivados de las simulaciones realizadas, y las figuras 6 a 9 muestran las correspondientes distribuciones de probabilidad.

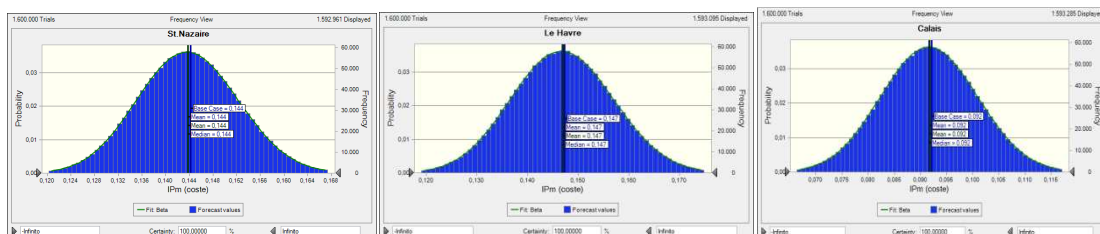
**Tabla 7. Resultados a partir de la simulación de Monte Carlo (respecto al coste)**

	Vigo			Ferrol		A Coruña		Gijón	
	SN	LH	C	LH	C	LH	C	LH	C
Port indice ( $PI_k^T$ )	0.14	0.15	0.09	0.18	0.12	0.17	0.11	0.07	0.00
Mean	0.14	0.15	0.09	0.18	0.12	0.17	0.11	0.07	0.00
Mediana	0.14	0.15	0.09	0.18	0.12	0.17	0.11	0.07	0.00
Standar deviation	0.008	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Coeff. Of variability	0.06	0.07	0.1	0.06	0.08	0.06	0.08	0.17	2.97

Donde SN es Saitn Nazaire; LH, Le Havre; y C, Calais.

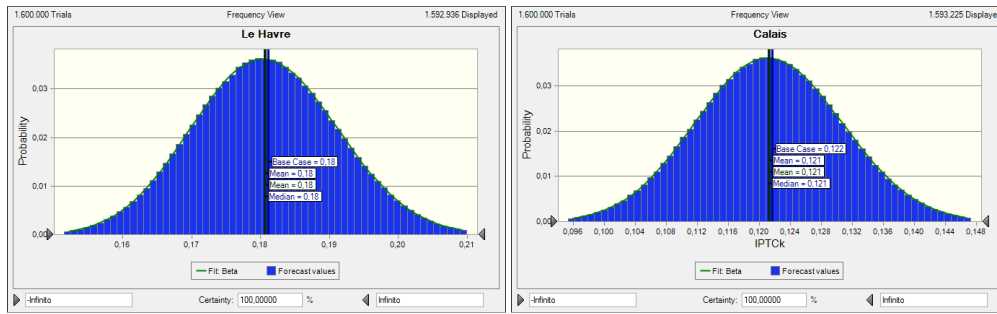
Los resultados obtenidos muestran coincidencia total entre los respectivos valores de los índices y las medias de las distribuciones simuladas. Además, los índices son eficientes y consistentes, por lo que podemos concluir que no existe riesgo en la elección de las alternativas anteriormente seleccionadas: Vigo-St. Nazaire y Ferrol-Le Havre.

**Figura 6. Distribuciones de probabilidad de las simulaciones para Índices portuarios (respecto al coste) y el puerto de Vigo**

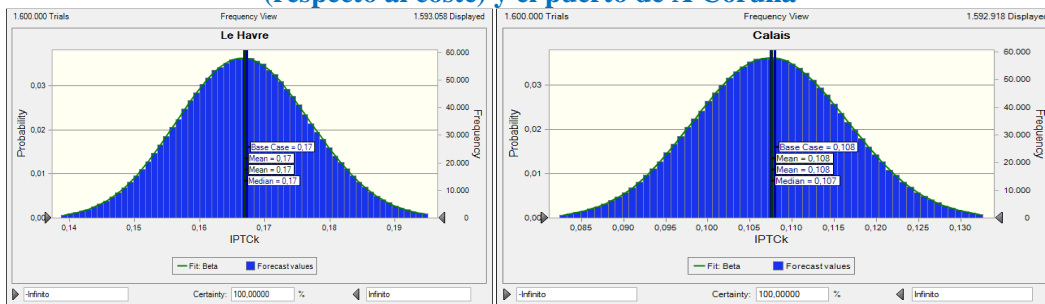


**Figura 7. Distribuciones de probabilidad de las simulaciones para Índices portuarios (respecto al coste) y el puerto de Ferrol**

