

Capítulo 6

Formulación de un modelo de competencia interportuaria

Sir Walter Raleigh¹ apuntó hace cuatro siglos que “*aquel que domine el mar, dominará el comercio; aquel que domine el comercio del mundo dominará las riquezas del mundo, y consecuentemente el mundo mismo*”.

Dominar el mar, liderar el transporte marítimo, controlar los flujos de mercancía . . . son objetivos vinculados todavía hoy a la idea de *prosperidad*. De ahí el esfuerzo realizado desde los puertos y desde las regiones en que se ubican éstos para atraer tráfico hacia sus instalaciones; unos esfuerzos que no siempre resultan efectivos, y en cuyo caso pueden suponer un importante derroche de recursos.

Evitarlo requiere descubrir los fundamentos de la *competencia interportuaria*, y conseguirlo es la meta de una ambiciosa línea de investigación que arranca con la formulación del modelo presentado en este capítulo, y que se espera pueda contribuir a despejar las claves del éxito de cada puerto en la atracción de tráfico hacia sus instalaciones.

¹Sir Walter Raleigh (1554-1618), “*A discourse of the Invention of Ships*” en “*The Works of Sir Walter Raleigh*”, 1829.

6.1. Interpretación del concepto de *competencia interportuaria*

El desarrollo del transporte intermodal, impulsado por el incremento del tráfico de contenedores producido a lo largo de los últimos años, parece estar alentando la necesidad de abordar continuas mejoras en la infraestructura de cada instalación portuaria al objeto de atraer hacia sus muelles el mayor volumen posible de mercancía. Sin embargo, y como ya se ha puesto de manifiesto anteriormente, no abunda la literatura que pueda sustentar el debate abierto acerca de la competencia interportuaria. La razón muy probablemente radique en su complejidad; una complejidad que es doble en tanto que a la falta de datos con los que analizar el problema de la competencia interportuaria hay que unir el de la propia interpretación de la misma. Como ya indicó Verhoeff [151], la competencia interportuaria es posible a través de diferentes niveles jerárquicos (entre los muelles de un mismo puerto, entre variedades de puertos, entre puertos pertenecientes a una misma área geográfica o entre las compañías portuarias que operan en una misma instalación), y en cada uno de ellos responde a motivaciones y condicionantes distintos, si bien, como también él señaló, su aislamiento no es fácil cuando se trata de analizarlos en la realidad.

Quizás debido a estas dificultades, el único aspecto del tema de la competencia interportuaria en el que parece haber consenso es en el de la progresiva reducción de la cautividad de muchos tráficos respecto de los puertos que tradicionalmente los atendieron, de tal manera que comúnmente se acepta que las instalaciones portuarias están perdiendo capacidad de influencia sobre el que hasta ahora había sido su tráfico habitual. Es sin embargo la reacción ante este hecho lo que da pie al debate. Si bien se sabe que las Autoridades Portuarias no pueden influir directamente en la distribución del tráfico entre los distintos puertos, tienden a intentar atraerlo hacia sus instalaciones realizando bonificaciones en sus tarifas², renegociando las concesiones hechas a los usuarios de sus mue-

²En España, la legislación vigente durante el periodo analizado en este trabajo limitaba

lles o mejorando y ampliando la superficie de éstos, lo que puede dar origen al sobredimensionamiento de la capacidad instalada en el conjunto del sistema portuario nacional y al consiguiente derroche de unos recursos que, en muchos casos, son públicos. Por ello, desde el ámbito académico han surgido voces que, como la de Slack [135], sugieren que la competencia interportuaria no ha de abordarse tratando de mejorar permanentemente los equipos y las instalaciones de los puertos, sino desarrollando estrategias que permitan adaptarlos al contexto del tráfico intermodal.

Probablemente sea este planteamiento el que ha propiciado que los estudios realizados acerca del reparto interportuario de los flujos comerciales se realicen atendiendo a la óptica de los operadores logísticos ya que, en la medida en que responden de la oferta de los servicios de transporte *puerta a puerta*, influyen en la selección del puerto que los ha de canalizar. Pero precisamente por ello, la repercusión de las preferencias de estos agentes en la elección del puerto depende del tipo de tráfico ante el que se esté. Evidentemente, el componente intermodal del tráfico de contenedores permite que los armadores-consignatarios no basen el importe de sus tarifas en la longitud de los trayectos terrestres recorridos por la mercancía, y de ahí que su margen para elegir la instalación portuaria que ha de servir de puente entre el transporte interior y el marítimo sea mayor que el disfrutado por los cargadores individuales que gestionan el movimiento de, por ejemplo, graneles.

La responsabilidad de la selección del puerto puede recaer entonces sobre agentes de muy diverso tipo, y cada uno de ellos entenderá la competencia interportuaria según le afecten los condicionantes del segmento del mercado de transporte desde el que la analice. Esta es la razón que justifica por qué en este trabajo no se ha seguido el esquema habitual, evitando enfocar el análisis desde la óptica de cualquiera de los usuarios de los puertos. De este modo se abordó el estudio con la mayor objetividad, ya que se analizó conjuntamente la distribución de todo el tráfico portuario

a las Autoridades Portuarias su margen de actuación en este sentido.

realmente habida en España a lo largo de un periodo de tiempo muy amplio, obviando conscientemente la cuestión de quién o quiénes fueron los responsables de la misma.

Como ya se ha señalado en un capítulo anterior, el trabajo realizado para determinar el reparto interportuario del tráfico marítimo generado en nuestro país, aunque ingente, se llevó a cabo porque permite hacer algo que hasta ahora no había sido posible: analizar la competencia desatada entre las instalaciones de un mismo sistema portuario basándose en su verdadero resultado, y no en las preferencias declaradas a través de encuestas por tan sólo una parte de los agentes involucrados en la distribución del tráfico marítimo.

El primer paso, ya dado, permite comprobar la existencia del fenómeno; esto es, la de la competencia interportuaria: el tráfico no se reparte por igual entre todas las instalaciones ni se distribuye idénticamente año tras año, si bien se percibe mucha estabilidad en su asignación. La constatación de dicha estabilidad es la que invita a dar un paso más, orientado esta vez a iniciar un camino que permita descubrir las claves que justifican el porqué del resultado de dicha competencia.

6.2. Principales condicionantes de la competencia interportuaria

Como se ha podido comprobar observando los mapas que reflejan la distribución interportuaria del tráfico generado en cada provincia, éste tiende a demandar los servicios ofrecidos en las instalaciones más próximas al territorio que lo origina, lo que indica que los puertos españoles aún disfrutan de un importante poder de mercado sobre su entorno geográfico. Este hecho está en consonancia con el planteamiento hecho por Jansson y Shneerson [74], según el cual si las tarifas cobradas por los servicios por-

tuarios son iguales³ y los tiempos de espera en cada instalación se suponen equilibrados, la minimización del coste del transporte habría de conducir a un reparto del tráfico portuario acorde con la distancia que separa a cada una de ellas del punto en que se genera dicho tráfico; en caso contrario, habría que considerar la incidencia en su reparto de aspectos tales como las características de la mercancía transportada, el tipo de flujo abordado o la existencia de posibles problemas de congestión en alguna de las instalaciones analizadas.

Según autores como Nombela Merchán y Trujillo Castellano [105], las mejoras introducidas en el sector del transporte permiten superar este enfoque. Sugieren que el descenso experimentado en el coste de transporte terrestre hace que actualmente las áreas de influencia de las instalaciones portuarias apenas alcancen unos pocos kilómetros de radio. Sin embargo, la evidencia empírica parece avalar la vigencia de la hipótesis barajada por Martínez Budría [92] al respecto. Según él, existe una importante relación entre el poder de mercado de cada puerto y la distancia que lo separa del lugar de origen o destino de la mercancía transportada a través de él.

Ambos planteamientos coinciden no obstante al destacar que la repercusión del transporte interior en el coste total del transporte de los bienes influye directamente en la elección del puerto que ha de servir de enlace entre el medio terrestre y el marítimo. De ahí que Martínez Budría haga hincapié en la idea de que el poder de mercado de cada puerto tienda a anularse a medida que el transporte interior pierda peso como componente del coste total de transporte y, consecuentemente, la curva de demanda de sus servicios vaya haciéndose progresivamente más elástica. La diferencia entre uno y otro radica únicamente en su valoración acerca del peso actual de dicho transporte: mientras unos consideran que su incidencia sobre la elección del puerto ya es mínima, el otro defiende que la distancia

³Aunque realmente no lo son, ni las diferencias son tantas ni, como ya se ha comentado, parece ser un componente del coste del transporte que influya significativamente en la elección del puerto.

entre la instalación portuaria y el lugar de origen o destino de la mercancía desempeña todavía un papel muy destacado en el juego de la competencia interportuaria⁴.

Si la demanda para el conjunto de puertos es realmente independiente de las tarifas cobradas en las instalaciones portuarias, solventar esta controversia es importante para identificar aquellos factores que más fuertemente condicionan la elección del puerto y que, por tanto, influyen en la deducción de la curva de demanda de sus servicios así como en la configuración de su área de influencia. Si en palabras de Larroque Allande [83] un puerto es “*una plataforma de concentración de tráfico que mantiene unas relaciones privilegiadas con su zona de influencia terrestre*”, no debe ignorarse que dichas relaciones están influidas por el espacio en el que se producen [100] y que conllevan una serie de interacciones que deben identificarse para poder integrar los distintos intereses sectoriales y territoriales porque, en definitiva, espacial y temporalmente tanto la oferta como la demanda de cualquier medio de transporte están muy estrechamente vinculadas al entorno económico en que se producen.

6.3. Antecedentes del modelo propuesto

Walter Isard [73] fue uno de los primeros autores en reconocer que la heterogeneidad existente en los modelos de localización⁵, tanto de empresas como de hogares, resultaba de la interacción entre la distancia y los costes de transporte por un lado y la aglomeración de la actividad económica por otro; una interacción cuyo efecto en el comportamiento de los agen-

⁴De alguna manera, esta última hipótesis ha sido refrendada recientemente en un trabajo publicado por Lago, Malchow y Kanafani [80]. En él se destaca la importancia de la ubicación del puerto, tanto respecto a la demanda de los servicios portuarios como a las rutas transoceánicas que atienden dicha demanda de transporte.

⁵Su principal objetivo es identificar la ubicación espacial óptima para los agentes económicos, basada tanto en criterios de coste como de bienestar. Para una revisión de la literatura puede consultarse el trabajo de Thisse [143].

tes económicos suscitó también un interés en el ámbito de la economía del transporte [118] que aún hoy persiste.

Actualmente continúan publicándose estudios que identifican a la distancia a recorrer por la mercancía como uno de los componentes más relevantes de su coste de transporte. En uno de los más recientes, en Sánchez *et al.* [136], se utilizó la información recabada a través de cuestionarios referidos a la actividad portuaria desarrollada en 1.999 en las principales terminales de contenedores de países latinoamericanos. Sus resultados indican que la elasticidad respecto a la distancia es menor a la hallada en otros estudios, si bien los propios autores reconocen que esto puede ser debido a que, como también indica Hummels [72], el efecto de la distancia en los costes de transporte se reduce cuanto mayor es la distancia a recorrer.

Todos estos trabajos, aunque muy interesantes, analizan el atractivo del puerto o puertos considerados atendiendo a su posición relativa respecto a las instalaciones portuarias de las que parte o hacia las que se dirige su tráfico, o con relación a los trayectos realizados por las principales rutas marítimas; pero tienden a ignorar el impacto de la ubicación de sus respectivos clientes en su elección, que es lo que aquí se propone estudiar. No obstante e independientemente del enfoque que se dé al análisis de la competencia interportuaria, la importancia del espacio, o lo que es lo mismo, de la distancia a recorrer por la mercancía, parece innegable.

Tomando como punto de partida el trabajo de Hotelling, Bobrovitch [8] ya pudo constatar hace veinte años la relevancia de la ubicación de los puertos al comparar la eficiencia de un sistema portuario centralizado con el de un sistema competitivo formado por instalaciones independientes. Comprobó entonces que, en tanto un puerto es un nodo ubicado en un lugar exclusivo de una cadena de transporte, su actividad está condicionada por el coste medio del transporte terrestre de la mercancía que canaliza, el cual aumenta cuando lo hace la distancia a recorrer por la misma.

Si se acepta que la distancia que separa a cada puerto del lugar de

origen (o destino) de su tráfico puede ser uno de los principales condicionantes de la intensidad del flujo establecido entre ambos espacios, la *Ley gravitacional de Newton*, adaptada al análisis económico a través de aportaciones como las realizadas por el ya mencionado Walter Isard, podría postularse como herramienta para analizar el problema de la competencia interportuaria. La versión básica de la Ecuación de gravedad sugiere que la intensidad de cualquier flujo establecido entre dos puntos del espacio depende directamente de la entidad de éstos e inversamente de la distancia que los separa, tal como se recoge en la expresión 6.1:

$$F_{ij} = k \frac{P_i^a P_j^b}{d_{ij}^c} \quad (6.1)$$

Donde F_{ij} es el nivel de flujos establecidos entre ambas regiones; k es una constante; P_i^a y P_j^b pueden ser la población, el PIB o cualquier otra variable que represente el peso respectivo de las regiones i y j ; d_{ij}^c es la distancia que las separa; y a , b y c son los parámetros a estimar, de tal manera que los dos primeros representan el efecto de la variable correspondiente sobre la intensidad de los intercambios producidos entre ambas zonas y el tercero muestra el efecto de la distancia existente entre ellas sobre dichos intercambios.

Desde mediados del siglo pasado, los modelos inspirados en la Ecuación de gravedad han servido como herramienta para estudiar todo tipo de flujos establecidos entre dos espacios. Y desde entonces, se han utilizado habitualmente para cuantificar el impacto que la distancia que separaba ambas zonas tenía sobre la intensidad de los mismos, siendo precisamente la diversidad de situaciones a las que ha sido aplicada la que ha provocado que la especificación formal de la ecuación haya sido muy variada [70].

Siguiendo la perspectiva propuesta por esta ecuación, Limao y Venables [86] por ejemplo, preocupados por el impacto de la infraestructura

sobre los costes de transporte⁶ y su consiguiente repercusión en los flujos comerciales de cada país, trataron de obtener una estimación de éstos respecto a los costes de transporte de los bienes. Para averiguar en qué medida los costes de transporte obstruyen el comercio, consideraron tres aspectos: las características del trayecto realizado por la mercancía, las de los países implicados en la relación comercial y el posible efecto de otras variables que, aunque relevantes, no pudieran ser observadas. Al igual que hicieron ellos, otros investigadores⁷ se sirvieron de la Ecuación de gravedad para medir el impacto de los costes de transporte sobre los flujos comerciales establecidos entre dos espacios económicos, utilizando la *distancia* para aproximar los primeros. Sin embargo, y aunque la *distancia* se presenta como un elemento aparentemente decisivo en la selección de los puertos, el uso de esta herramienta no se extendió al análisis de la competencia interportuaria porque si bien la estructura del problema parece similar, en realidad no lo es.

La competencia interportuaria se establece entre puertos, y surge para atraer unos flujos que se generan fuera del sistema portuario y que se han de distribuir entre todas las instalaciones que lo componen; unos flujos que constituyen el tráfico que recibe cada uno de los puertos que lo integran y cuyos gestores pretenden maximizar. Cuando se analiza este tema como aquí se plantea, lo que se pretende es averiguar si la distancia que separa a los puertos de los lugares en los que se genera su tráfico incide significativamente o no en el reparto interportuario de los flujos comerciales; al utilizar la Ecuación de gravedad, sin embargo, se parte del hecho ya confirmado de que el espacio que separa los centros económicos estudiados condiciona la intensidad de su mutua atracción, y lo que se busca es únicamente una medida del efecto que dicha distancia ejerce sobre los intercambios de mercancías establecidos entre ellos. Por otro lado, la cita-

⁶Según estos autores, el coste de transporte se puede encarecer hasta un 40% en los países costeros cuando las infraestructuras de que disponen no son las adecuadas. En el caso de países interiores, este incremento puede llegar incluso al 60%.

⁷Bergstrand [6] o Deardorff [29], por ejemplo.

da ecuación se define de manera simétrica, lo que implica que el espacio i atrae al j del mismo modo en que el área j lo hace sobre la zona i . Sin embargo, y como puede verse gráficamente a través de los mapas incluidos en el CD que acompaña a este trabajo, la doble interpretación posible del concepto de *hinterland* rompe esta simetría: la fuerza con la que el tráfico generado en una región concreta se sienta atraído hacia una determinada instalación portuaria y la relevancia de dicho tráfico para ese puerto dado son dos cosas totalmente diferentes.

Una alternativa a los modelos gravitacionales, desarrollada a partir del planteamiento sugerido por Isard, son los llamados modelos de elección discreta o modelos de variable cualitativa, basados en el concepto de *probabilidad de elección*. Su forma funcional genérica, tal como se recoge en Wilson [157], es la que se muestra en la expresión 6.2, donde se expresa la probabilidad de que un individuo (o una mercancía) i elija la opción j , siendo w^{ij} el conjunto de variables que describen las características de la alternativa j y del individuo i , y teniendo en cuenta que el conjunto de probabilidades ha de sumar uno.

$$p^{ij} = \frac{f(w^{ij})}{\sum_k f(w^{ik})} \quad (6.2)$$

Cuando se sigue este enfoque, se plantean dos interrogantes: la forma funcional f y la especificación del conjunto de variables w^{ij} . El propio Wilson, quien lo utilizó para analizar los flujos mantenidos entre dos regiones valorando los costes de transporte y unos factores representativos de las fuerzas de atracción-repulsión establecidas entre ellas, sugirió resolverlos empleando funciones exponenciales e interpretando al término w^{ij} como la percepción que un individuo con i -características hace de las j -particularidades del aspecto que ha de valorar.

Aplicados al análisis de la competencia interportuaria, se entien-

de que cada observación representa un trayecto concreto realizado en unas condiciones determinadas, que vendrán definidas por una serie de oportunidades y de restricciones. Cada una de esas posibles opciones $A_i = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ reporta al agente responsable de tomar la decisión (por ejemplo, la elección del puerto que ha de atender un determinado flujo comercial) un nivel de satisfacción que supuestamente, y siguiendo la teoría neoclásica del consumidor, servirá para poder establecer una ordenación de todas las alternativas en base a ella; en base a la *utilidad* que le reportan. Una vez establecido el orden de preferencias, el proceso de selección permite identificar la opción más satisfactoria para el agente implicado en el mismo teniendo en cuenta las restricciones que limitan sus posibilidades de actuación.

El tema de la competencia interportuaria se puede plantear pues como un problema de *elección múltiple* o *multinomial*, en el que cada tráfico ha de canalizarse a través de uno solo de los N puertos posibles. Cuando, como es el caso, las alternativas no están ordenadas, la solución al problema de la elección viene dada por modelos de *utilidad aleatoria*; esto es, cuando el agente i responsable de la selección portuaria ha de elegir entre las N posibles instalaciones, optará por aquella que le proporcione la máxima utilidad posible, de tal manera que elegirá al puerto j sólo si $U_{ij} > U_{ik}$, siendo $U_{ij} = \beta z_{ij} + \epsilon_{ij}$. Si las perturbaciones son independientes, y según se recoge en Green [62], la probabilidad de que la opción elegida sea la alternativa j -ésima vendrá expresada a través del denominado modelo Logit condicional, que es el modelo adecuado cuando los datos disponibles se centran más en los atributos de las diferentes alternativas que en las características de los individuos. La expresión funcional de este tipo de modelos se recoge en la expresión 6.3, en la que Y representa una variable aleatoria que indica la opción realmente escogida.

$$Prob(Y = j) = \frac{e^{\beta z_{ij}}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta z_{ij}}} \quad (6.3)$$

Independientemente de la información manejada, la utilidad que reporta cada opción siempre va a depender necesariamente de las características específicas de cada alternativa, x_j , y de las que aluden a las propias de cada uno de los individuos implicados en el proceso de selección, w_i . Si se incorpora este matiz en el modelo, se tendrá la expresión 6.4:

$$Prob(Y = j) = \frac{e^{\beta x_{ij} + \alpha w_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta x_{ij} + \alpha w_i}} \quad (6.4)$$

En definitiva, y como señalan Ben-Akiva y Lerman [4], hay cuatro aspectos que condicionan todo proceso de elección: las características del agente implicado en él, la cantidad de alternativas que ha de barajar, sus respectivas peculiaridades y las reglas que rijan durante el proceso de toma de decisiones. Toda elección es pues resultado de una combinación entre el conjunto de condicionantes bajo los que se produce y la bondad relativa de cada opción disponible [108] [122]. La construcción de modelos desagregados de elección discreta se ha de concebir entonces como una sucesión de tres etapas: identificación de los elementos (agentes electores y opciones elegibles), caracterización de los mismos y análisis del proceso de decisión.

Para poder superar las dos primeras es necesario disponer de la información adecuada acerca de aquellos parámetros que, relativos tanto al sujeto que elige como al objeto elegido, supuestamente condicionan el proceso de selección. Esta información procede de las *unidades de observación*, que en el caso que nos ocupa son todas y cada una de las operaciones comerciales descritas en un capítulo anterior. Una vez recabada, se infiere a partir de ella el resultado global de la elección: el reparto interportuario del tráfico marítimo. Y a partir de él, los parámetros considerados relevantes para elegir el puerto que canalizó cada flujo, combinando las perspectivas de análisis de la Ecuación de gravedad y de los Modelos de elección discreta, tal como se explica a continuación.