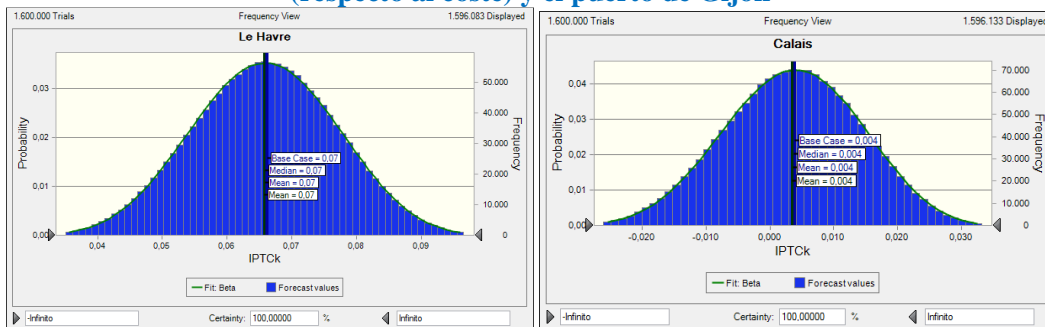




**Figura 8. Distribuciones de probabilidad de las simulaciones para Índices portuarios (respecto al coste) y el puerto de A Coruña**



**Figura 9. Distribuciones de probabilidad de las simulaciones para Índices portuarios (respecto al coste) y el puerto de Gijón**



## 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos avalan la utilidad de los índices presentados. Con ellos es posible hacer una primera valoración del potencial de diferentes combinaciones de puertos para articular una autopista del mar competitiva respecto al transporte unimodal. Tras aplicarlos al caso de estudio presentado en este trabajo, podemos ver que la alternativa intermodal es preferible a la unimodal para la práctica totalidad de los casos analizados (salvo Gijón-Calais). La ventaja del servicio intermodal respecto al unimodal se observa tanto cuando se atiende al criterio temporal como al de coste de servicio, si bien dicha ventaja es superior cuando se atiende a este segundo aspecto. Consideradas

conjuntamente ambas perspectivas, los puertos que a priori tendrían mayor potencial de éxito son A Coruña-Le Havre, Ferrol-Le Havre y Vigo-Saint Nazaire.

Dado que los índices dependen de los valores dados a las variables consideradas para elaborarlos, es conveniente analizar el riesgo que se asume al elegir/rechazar una alternativa determinada. La vía elegida para ello es la simulación de Monte Carlo. Los resultados derivados de la misma permiten deducir que los índices correspondientes a dos de las rutas preseleccionadas, Ferrol-Le Havre y Vigo-Saint Nazaire, son buenos estimadores de la media de las distribuciones simuladas. A partir de ahí, podemos deducir que el riesgo asumido al aceptar la ventaja que confieren a la alternativa intermodal respecto a la unimodal es pequeño. Sin embargo, la opción A Coruña-Le Havre se descarta por el riesgo asociado a su índice portuario desde la perspectiva temporal.

El trabajo realizado deja las puertas abiertas para profundizar en el análisis de los factores que determinan la competitividad del transporte intermodal frente al unimodal. Por ejemplo, considerando aspectos tan relevantes como la fiabilidad de los tiempos de entrega o las diferencias de los costes portuarios. Cuestiones como éstas pueden explicar por qué la alternativa Gijón-Saint Nazaire, descartada desde un primer momento debido a que la distancia que los separa está fuera del rango considerado deseable, ha entrado en funcionamiento con éxito. También es interesante analizar la sensibilidad de los índices portuarios a variaciones en cuestiones tales como la velocidad del camión, del buque, de la carga/descarga o el coste por km. recorrido.

## **6. Referencias**

Baird, A. and Aperte, G. (2010), Motorways of the sea Policy in Europe, Proceedings of the IAME 2011.

Brooks and Trifts (2008), Short sea shipping in North America: understanding the requirements of Atlantic canadian shippers, Maritime Policy and Management 35(2): 145-158.

- García-Alonso and Sánchez-Soriano (2009), Port selection from a hinterland perspective, *Maritime Economics and Logistics* 11: 260-269.
- García-Alonso and Sánchez-Soriano (2010), Analysis of the Evolution of the Inland Traffic Distribution and Provincial Hinterland Share of the Spanish Port System, *Transport Reviews* 30(3): 275-297.
- García-Menéndez, L., Martínez-Zarzoso, I. and Pinero de Miguel, D. (2004), Determinants of mode choice between road and shipping for freight transport: evidence for four Spanish exporting sectors, *Journal of Transport Economics and Policy* 38(3): 447-466.
- González Laxe, F. and Novo Corti, I. (2007), Las autopistas del mar en el contexto europeo, *Boletín Económico ICE* 2902: 33-47.
- Limao, N. and Venables, A. (2001), Infrastructure, geographical disadvantage, transport costs and trade, *The World Bank Economic Review* 15(3): 451-479.
- Henesey, L. and Mbiydzanyuy, G. (2010), A decision support method for analyzing a short sea shipping link from a port infrastructure perspective, *Proceedings of the IAME 2010*.
- Medda, F., Pels, E. and Trujillo, L., Incentive mechanism for the development of SSS, *Proceedings of the IAME 2010*.
- Paixao Casaca, A., Carvalho, S. and Oliveira, M. (2010), Port choice in the European short sea shipping market: the view of point of port authorities, *Proceedings of the IAME 2010*.
- Triunfante Martins, P., Moura, A., Andrade-Campos, A. and Lobo, V. (2010), Genetic algorithms approach for containers fleet management dependent on cargo and their deadlines, *Proceedings of the IAME 2010*.
- Vanherle, K. and Delhaye, E. (2010) Road versus short sea shipping: comparing emissions and external costs, *Proceedings of the IAME 2010*.