6.4. Planteamiento del modelo

A lo largo de los últimos años, apenas se han producido innovaciones en el ámbito de los modelos de interacción espacial. Esto lleva a que autores como Fischer [42] opinen que desde la publicación de los trabajos de Wilson, pioneros en este campo, quizás lo más relevante sean únicamente los intentos realizados por investigadores como Openshaw [107] o Turton [147], quienes respectivamente aplicaron algoritmos y programación genética para reinterpretar este tipo cuestiones desde ópticas totalmente distintas a las habituales. El inconveniente asociado a esta situación es que los trabajos empíricos que abordan el tema de la competencia interportuaria, en el que se combina el problema de la interacción espacial entre dos territorios con el de la elección entre numerosos puertos alternativos por parte de sus clientes potenciales, son además destacablemente escasos.

Lo que aquí se pretende es, no obstante, comprender la esencia de la competencia interportuaria. Por ello, y en tanto el resultado de ésta es el fruto de multitud de decisiones particulares, interesa más conocerlas e interpretarlas en su conjunto que entender su génesis o su proceso de elaboración individual. No se trata tanto de comprender el proceso que sigue cada agente en su toma de decisiones a este respecto, como de desvelar aquellos elementos que justifican el desenlace provocado por la suma de todas las decisiones individuales llevadas a cabo. Además, autores como Rodríguez Dapena [122] sugieren que es conveniente adoptar una perspectiva del problema de la elección más amplia que la ofrecida por los agentes implicados en él, porque cada uno de ellos dispone únicamente de información parcial, y probablemente sesgada por su propios condicionantes, de las opciones que se les presentan. De ahí que, si se utilizaran encuestas para valorar las claves de la competencia interportuaria, los resultados obtenidos no estarían exentos de cierta dosis de subjetividad⁸.

⁸No sólo la valoración de aspectos sin duda relevantes como la seguridad o la fiabilidad del servicio portuario son muy difícilmente cuantificables; sino que otros elementos sus-

Por esta razón, como ya indicó Louvière [87], los modelos de elección deben sustentarse en la información proporcionada por variables directamente observables por el analista al objeto de desposeer sus conclusiones de cualquier atisbo de subjetividad. Cumpliendo con esta premisa, para realizar el análisis propuesto se ha optado por analizar el resultado del conjunto de las decisiones efectivamente tomadas al efecto por el conjunto de los clientes de las instalaciones portuarias, deducida a partir de la información suministrada por la Dirección General de Aduanas, en lugar de realizar encuestas a un subconjunto de ellos para tratar de averiguar en qué basan la valoración que hacen de cada puerto. En segundo lugar, se ha tenido en cuenta que el resultado de la competencia interportuaria es fruto de las decisiones de los agentes que responden del transporte de la mercancía, cuyos flujos constituyen el tráfico de cada puerto, y por ello el análisis realizado sigue el enfoque propuesto en los modelos de elección discreta. Y en tercer lugar, en tanto la ubicación de cada puerto respecto al lugar que promueve su tráfico parece ser un elemento decisivo para su elección, se ha tratado de definir un modelo en el que la *distancia* que separa al puerto de la provincia que genera su tráfico ocupe un lugar tan destacado como lo hace en los modelos gravitacionales, pero en el que a diferencia de éstos se incorpore un factor que refleje el atractivo del puerto que recibe el flujo sin atender a las características del lugar del que dicho flujo parte, sino comparando dicho atractivo con el del resto de instalaciones.

El modelo propuesto para analizar la competencia desatada entre los puertos peninsulares españoles por el tráfico marítimo generado en nuestro país es el recogido en la expresión 6.5:

ceptibles de serlo, como el coste o el tiempo empleado en el transporte, van a tener una importancia relativa diferente para cada individuo. Además, el peso dado a cada uno de ellos habría de ser ponderado en función de la magnitud de tráfico que cada cliente reporte al puerto en cuestión en cada caso.

$$\pi_{ij} = \frac{e^{-(c_j + ad_{ij})}}{\sum_k e^{-(c_k + ad_{ik})}}, \forall j \in P = 1 \dots 17 \quad (6.5)$$

En ella, π_{ij} representa la capacidad del puerto j para atraer tráficos generados en la provincia i ; d_{ij} , la distancia que separa ambos puntos del espacio; y c_j , el atractivo del puerto j . Con la incorporación de este parámetro, se pretende aislar la importancia que los electores de los puertos conceden a la distancia que separa a la provincia que origina cada tráfico de las instalaciones que lo canalizan, a , de la otorgada a otros aspectos potencialmente valorados también por ellos. Además, tal como está definido π_{ij} , los electores no sólo tienen en cuenta la distancia que les separa de cada puerto concreto j , así como sus características específicas, sino que simultáneamente contrastan ambos aspectos con la distancia y las características del resto de instalaciones, reflejadas en el denominador de la expresión 6.5.

Se ha optado por destacar el factor *distancia* del resto por dos razones. La primera, porque buena parte de los trabajos cualitativos realizados hasta el momento coinciden en calificarlo como un elemento relevante en la elección de un puerto, como ya ha quedado de manifiesto en el repaso hecho de los mismos. La segunda, porque en tanto el análisis se plantea en el marco de los modelos de elección discreta, ésta es de las pocas variables de las que los agentes implicados en el proceso de selección portuaria pueden disponer de información perfecta acerca de todas las alternativas que se les presentan. Y por otro lado, se ha querido aprovechar así la oportunidad que brindan estos modelos de articular una formulación desagregada de los diferentes componentes explicativos integrados en ellos, distinguiendo entre el efecto que sobre el fenómeno analizado haya de tener la variable *distancia* del que indudablemente han de ejercer otras, quizás más difícilmente cuantificables o menos fácil y directamente observables⁹.

⁹En el caso concreto de la elección de una instalación portuaria, tan importantes como las características de los puertos son las peculiaridades de la mercancía y los condicionan-

Con el modelo de elección portuaria planteado se puede obtener el valor de los parámetros que interesan en esta primera aproximación al problema: el relativo a lo que podría denominarse *aversión a la distancia* que separa a cada puerto del lugar en el que se genera el tráfico y el que resume el impacto conjunto del resto de condicionantes propios de cada instalación, y que también repercuten en la distribución interportuaria de los flujos comerciales. En total, dieciocho parámetros: uno relativo a la actitud de los agentes decisores ante la magnitud del trayecto terrestre que haya de recorrer el tráfico portuario, a , y diecisiete referidos a las características específicas de cada puerto considerado, c_j .

Para ello, se propone resolver el problema planteado utilizando un enfoque probabilístico, de manera que se hallen los valores de los parámetros que maximicen la probabilidad de que los datos observados coincidan con los esperados, ofrecidos por el modelo propuesto. Esto es, se pretende encontrar el valor de los parámetros que maximicen la función de verosimilitud 6.6, expresada como una distribución de probabilidad multinomial:

$$P(Y_{i1} = y_{i1}, Y_{i2} = y_{i2}, \dots, Y_{ip} = y_{ip}) = \frac{n_i \bullet!}{y_{i1}! \dots y_{ip}!} \pi_{i1}^{y_{i1}} \dots \pi_{ip}^{y_{ip}} \quad (6.6)$$

El modelo propuesto apunta en la dirección señalada por tres trabajos empíricos publicados a lo largo del último año, los cuales probablemente constituyan los únicos precedentes del análisis aquí presentado. Aunque centrándose en aspectos diferentes de la misma, todos ellos coinciden al enfocar el estudio de la competencia interportuaria desde la perspectiva de los *modelos de elección discreta*, y en todos ellos se plantea un modelo logístico para identificar las variables que resultan determinantes en el proceso de selección de los puertos por parte de sus clientes.

tes particulares de sus clientes potenciales. De ahí la insistencia acerca de la bondad de centrarse en el resultado global de la elección, y no en cada uno de los procesos individuales que conducen a él.

Estos trabajos son los de Veldman y Bückmann [150], Tiwari, Itoh y Doi [144] y Malchow y Kanafani [88]. Los primeros, preocupados por la volatilidad que pudiera infundir el afianzamiento del transporte intermodal sobre el tráfico de cada instalación portuaria, trataron de averiguar cuáles son las variables que sustentan el atractivo de cada puerto. Para ello consideraron que la elección de la instalación portuaria concreta por la que se ha de canalizar cada tráfico está implícita en la selección de la ruta que ha de realizar la mercancía para llegar a su destino final. Según ellos, esto implica tomar todo un conjunto de decisiones previas (desde hacer efectiva la transacción hasta elegir el medio de transporte que ha de facilitarla), las cuales necesariamente condicionan la decisión final acerca del transportista concreto que ha de hacer efectivo el servicio. La combinación de todas las alternativas posibles en cada una de las decisiones tomadas ofrece un abanico de posibilidades de elección que repercuten en el tráfico recibido finalmente en cada puerto. Concebido de este modo el análisis, lo llevaron a cabo considerando que la cuota de mercado de cada alternativa podría derivarse de la probabilidad de que fuera la elegida, definiendo a cada una de ellas como una combinación de veinticinco de las líneas de contenedores que trabajan en la fachada oeste de Europa, cuatro posibles puertos de atraque y hasta tres potenciales rutas de transporte terrestre, siempre necesarias para acceder ellos. Y así plantearon el modelo logístico 6.7, según el cual la probabilidad de elegir la ruta m entre todas las posibles está vinculada a la utilidad que dicha opción reporte al elector, siendo dicha utilidad:

$$U_m = \alpha_{0_m} D_m + \alpha_1 C_m + \alpha_2 t_m + \alpha_3 F_m$$

Donde D_m es una variable dummy que indica si los transportistas prefieren la ruta m ; C_m cuantifica los costes asociados a dicha ruta; t_m mide su tiempo de tránsito y F_m recoge su frecuencia de servicio.

$$P_m(m = r | r = 1, \dots, M) = \frac{e^{U_m}}{\sum_{r=1}^M e^{U_r}} \quad (6.7)$$

Motivados por la escasa atención prestada al tema de la competencia interportuaria en general, y especialmente por el nulo interés suscitado por el mismo fuera del ámbito de los puertos europeos o norteamericanos, Tiwari *et al.* [144] realizaron un estudio acerca de los factores que condicionan la elección portuaria en China. Al igual que Veldman y Bückmann [150], utilizaron para ello el marco que ofrecen los modelos de elección discreta; y al igual que ellos también, se limitaron al análisis del tráfico de contenedores a partir de una encuesta realizada a un grupo de transportistas que operaron durante un año en una región muy concreta, y ante los cuales se presentaban distintas combinaciones de rutas (tres) y de puertos (cinco). La forma funcional propuesta por estos autores para analizar el problema de *elección* originado corresponde también a un modelo logístico, definido por ellos según se muestra en la expresión 6.8¹⁰, donde $N = (1, \dots, n)$ es el conjunto de combinaciones posibles de líneas marítimas y puertos a las que se enfrenta cada elector, y Z_i y β dos vectores en los que respectivamente se recogen los atributos y los parámetros correspondientes de cada opción i , de tal manera que $C_i = z_i\beta + \epsilon_i$.

$$P(i|N, z, \beta) = \frac{\exp(Z_i, \beta)}{\sum_{j=1, \dots, n} \exp(Z_j, \beta)} \quad (6.8)$$

Más recientemente aún, Malchow y Kanafani [88] trataron de explicar el reparto del tráfico marítimo entre los puertos de EE.UU. Basándose en las características de éstos, propusieron un enfoque alternativo a los dos anteriores, pero incluido también en el marco de los modelos de elección discreta. Con datos relativos a las exportaciones habidas en diciem-

¹⁰A diferencia de los anteriores, aquí se parte del supuesto de que el objetivo de los electores es minimizar el coste del transporte de la mercancía.

bre de 1.999 hacia ocho países previamente seleccionados, clasificaron el tráfico correspondiente a los ocho puertos estudiados en cuatro categorías atendiendo a la nomenclatura del Sistema armonizado. A partir de ahí, observaron la distribución interportuaria de una muestra de los flujos comerciales analizados para estimar la relevancia de los factores que describen cada una de las opciones seleccionadas en cada caso (suponiendo que son siempre las que maximizan la utilidad de quien toma la decisión), y propusieron el modelo 6.9, que en lugar de maximizar la probabilidad de que el transportista seleccione el puerto realmente elegido, maximiza la probabilidad de que el conjunto de sus decisiones conduzca a la distribución observada dentro del conjunto de las factibles. Esto es:

$$L = \sum_i \ln \left[\frac{\exp \left(\beta \sum_{nj} x_{inj} w_{inj} \right)}{\sum_{d \in D} \exp \left(\beta \sum_{nj} x_{inj} w_{inj} \right)} \right] \quad (6.9)$$

Donde x_{inj} representa el vector de atributos del puerto j que influyen en la decisión del transportista i respecto al cargamento n . En tanto a w_{inj} se le asigna el valor 1 o 0 según el transportista i envíe o no el cargamento n a través del puerto j , y dado que D representa todas las distribuciones factibles de los cargamentos, el modelo se puede replantear para adaptarlo a una expresión funcional logística más común:

$$P_{inj} = \frac{e^{V_{inj}}}{\sum_k e^{V_{ink}}} \quad (6.10)$$

En ella la utilidad asociada a la elección del puerto j para transportar el cargamento n viene dada por:

$$V_{nj} = \alpha_j + \beta_1 * O_{nj} + \beta_2 * I_{nj} + \beta_3 * H_{inj} + \beta_4 * C_{inj} + \beta_5 * P_{inj}$$

Donde O_{nj} y I_{nj} son las distancias marítima y terrestre a recorrer respectivamente por el cargamento; H_{inj} es la frecuencia media de los viajes

del transportista i realizados entre el puerto j y el destino del cargamento n ; C_{inj} es el tamaño medio de los barcos utilizados por el transportista en dichos trayectos; P_{inj} es la probabilidad de que el puerto j sea el último visitado por un barco que fletado por el transportista i se dirija hacia el destino del cargamento n ; y α y β son los coeficientes a estimar del modelo.

Los resultados obtenidos en estos tres estudios han permitido confirmar la idea intuitiva de que la distancia que separa al puerto del lugar en que se genera su tráfico resulta ser un elemento crucial para su elección, cuando no el más relevante. Para llegar a ellos, todos plantearon adaptaciones del modelo Logit condicional que resolvieran un problema de elección discreta, más o menos similar al que aquí se propone. Sin embargo, ninguno analizó el verdadero reparto interportuario de los flujos marítimos, sino que estudiaron una muestra del mismo restringida, además, a un conjunto de puertos muy limitado, a un tráfico muy concreto y a un periodo de tiempo muy acotado. Además, en todos ellos se partía de hipótesis previas acerca de las motivaciones del transportista, supuestamente responsable de la elección del puerto. Aquí, por el contrario, no se hizo hipótesis alguna ni acerca de quién toma la decisión ni, por tanto, respecto a cuáles pueden ser sus motivaciones. *Simplemente* se observó la realidad de la distribución del tráfico entre los puertos peninsulares españoles a lo largo del tiempo para perfilar un modelo que no sólo se ajuste a ella, sino que pueda servir para contribuir a identificar las variables más influyentes en la selección de los mismos. Y una vez definido, sólo queda hallar el valor de los parámetros que permitan su mejor ajuste. A continuación se explica el método elegido para lograrlo.

6.5. Resolución del modelo planteado

Con el modelo propuesto en este trabajo (expresión 6.5), se pretende dar una medida de la cuota de participación de cada instalación portuaria nacional en el reparto del tráfico marítimo originado en España; una cuota

que supuestamente depende de dos parámetros cuyo valor se desconoce y se pretende averiguar. El objetivo propuesto consistió en calcularlos de manera que el reparto del mercado portuario resultante se ajustase lo más fidedignamente posible a la realidad. Para favorecer que esto fuera así, se planteó que el valor de los parámetros incorporados al modelo fueran aquellos que permitiesen maximizar la probabilidad de que la distribución de los flujos comerciales derivada a partir de él se aproximara a la deducida previamente analizando su movimiento. Esto es, se quiso maximizar que la probabilidad de que el tráfico esperado en cada uno de los puertos analizados coincidiera con el observado realmente en ellos, y por ello se propuso optimizar la función de distribución de probabilidad multinomial 6.6:

$$P(Y_{i1} = y_{i1}, Y_{i2} = y_{i2}, \dots, Y_{ip} = y_{ip}) = \frac{n_i \bullet!}{y_{i1}! \dots y_{ip}!} \pi_{i1}^{y_{i1}} \dots \pi_{ip}^{y_{ip}}$$

Donde Y_{ij} y y_{ij} son respectivamente el tráfico real y esperado¹¹ del puerto j originado en la provincia i ; y $n_i \bullet$ (en adelante n_i) es el marginal de fila de la matriz 6.11, en la que se recoge el reparto interportuario del tráfico nacional, de manera que en sus filas se encuentran las provincias que generan los flujos y en sus columnas los puertos que los gestionan.

$$\text{Provincias } \ni i \quad \begin{pmatrix} & \begin{matrix} j \in \text{Puertos} \\ \vdots \\ \dots & y_{ij} & \dots \\ \vdots \end{matrix} \\ \left. \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \end{matrix} \right\} n_i \bullet \end{pmatrix} \quad (6.11)$$

Para garantizar que la distribución interportuaria del tráfico marítimo derivada del modelo sea la más probable, se siguió el principio de *máxima verosimilitud*. Dicho principio conduce a maximizar la probabilidad de la función de *distribución multinomial* previamente expuesta, convertida así en la *función de verosimilitud* 6.12, y transformada posteriormente en

¹¹Siendo $y_{ij} = \pi_{ij} = \frac{e^{-(c_j + a d_{ij})}}{\sum_k e^{-(c_k + a d_{ik})}}$, $\forall j \in P = 1 \dots 17$.

la función de log-verosimilitud 6.13, cuyo tratamiento matemático es menos complejo¹²:

$$L(y; \pi) = \prod_{i=1}^c n_i! \prod_{j=1}^p \frac{\pi_{ij}^{y_{ij}}}{y_{ij}!} \quad (6.12)$$

$$\begin{aligned} l(y; \pi) &= \log \left\{ \prod_{i=1}^c \left(n_i! \prod_{j=1}^p \frac{\pi_{ij}^{y_{ij}}}{y_{ij}!} \right) \right\} \\ &= \sum_{i=1}^c \log \left(n_i! \prod_{j=1}^p \frac{\pi_{ij}^{y_{ij}}}{y_{ij}!} \right) = \sum_{i=1}^c \left\{ \log n_i! + \sum_{j=1}^p \{y_{ij} \log \pi_{ij} - \log y_{ij}!\} \right\} \\ &= \sum_{i=1}^c \log n_i! + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p (y_{ij} \log \pi_{ij} - \log y_{ij}!) = K + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p y_{ij} \log \pi_{ij} \\ &= K + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p y_{ij} \left(-(c_j + ad_{ij}) - \log \sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})} \right) \\ &= K + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p y_{ij} (-(c_j + ad_{ij})) + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p y_{ij} \left(-\log \sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})} \right) \\ &= K + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p y_{ij} (-(c_j + ad_{ij})) + \sum_{i=1}^c n_i \left(-\log \sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})} \right) \quad (6.13) \end{aligned}$$

Definida la función de log-verosimilitud, los parámetros del modelo propuesto se convierten en las variables independientes de la misma, respecto a las cuales se ha de derivar la función para obtener su máximo. De este modo, se llega a las expresiones 6.14 y 6.15:

¹²Dado que la logarítmica es una función monótona, los valores que maximizan las expresiones 6.12 y 6.13 son los mismos [62].

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial f}{\partial c_j} &= \sum_{i=1}^c -y_{ij} + \sum_{i=1}^c n_i \frac{-1}{\sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})}} \left(-e^{-(c_j + ad_{ij})} \right) \\
 &= \sum_{i=1}^c -y_{ij} + \sum_{i=1}^c n_i \pi_{ij} = \sum_{i=1}^c (n_i \pi_{ij} - y_{ij}) = 0 \quad \forall j \in P \quad (6.14)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial f}{\partial a} &= - \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p y_{ij} d_{ij} + \sum_{i=1}^c n_i \left(\frac{-1}{\sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})}} \left(- \sum_{k=1}^p d_{ik} e^{-(c_k + ad_{ik})} \right) \right) \\
 &= - \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p y_{ij} d_{ij} + \sum_{i=1}^c n_i \sum_{k=1}^p d_{ik} \pi_{ik} \\
 &= - \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p y_{ij} d_{ij} + \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p n_i d_{ij} \pi_{ij} \\
 &= \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p (n_i \pi_{ij} - y_{ij}) d_{ij} = 0 \quad (6.15)
 \end{aligned}$$

En definitiva, para calcular los estimadores máximo verosímiles¹³ se dispone de un sistema de ecuaciones de verosimilitud, formado por tantas ecuaciones como parámetros se han de estimar. En este caso concreto se trata de dieciocho parámetros: a y c_j , $\forall j \in P$, siendo P el conjunto de las diecisiete instalaciones portuarias analizadas. Dicho sistema de ecuaciones es el representado en la expresión 6.16:

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{i=1}^c (n_i \pi_{ji} - y_{ij}) &= 0 \quad \forall j \in P \\
 \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p (n_i \pi_{ij} - y_{ij}) d_{ij} &= 0
 \end{aligned} \right\} \quad (6.16)$$

¹³Estos estimadores son consistentes, eficientes e insesgados [62].

Para encontrar las raíces que resuelvan este sistema de ecuaciones se ha optado por utilizar el algoritmo iterativo de Newton-Raphson, que exige trabajar tanto con las funciones como con sus derivadas y que es el habitualmente seleccionado para resolver este tipo de problemas dada su capacidad para encontrar rápidamente las raíces de los sistemas analizados [62] [111]. Desde el punto de vista geométrico, y en un entorno unidimensional, la aplicación de este método consistiría en hallar el punto de corte de la tangente a la función analizada con el eje de abscisas para un valor de partida de la variable independiente, x_i . A partir de dicho punto, se repetiría el proceso $(x_{i+1}, x_{i+2}, \dots)$ hasta alcanzar un valor δ tan pequeño que indicara que se ya estaba en el entorno de la raíz de la función, tal como se ilustra en la figura 6.1.

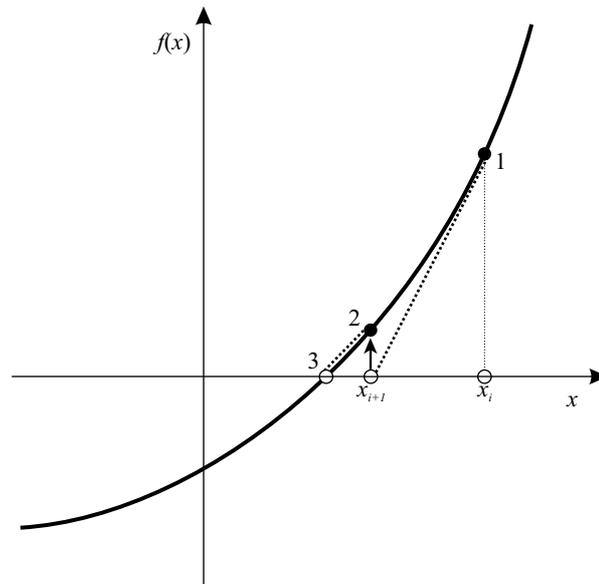


Figura 6.1: Aproximación a la raíz según el método de Newton-Raphson

Algebraicamente, el método de Newton-Raphson surge de la descomposición de una función en una serie de Taylor en el entorno de un punto, $(x + \delta)$, tal como se refleja en la expresión 6.17:

$$f(x + \delta) \approx f(x) + f'(x)\delta + \frac{f''(x)}{2}\delta^2 + \dots \quad (6.17)$$

Para funciones continuas y derivables, y teniendo en cuenta que los valores de los términos siguientes al relativo a la derivada primera en la expresión anterior son despreciables, su igualación a cero implica:

$$\delta = x_i - x_{i+1} = -\frac{f(x)}{f'(x)} \quad (6.18)$$

Si el punto de partida estuviera muy alejado de la raíz, el intervalo definido entre ambos podría incluir un máximo o mínimo local. En ese caso, el método de Newton-Raphson fracasaría si no se pudiera estimar δ por anularse $f'(x)$ en la expresión 6.18. Este sería, por ejemplo, el caso representado en la figura 6.2. No obstante este riesgo, el método de Newton-Raphson es una herramienta muy extendida para buscar las raíces de una función porque converge muy rápidamente hacia ellas cuando la estimación inicial de la raíz (x_i) no está excesivamente alejada de la raíz real.

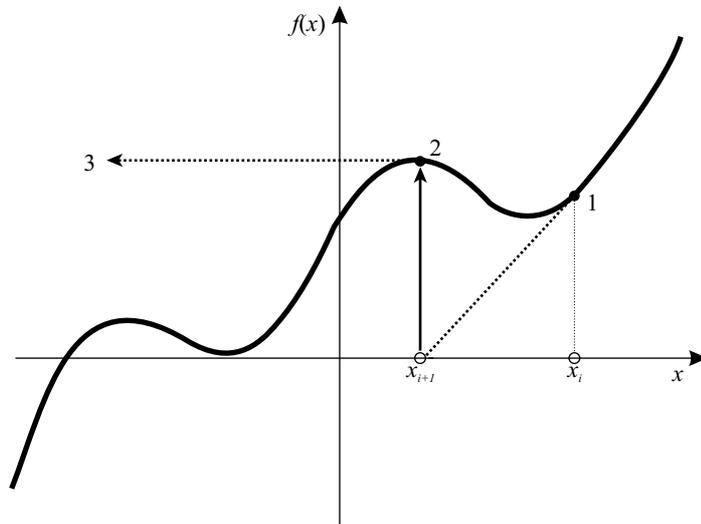


Figura 6.2: Riesgo asumido al aplicar el método de Newton-Raphson

Cuando la relación entre las variables no es lineal, y en lugar de una función se tiene un sistema de ecuaciones como el recogido en la expresión 6.19, donde f y g son dos funciones arbitrarias, cada una de ellas divide al plano (x, y) en regiones mediante líneas de *contorno cero*, tal como

se muestra en la figura 6.3. Estas líneas son las que verdaderamente interesan porque allí donde se cortan es donde se encuentran las raíces que resuelven el sistema 6.19.

$$\left. \begin{aligned} f(x, y) &= 0 \\ g(x, y) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6.19)$$

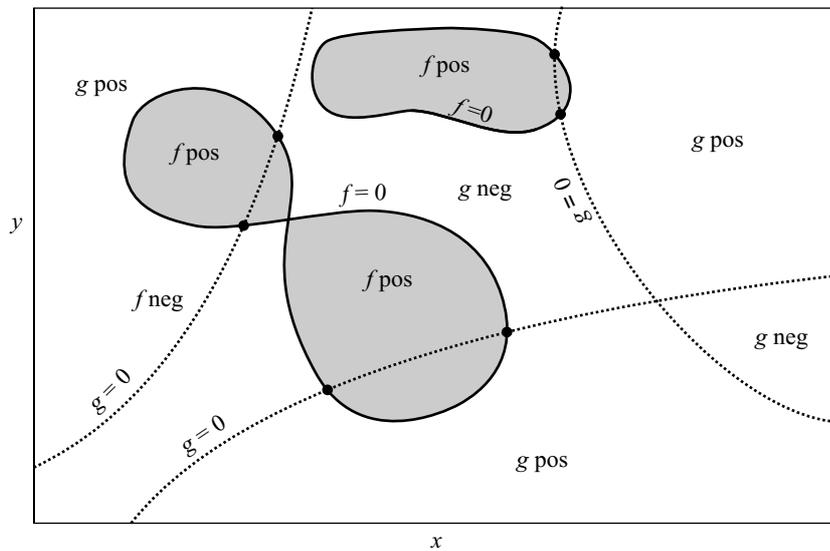


Figura 6.3: Raíces en un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas

Si en lugar de un sistema de ecuaciones bidimensional se tiene un sistema multidimensional, como es el caso, se han de encontrar dichos puntos en las intersecciones comunes a todas las *hipersuperficies de contorno cero*. Siendo \mathbf{x} el vector de valores de x_i y \mathbf{F} el vector de funciones F_i , cada una de ellas puede desarrollarse a través de la serie de Taylor en el entorno de \mathbf{x} , según se indica en la expresión 6.20:

$$F_i(\mathbf{x} + \delta\mathbf{x}) = F_i(\mathbf{x}) + \sum_{j=1}^N \frac{\partial F_i}{\partial x_j} \delta x_j + O(\|\delta\mathbf{x}\|^2) \quad (6.20)$$

La matriz de derivadas parciales es la matriz Jacobiana: $J_{ij} \equiv \frac{\partial F_i}{\partial x_j}$,

que utilizando la notación matricial convierte a 6.20 en la expresión 6.21:

$$\mathbf{F}(\mathbf{x} + \delta\mathbf{x}) = \mathbf{F}(\mathbf{x}) + \mathbf{J}\delta\mathbf{x} + O(\delta\mathbf{x}^2) \quad (6.21)$$

Despreciando los términos de orden superior a uno e igualando a cero cada una de las funciones que componen el sistema, se obtiene un conjunto de ecuaciones lineales para las *correcciones* que acercan simultáneamente cada función a cero, $\delta\mathbf{x}$. Esto es:

$$\mathbf{J}\delta\mathbf{x} = -\mathbf{F} \quad (6.22)$$

De este modo, las correcciones se incorporan en cada iteración (*it*) como se recoge en 6.23:

$$\mathbf{x}_{it+1} = \mathbf{x}_{it} + \delta\mathbf{x} = \mathbf{x}_{it} - \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{J}} \quad (6.23)$$

Dado que en este trabajo el método de Newton-Raphson se aplica para calcular los valores de los parámetros (c_j y a) que maximizan la probabilidad de que la distribución del tráfico interportuario observado coincida con la que arroja el modelo planteado, la matriz jacobiana se convierte en matriz hessiana y el vector de funciones en jacobiano, del modo indicado en 6.24:

$$\begin{pmatrix} c_1^{(r)} \\ c_2^{(r)} \\ \vdots \\ c_p^{(r)} \\ a^{(r)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1^{(r-1)} \\ c_2^{(r-1)} \\ \vdots \\ c_p^{(r-1)} \\ a^{(r-1)} \end{pmatrix} - H^{-1} \left(c^{(r-1)}, a^{(r-1)} \right) \nabla l \left(c^{(r-1)}, a^{(r-1)} \right) \quad (6.24)$$

Donde:

$$\nabla l(c, a) = \begin{pmatrix} \frac{\partial l}{\partial c_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial l}{\partial c_p} \\ \frac{\partial l}{\partial a} \end{pmatrix} \quad H(c, a) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 l}{\partial c_1^2} & \cdots & \frac{\partial^2 l}{\partial c_1 \partial a} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 l}{\partial c_p \partial c_1} & \cdots & \frac{\partial^2 l}{\partial c_p \partial a} \\ \frac{\partial^2 l}{\partial a \partial c_1} & \cdots & \frac{\partial^2 l}{\partial a^2} \end{pmatrix}$$

Siendo las derivadas segundas que componen la matriz hessiana:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial c_j^2}, \frac{\partial^2 f}{\partial c_j \partial c_k}, \frac{\partial^2 f}{\partial a^2} \text{ y } \frac{\partial^2 f}{\partial a \partial c_k}$$

El desarrollo de cada una de ellas conduce respectivamente a las expresiones 6.25, 6.26, 6.27 y 6.28:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial c_j} \left(\sum_{i=1}^c n_i \frac{e^{-(c_j + ad_{ij})}}{\sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})}} - y_{ij} \right) \\ &= \sum_{i=1}^c \left(n_i \frac{-e^{-(c_j + ad_{ij})} \left(\sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})} \right) + e^{-(c_j + ad_{ij})} e^{-(c_j + ad_{ij})}}{\left(\sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})} \right)^2} \right) \\ &= \sum_{i=1}^c \left(n_i \pi_{ij} \left(\frac{e^{-(c_j + ad_{ij})} - \sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})}}{\sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})}} \right) \right) \\ &= \sum_{i=1}^c (n_i \pi_{ij} (\pi_{ij} - 1)) = - \sum_{i=1}^c (n_i \pi_{ij} (1 - \pi_{ij})) = \frac{\partial^2 f}{\partial c_j^2} \end{aligned} \quad (6.25)$$

$$\frac{\partial}{\partial c_k} \left(\sum_{i=1}^c n_i \frac{e^{-(c_j + ad_{ij})}}{\sum_{k=1}^p e^{-(c_k + ad_{ik})}} - y_{ij} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^c \left(n_i \frac{e^{-(c_j+ad_{ij})} e^{-(c_k+ad_{ik})}}{\left(\sum_{k=1}^p e^{-(c_k+ad_{ik})} \right)^2} \right) \\
 &= \sum_{i=1}^c n_i \pi_{ij} \pi_{ik} = \frac{\partial^2 f}{\partial c_j \partial c_k} \tag{6.26}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\frac{\partial}{\partial a} \left(\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p \left(n_i \frac{e^{-(c_j+ad_{ij})}}{\sum_{k=1}^p e^{-(c_k+ad_{ik})}} - y_{ij} \right) d_{ij} \right) \\
 &= \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p n_i d_{ij} \frac{-d_{ij} e^{-(c_j+ad_{ij})} \left(\sum_{k=1}^p e^{-(c_k+ad_{ik})} \right) + e^{-(c_j+ad_{ij})} \left(\sum_{k=1}^p d_{ik} e^{-(c_k+ad_{ik})} \right)}{\left(\sum_{k=1}^p e^{-(c_k+ad_{ik})} \right)^2} \\
 &= \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p n_i d_{ij} \pi_{ij} \left(\frac{\sum_{k=1}^p d_{ik} e^{-(c_k+ad_{ik})} - d_{ij} \sum_{k=1}^p e^{-(c_k+ad_{ik})}}{\sum_{k=1}^p e^{-(c_k+ad_{ik})}} \right) \\
 &= \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p n_i d_{ij} \pi_{ij} \left(\sum_{k=1}^p d_{ik} \pi_{ik} - d_{ij} \right) = \frac{\partial^2 f}{\partial a^2} \tag{6.27}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\frac{\partial}{\partial c_k} \left(\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p \left(n_i \frac{e^{-(c_j+ad_{ij})}}{\sum_{k=1}^p e^{-(c_k+ad_{ik})}} - y_{ij} \right) d_{ij} \right) \\
 &= \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p n_i d_{ij} \frac{-\delta_k(j) e^{-(c_j+ad_{ij})} \left(\sum_{k=1}^p e^{-(c_k+ad_{ik})} \right) + e^{-(c_j+ad_{ij})} e^{-(c_k+ad_{ik})}}{\left(\sum_{k=1}^p e^{-(c_k+ad_{ik})} \right)^2}
 \end{aligned}$$

$$= \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p n_i d_{ij} (\pi_{ij} \pi_{ik} - \delta_k(j) \pi_{ij}) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^p n_i d_{ij} \pi_{ij} (\pi_{ik} - \delta_k(j)) = \frac{\partial^2 f}{\partial a \partial c_k} \quad (6.28)$$

Donde:

$$\delta_k(j) = \begin{cases} 1 & (\text{si } j = k) \\ 0 & (\text{si } j \neq k) \end{cases}$$

6.6. Resultados obtenidos

Los parámetros del modelo propuesto son las variables en el sistema de ecuaciones 6.16 al que se aplicó el método de Newton-Raphson para encontrar sus raíces, que son las que permiten alcanzar el máximo de las ecuaciones de verosimilitud 6.14 y 6.15, y con ellas los valores de c_j y a que maximizan la probabilidad de que la distribución interportuaria esperada del tráfico marítimo coincida con la realmente observada.

Para encontrar dichos valores, las iteraciones realizadas aplicando el método de Newton-Raphson al sistema de ecuaciones de verosimilitud partieron de una *semilla* en la que los valores iniciales de todas las variables eran iguales a cero ($a = c_j = 0, \forall j \in P$), y concluyeron cuando el valor absoluto máximo de la diferencia entre su valor último y el correspondiente al de la iteración anterior rebajó el umbral preestablecido, $\delta = 0,001$. Esto es, el proceso de iteración se detuvo cuando:

$$\max \left\{ \left| c_j^{(r)} - c_j^{(r-1)} \right|, j \in P, \left| a^{(r)} - a^{(r-1)} \right| \right\} < \delta = 0,001 \quad (6.29)$$

Cada iteración implica rehacer el cálculo de la matriz hessiana, formada por las derivadas segundas del modelo propuesto (expresión 6.5) respecto a c_j y a , y en cada una de ellas la distancia entre cada puerto y la capital de la provincia en la que se genera su tráfico marítimo es el único valor conocido. Esta información, suministrada por el Ministerio de

Fomento, se refiere a la distancia viaria (expresada en kilómetros) existente entre ambos puntos del espacio, que es asimilable a la que habría de recorrerse utilizando, por ejemplo, el ferrocarril [88], y se recoge en el apéndice A de este trabajo.

Las estimaciones así obtenidas de los parámetros c_j y a , al incorporarlos a la expresión 6.5, permiten calcular los valores esperados del reparto interportuario del tráfico marítimo generado en el interior peninsular español. Comprobar su validez exigió compararlos con los realmente observados, y para ello se optó por evaluar el grado de discrepancia existente entre unos y otros valorando su diferencia y asimilando a ésta con la distancia que les separa. Con este fin, se recogió en sendas matrices la expresión del poder de atracción real y esperado (π_{ij}) de cada puerto (j) sobre el tráfico generado en las distintas provincias (i). Las tablas 6.1 y 6.2 muestran respectivamente la capacidad de atracción de tráfico real y esperada de cada puerto sobre las provincias interiores, y en 6.3 y 6.4 se recogen los valores correspondientes a las provincias marítimas, ya que el desproporcionado protagonismo que ejerce el puerto local sobre el tráfico generado en estas últimas distorsionaba la ejecución del algoritmo de Newton-Raphson, impidiendo la estimación conjunta de los parámetros.

La información contenida en estas tablas es una síntesis de la distribución interportuaria del tráfico habida a lo largo de los quince años analizados. Comprobada en el capítulo anterior su estabilidad para buena parte de las provincias, y dado que para todas ellas el conjunto de puertos que canalizaban el 90% de sus flujos comerciales se mantenía año a año, se optó por que dicha medida fuera la media aritmética de la proporción del tráfico total que cada provincia canalizó hacia cada instalación portuaria a lo largo de todo el periodo estudiado.

Analizadas por filas, cada elemento muestra la cuota del tráfico provincial correspondiente desviado hacia cada puerto. La discrepancia existente entre el valor observado de dicha cuota y el esperado a tenor del modelo propuesto sirve para evaluar la validez de éste último. Para juzgar-

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Álava	0,010	0,136	0,835	0,178	4,010	3,262	82,720	0,051	0,318	0,007	0,239	0,013	5,188	0,726	0,213	0,079	2,013
Albacete	0,003	10,828	0,166	0	2,660	1,001	16,535	2,779	4,249	0	0,001	0,009	0,116	2,317	0,266	1,667	57,402
Ávila	1,122	0,706	9,422	0,086	0,183	64,246	6,603	0,004	0,002	0	0	0,216	0,034	13,408	0,077	0,018	3,873
Badajoz	0,172	0,748	0,055	0	26,148	3,509	8,432	0,032	0,192	20,959	0,111	2,528	0,303	2,109	26,101	0,008	8,593
Burgos	0,589	0,014	0,169	2,306	2,881	3,255	46,887	0,687	0,865	0	1,473	0,044	14,432	18,894	3,486	0,115	3,903
Cáceres	0,079	0,020	9,111	0,426	48,566	4,876	10,535	0,112	2,194	5,629	0	0,676	0,314	1,246	4,708	0,083	11,425
Ciudad Real	0,010	0,115	0,002	0,196	2,047	2,243	2,069	0,268	0,058	0,026	71,617	0,108	0,044	1,541	0,030	5,363	14,262
Córdoba	0,202	0,157	3,927	0,002	27,251	14,272	2,380	0,054	0,746	2,122	25,295	0,157	0,710	0,340	16,04	0,004	6,340
Cuenca	1,020	1,118	0,008	0,405	3,788	1,932	8,384	2,932	8,938	0	0,512	0,063	0,129	0,157	0,147	2,343	68,125
Girona	0,072	0,073	0,259	0	2,911	83,544	2,964	0,006	0,372	0	0,033	0,207	0,093	0,383	0,004	4,996	4,083
Guadalajara	0,017	0,147	0,005	0	2,378	7,993	14,880	0	1,335	0	0,001	0,235	1,393	41,393	0,456	0,439	29,327
Huesca	0,001	0	0,007	0,175	0,258	41,140	7,825	0	0,332	0,131	0	0,003	1,262	0,782	0,001	45,445	2,637
Jaén	0,011	0,040	17,414	0,002	36,546	0,415	0,458	0,011	0,259	0,015	37,833	0,005	0,023	0,004	0,929	0,136	5,900
León	32,131	0,004	0,001	12,689	0,261	3,747	6,334	0,002	1,105	0	0,002	9,207	7,347	7,591	0,001	0,035	19,543
Lleida	0,164	1,260	0,197	0,161	1,376	29,205	4,303	0,093	0,226	0,002	1,904	0,361	0,552	3,739	0,623	50,108	5,726
La Rioja	0,378	0,341	0,004	0,003	7,748	10,926	62,648	0,066	1,061	0,001	0,374	0,700	4,586	1,162	0,839	0,055	9,108
Madrid	0,510	1,225	0,867	1,815	2,926	8,326	14,553	1,358	2,573	0,422	1,468	0,258	2,902	9,005	1,075	36,598	14,119
Navarra	0,06	0,016	0,001	0,214	0,469	13,613	35,756	0,223	0,273	0,001	0,011	0,024	39,531	4,688	0,065	2,711	2,346
Ourense	10,625	0,005	0,003	0,317	0,212	1,092	6,353	0,034	0,008	7,477	0	67,047	0,296	3,383	0,144	0,080	2,925
Palencia	0,010	0,067	0,194	4,301	0,189	2,577	6,268	0,011	0,866	0	0,226	0,432	0,092	57,973	0	18,038	8,756
Salamanca	0,018	0,003	0,014	0,001	0,102	1,989	5,951	0,001	0,027	0	0	6,847	2,868	67,779	10,571	0,030	3,800
Segovia	0,491	6,900	0,979	0,828	2,587	3,736	34,634	0,947	0,235	0	2,587	0,578	1,527	16,447	3,207	7,339	16,978
Soria	0,047	0,078	0,002	0	0,555	6,502	9,414	0,001	5,697	0	0,002	0,201	3,964	0,908	0,685	54,021	17,922
Teruel	0	0,001	0	0	0,014	0,143	0,312	0,593	3,616	0,008	0	0,002	0,019	0,002	0,001	94,508	0,782
Toledo	0,020	1,475	0,597	0,061	2,058	2,395	6,639	4,338	1,862	0,393	1,095	0,269	6,359	6,255	0,593	0,069	65,522
Valladolid	1,441	0,055	0	3,955	2,723	2,275	29,919	0,005	0,258	0,018	0,003	1,977	0,875	38,846	0,001	5,708	11,941
Zamora	0,971	0,001	0	3,623	0,273	0,303	53,119	0	0,159	0	0,409	2,000	0,462	31,212	0	0,001	7,467
Zaragoza	1,060	0,222	0,029	0,297	0,898	16,568	31,785	0,131	2,025	0	0,002	0,074	19,880	1,503	0,323	12,236	12,967
1: A Coruña + Ferrol-San Cirián	2: Alicante	3: Almería-Motril	4: Avilés + Gijón	5: B.Algeciras+B.Cádiz	6: Barcelona												
7: Bilbao	8: Cartagena	9: Castellón	10: Huelva	11: Málaga	12: Marín-Pontevedra+Vigo+Villagarcía												
13: Pasajes	14: Santander	15: Sevilla	16: Tarragona	17: Valencia													
Fuente: Elaboración propia																	

Tabla 6.1: Frecuencias *observadas* en la distribución interportuaria del tráfico de las provincias interiores

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Álava	0,365	0,075	0,067	0,578	0,135	6,538	53,867	0,034	0,292	0,035	0,185	0,433	11,183	17,832	0,077	5,979	2,325
Albacete	0,082	5,750	3,498	0,059	2,013	7,826	1,455	3,356	4,052	0,654	3,864	0,095	0,299	0,979	0,882	11,525	53,610
Ávila	2,528	0,935	1,034	1,816	5,470	5,770	23,731	0,541	1,306	1,228	2,899	3,123	4,027	19,829	2,281	6,633	16,849
Badajoz	0,781	0,452	2,166	0,439	39,889	1,451	4,343	0,255	0,317	9,589	14,508	1,179	0,807	3,488	14,259	1,719	4,357
Burgos	0,898	0,139	0,143	0,864	0,271	5,357	43,429	0,080	0,480	0,087	0,398	1,058	7,514	29,188	0,110	5,925	4,059
Cáceres	1,345	0,519	1,669	0,805	34,144	2,488	7,716	0,295	0,593	7,253	10,321	2,051	1,393	6,278	12,833	3,053	7,243
Ciudad Real	0,347	2,717	6,065	0,238	15,303	2,655	5,728	1,574	1,975	2,668	17,005	0,920	0,970	3,852	6,404	6,055	25,521
Córdoba	0,076	0,568	5,397	0,042	32,076	1,107	0,954	0,475	0,444	5,446	33,405	0,111	0,172	0,640	12,065	1,595	5,427
Cuenca	0,254	2,562	1,711	0,171	1,595	9,795	4,089	1,480	3,657	0,277	1,985	0,296	0,698	2,749	0,658	13,880	54,141
Girona	0,036	0,236	0,160	0,022	0,063	62,440	1,357	0,082	0,956	0,018	0,160	0,045	0,607	0,635	0,033	27,497	5,653
Guadalajara	0,763	1,081	1,075	0,520	1,992	13,487	18,830	0,626	2,676	0,347	3,013	0,896	3,944	12,662	0,830	17,775	19,483
Huesca	0,084	0,245	0,135	0,103	0,125	34,571	10,729	0,094	1,244	0,021	0,166	0,109	4,706	3,650	0,046	36,289	7,682
Jaén	0,093	1,293	12,885	0,060	18,919	2,026	1,407	1,077	0,847	3,259	35,856	0,110	0,245	0,945	7,539	2,774	10,666
León	8,871	0,220	0,246	7,689	1,792	4,152	26,316	0,125	0,359	0,378	0,678	8,982	4,752	26,609	0,668	4,423	3,739
Lleida	0,037	0,248	0,105	0,041	0,057	41,876	2,753	0,071	1,339	0,010	0,074	0,048	1,378	1,177	0,020	43,461	7,303
La Rioja	0,437	0,157	0,086	0,520	0,171	12,024	39,943	0,060	0,777	0,029	0,238	0,518	10,360	16,395	0,065	12,944	5,277
Madrid	1,041	1,590	1,495	0,755	2,661	7,919	18,532	0,928	2,227	0,469	4,219	1,215	3,056	12,471	1,165	10,804	29,452
Navarra	0,276	0,152	0,066	0,331	0,136	14,921	34,979	0,058	0,777	0,023	0,182	0,329	15,375	11,858	0,050	15,694	4,793
Ourense	23,267	0,168	0,228	2,215	1,770	2,516	9,037	0,094	0,235	0,345	0,614	43,875	1,797	8,175	0,565	2,463	2,637
Palencia	2,482	0,205	0,210	2,232	1,078	4,445	36,735	0,118	0,440	0,239	0,587	2,945	6,334	32,932	0,438	4,931	3,649
Salamanca	4,377	0,528	0,596	2,838	7,072	4,432	26,123	0,303	0,736	1,553	1,528	6,761	4,542	21,600	2,831	4,881	9,299
Segovia	1,796	0,956	0,942	1,644	1,734	7,768	27,896	0,554	1,337	0,628	2,642	2,186	4,715	17,957	1,170	8,770	17,305
Soria	0,418	0,373	0,186	0,399	0,355	16,412	26,748	0,140	1,583	0,061	0,519	0,543	7,186	13,425	0,143	18,116	13,394
Teruel	0,057	1,297	0,581	0,055	0,281	15,498	3,726	0,484	5,535	0,049	0,541	0,075	1,419	1,867	0,113	21,592	46,830
Toledo	0,840	2,186	2,567	0,622	6,421	6,179	13,791	1,270	2,430	1,125	7,218	1,037	2,310	9,277	2,739	8,278	31,711
Valladolid	2,787	0,320	0,317	2,645	1,643	5,139	34,542	0,185	0,630	0,369	0,890	3,544	5,855	28,877	0,687	5,787	5,782
Zamora	6,130	0,385	0,406	3,915	4,305	4,767	27,090	0,221	0,537	0,940	1,127	9,447	4,744	22,332	1,703	5,217	6,736
Zaragoza	0,104	0,355	0,173	0,104	0,142	31,064	10,759	0,134	2,010	0,024	0,201	0,135	4,533	4,382	0,055	33,670	12,154
1: A Coruña + Ferrol-San Ciprián	2: Alicante		3: Almería-Motril		4: Avilés + Gijón		5: B.Algeciras+B.Cádiz		6: Barcelona								
7: Bilbao	8: Cartagena		9: Castellón		10: Huelva		11: Málaga		12: Marín-Pontevedra+Vigo+Villagarcía								
13: Pasajes	14: Santander		15: Sevilla		16: Tarragona		17: Valencia										
Fuente: Elaboración propia																	

Tabla 6.2: Frecuencias *esperadas* en la distribución interportuaria del tráfico de las provincias interiores

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Alicante	0,014	64,570	0,259	0,012	0,988	6,812	0,513	0,411	0,213	0,014	0,003	0,118	0,106	0,035	0,027	0,274	25,631	
Almería	0,000	0,086	95,495	0,010	0,167	0,142	0,184	3,610	0,004	0,001	0,002	0,002	0,015	0,002	0,017	0,006	0,256	
Barcelona	0,204	0,105	0,108	0,310	0,980	81,870	3,141	0,374	0,302	0,282	0,061	0,245	0,590	0,834	0,195	6,527	3,872	
Cádiz	0,090	0,005	0,074	0,141	96,405	0,756	0,387	0,005	0,079	0,073	0,014	0,017	0,842	0,145	0,149	0,178	0,639	
Castellón	0,003	0,020	0,010	0,017	0,175	0,846	0,444	0,031	72,715	0,008	0,000	0,012	0,012	0,030	0,008	0,031	25,639	
A Coruña	95,197	0,003	0,111	0,067	0,030	1,702	0,238	0,015	0,043	0,015	0,006	0,791	0,095	0,048	0,206	0,050	1,383	
Granada	0,011	0,021	92,133	0,064	1,135	1,003	1,394	0,017	0,009	0,119	0,444	0,019	0,019	0,031	1,152	0,686	1,741	
Guipúzcoa	0,011	0,010	0,014	0,044	0,215	1,901	18,487	0,002	0,090	0,056	0,027	0,043	77,115	0,516	0,134	0,097	1,237	
Huelva	0,005	0,005	0,015	0,095	0,641	1,217	0,614	0,135	0,009	95,664	0,008	0,099	0,139	0,078	0,152	0,279	0,843	
Lugo	93,868	0,033	0,033	0,068	0,034	1,695	1,326	0,001	0,048	0,121	0,005	1,465	0,142	0,118	0,022	0,771	0,249	
Málaga	0,034	0,003	0,064	0,042	0,550	0,215	0,047	0,008	0,007	0,001	98,285	0,026	0,045	0,011	0,294	0,020	0,348	
Murcia	0,001	0,374	0,236	0,078	0,228	0,563	0,245	95,394	0,017	0,012	0,038	0,008	0,024	0,027	0,213	0,049	2,493	
Asturias	1,395	0,001	0,006	95,628	0,018	0,647	1,092	0,018	0,014	0,036	0,006	0,031	0,406	0,128	0,049	0,083	0,442	
Pontevedra	0,796	0,040	0,198	0,160	0,237	1,613	0,821	0,091	0,073	0,028	0,019	92,132	0,468	0,830	1,150	0,126	1,216	
Santander	0,102	0,003	0,029	0,064	0,308	2,700	5,482	0,007	0,018	0,039	0,010	0,072	2,533	87,738	0,322	0,085	0,489	
Sevilla	0,015	0,024	0,220	0,106	7,979	1,815	0,378	0,375	0,050	1,486	1,787	0,033	0,158	0,338	83,278	0,293	1,664	
Tarragona	0,002	0,034	0,023	0,119	0,131	2,468	0,546	0,034	0,023	0,026	0,032	0,030	0,029	0,016	0,178	95,344	0,964	
Valencia	0,017	0,350	0,631	0,734	0,474	3,152	1,177	0,094	0,926	0,033	0,025	0,059	1,991	0,064	1,128	0,989	88,157	
Vizcaya	0,016	0,001	0,012	0,453	0,109	0,405	97,149	0,010	0,105	0,005	0,002	0,030	0,768	0,582	0,043	0,040	0,270	
1: A Coruña + Ferrol-San Cirián	2: Alicante		3: Almería-Motril			4: Avilés + Gijón			5: B.Algeciras+B.Cádiz			6: Barcelona						
7: Bilbao	8: Cartagena			9: Castellón			10: Huelva			11: Málaga			12: Marín-Pontevedra+Vigo+Villagarcía					
13: Pasajes	14: Santander			15: Sevilla			16: Tarragona			17: Valencia								
Fuente: Elaboración propia																		

Tabla 6.3: Frecuencias *observadas* en la distribución interportuaria del tráfico de las provincias marítimas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Alicante	0,500	46,485	0,456	0,500	0,500	0,280	0,500	19,470	5,046	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,964	27,284
Almería	0,500	1,562	88,303	0,500	0,500	0,500	0,500	5,951	0,274	0,500	2,311	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	1,293
Barcelona	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	81,367	0,500	0,500	0,490	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	17,699	0,424
Cádiz	0,500	0,500	0,424	0,500	81,891	0,500	0,500	0,124	0,500	4,242	2,968	0,500	0,500	0,500	10,212	0,500	0,500
Castellón	0,500	0,328	0,500	0,500	0,500	2,898	0,500	0,138	51,007	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	9,897	35,724
A Coruña	80,772	0,500	0,500	2,752	0,500	0,500	0,313	0,500	0,500	0,500	0,500	15,480	0,500	0,506	0,500	0,500	0,500
Granada	0,500	0,437	89,409	0,500	0,364	0,500	0,500	1,842	0,500	0,201	6,732	0,500	0,500	0,500	0,654	0,500	0,289
Guipúzcoa	0,500	0,500	0,500	0,132	0,500	1,070	22,323	0,500	0,163	0,500	0,500	0,500	71,237	3,028	0,500	1,862	0,179
Huelva	0,500	0,500	0,276	0,500	6,950	0,500	0,500	0,500	0,500	72,798	1,802	0,500	0,500	0,500	17,949	0,500	0,500
Lugo	82,643	0,500	0,500	5,987	0,500	0,500	0,467	0,500	0,500	0,500	0,500	9,865	0,500	0,851	0,500	0,500	0,500
Málaga	0,500	0,265	8,706	0,500	2,977	0,500	0,500	0,975	0,500	1,090	82,682	0,500	0,500	0,500	2,993	0,500	0,236
Murcia	0,500	15,820	1,597	0,500	0,500	0,500	0,500	71,611	1,624	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,297	8,918
Asturias	0,708	0,500	0,500	84,592	0,500	0,500	4,488	0,500	0,500	0,500	0,500	0,256	0,609	9,257	0,500	0,500	0,500
Pontevedra	27,615	0,500	0,500	2,125	0,500	0,500	0,223	0,500	0,500	0,500	0,500	69,609	0,500	0,196	0,500	0,500	0,500
Santander	0,500	0,500	0,500	2,228	0,500	0,500	26,431	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	3,311	67,707	0,500	0,154	0,500
Sevilla	0,500	0,500	0,490	0,500	18,542	0,500	0,500	0,141	0,500	19,649	4,224	0,500	0,500	0,500	56,800	0,500	0,500
Tarragona	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	24,956	0,500	0,500	1,482	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	72,375	1,154
Valencia	0,500	0,659	0,500	0,500	0,500	0,654	0,500	0,261	14,427	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	2,414	81,579
Vizcaya	0,500	0,500	0,500	0,377	0,500	0,151	79,263	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	9,868	9,975	0,500	0,274	0,500
1: A Coruña + Ferrol-San Cirián	2: Alicante		3: Almería-Motril			4: Avilés + Gijón			5: B.Algeciras+B.Cádiz			6: Barcelona					
7: Bilbao	8: Cartagena		9: Castellón			10: Huelva			11: Málaga			12: Marín-Pontevedra+Vigo+Villagarcía					
13: Pasajes	14: Santander		15: Sevilla			16: Tarragona			17: Valencia								
Fuente: Elaboración propia																	

Tabla 6.4: Frecuencias *esperadas* en la distribución interportuaria del tráfico de las provincias marítimas

la, se utilizó como indicador el Coeficiente V de Cramer. Definido según se recoge en 6.30, t representa el valor más pequeño de $(n - 1)$ o $(m - 1)$, siendo respectivamente n y m el número de filas y de columnas de las matrices correspondientes.

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{N \cdot t}} \quad (6.30)$$

Construido a partir del estimador χ^2 , este índice se utiliza habitualmente para valorar el grado de asociación existente entre dos variables, de manera que, al estar estandarizado, cuanto más próximo esté su valor a la unidad, más fuerte será la relación establecida entre dichas variables. Sin embargo, y tal y como está definido, en este caso se ha reinterpretado y se ha utilizado para medir la distancia existente entre ambos grupos de datos. De este modo, cuando más cercano a cero esté su valor, menor será la discrepancia habida entre la capacidad de atracción de tráficos real y esperada de cada puerto y, por tanto, mayor será la capacidad explicativa del modelo de competencia interportuaria aquí formulado.

Habitualmente se comienza el proceso iterativo manejado por el método de Newton-Raphson dando el valor 0 a los parámetros ($a = c_j = 0$). Sin embargo, como ya se ha explicado, el desconocimiento de la forma de la función analizada (recuérdese que trabajamos con un sistema de ecuaciones con dieciocho incógnitas) evita que se tengan garantías acerca de que el máximo alcanzado no sea simplemente un máximo local. Para minimizar este riesgo, se optó por repetir el proceso probando también otros conjuntos de semillas¹⁴, generados todos ellos aleatoriamente, y el resultado fue positivo: no sólo se logró reducir el valor de la V de Cramer de 0,306 a 0,303 cuando el modelo se aplica a las provincias interiores, sino que alterar el conjunto de semillas iniciales evitó que el método de Newton-Raphson fracasara en su búsqueda de las raíces de la función cuando el modelo se aplica a las provincias marítimas, en cuyo caso la V de Cramer

¹⁴Concretamente, se probaron 30 conjuntos diferentes de semillas.

alcanza un valor igual a 0,154.

Los valores obtenidos con la V de Cramer indican que el modelo de competencia interportuaria formulado ajusta en un 83,8% el conjunto del tráfico marítimo nacional generado en las provincias peninsulares españolas y distribuido entre sus puertos¹⁵; y lo hace introduciendo únicamente información relativa a la distancia que separa a las instalaciones portuarias del lugar en el que se genera su tráfico. Pero si en el proceso de ajuste del modelo se incorpora la información derivada del análisis de homogeneidad/estabilidad realizado previamente, el ajuste de la distribución del tráfico de las provincias interiores mejora aún más y pasa del 70 al 75%, permitiendo que el del conjunto del tráfico peninsular alcance el 84,2%.

El error medio¹⁶ cometido en el ajuste del reparto del tráfico generado en cada provincia entre los distintos puertos es de 4,099 puntos porcentuales. En el ajuste del reparto interportuario del tráfico de las provincias de Ávila, Badajoz, Ciudad Real, Guadalajara, La Rioja, León, Palencia, Salamanca, Soria, Teruel, Toledo, Zamora y Zaragoza, el error medio fue superior; muy ligeramente superior en algunos casos, pero notablemente superior en otros: Soria (5,328), Palencia (5,382), León (5,603), Salamanca (6,353), Ciudad Real (6,425), Ávila (7,866) y Teruel (8,591).

Todas ellas, salvo La Rioja, León, Teruel, Toledo y Zaragoza, habían sido catalogadas como *inestables de rango 0* tras el análisis de *estabilidad* llevado a cabo y comentado en el capítulo anterior (véanse las tablas 5.13 y 5.14). El motivo por el que sólo el ajuste de ocho de las once provincias incluidas en este grupo arroje un error superior a la media radica en la naturaleza de la inestabilidad del reparto interportuario originado en cada una de ellas.

¹⁵Un 85% del originado en las provincias marítimas, que responden del 92% del total, y un 70% del generado en las interiores, que provocan el 8% restante.

¹⁶Calculado como media aritmética del error medio cometido en cada provincia respecto a cada puerto, tomado en valor absoluto.

Como puede comprobarse en el apéndice A de este trabajo, si bien en todas ellas el reparto de su tráfico entre los diferentes puertos es irregular, los altibajos producidos en su asignación entre las diferentes instalaciones portuarias es sensiblemente inferior en Córdoba, Jaén y Segovia (tablas A.52, A.60 y A.75). Del mismo modo, y aunque haya sido incluida en el grupo de inestabilidad de *rango 1*, desde la provincia de León se producen alteraciones destacadas en la distribución de sus flujos comerciales entre los puertos de Asturias, Pasajes y Santander, que conjuntamente canalizan en torno a un tercio de su tráfico.

El error cometido en el ajuste del reparto del tráfico de La Rioja, Teruel, Toledo y Zaragoza no se justifica, sin embargo, por esta razón. De estas cuatro, dos canalizan sus flujos comerciales a través de puertos muy alejados entre sí, por lo que un modelo que descansa sobre la variable *distancia* para explicar la distribución del tráfico portuario entre las distintas instalaciones disponibles necesariamente ha de equivocarse en la estimación. No obstante, en ambos casos se observa una clara preferencia por aquél más próximo a cada una de ellas: desde La Rioja por el puerto de Bilbao y desde Toledo por el de Valencia. El reparto promovido desde Zaragoza presenta, en cambio, el problema opuesto. Los agentes instalados en esta provincia no muestran una preferencia clara por ninguno de los puertos más próximos a ella, que son los elegidos a lo largo de todo el periodo analizado, y así desvían hacia las instalaciones vascas la mitad de su tráfico y en torno a un tercio hacia las de Barcelona, Tarragona y Valencia, por lo que el modelo también comete un error superior al de la media en este caso. La discrepancia más curiosa se produce, no obstante, al estimar la distribución del tráfico originado en Teruel; una provincia que además de haberse incluido en el grupo de las *ordinalmente estables* presenta un amplio periodo de homogeneidad en la distribución de sus flujos comerciales entre las instalaciones portuarias.

El mayor error cometido por el modelo surge al estimar el reparto interportuario del tráfico originado en Teruel probablemente porque en él

no se incorpora la naturaleza de la mercancía ni, consecuentemente, el grado de especialización de ninguna de las instalaciones, cuando en un caso tan extremo como éste parece que hubiera sido necesario ya que las importaciones de la región correspondientes al capítulo 27 (*Combustibles minerales, aceites minerales y productos de su destilación, materias bituminosas y ceras minerales*) suponen la práctica totalidad del tráfico marítimo exterior turolense, canalizado en un 95% a través de las instalaciones del puerto de Tarragona. El modelo muestra, sin embargo, un vínculo importante entre esta provincia y los puertos de Valencia y de Barcelona, que son precisamente los dos puertos más destacados en la canalización del resto de categorías de mercancía intercambiada entre Teruel y el resto del mundo vía marítima.

Parece entonces que el modelo ajusta correctamente el reparto interportuario del tráfico cuando éste no es anómalo. Por ello, y atendiendo a estos matices, se repitió la estimación de los parámetros del modelo eliminando de las filas de la matriz de datos a las provincias de Soria, Palencia, León, Salamanca, Ciudad Real, Ávila y Teruel. Tras repetir todo el proceso y tras probar con diferentes conjuntos de semillas, la calidad del ajuste de las interiores valorada nuevamente mediante el estimador V de Cramer alcanza ya el 75% y permite que el ajuste de la distribución del conjunto del tráfico peninsular ascienda al 84,2%. Los valores esperados en la distribución del tráfico entre los puertos peninsulares son los recogidos en la tabla 6.5.

6.7. Interpretación del modelo

El modelo formulado ha permitido obtener aquellos valores de los parámetros que maximizan la verosimilitud entre la estimación del reparto interportuario del tráfico marítimo a que dan lugar y la distribución del mismo realmente habida entre las instalaciones peninsulares. Dichos valores son los presentados en la tabla 6.6.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Álava	0,149	0,082	0,054	0,458	0,137	4,358	63,283	0,036	0,248	0,036	0,092	0,400	11,578	13,890	0,067	2,819	2,313
Albacete	0,038	7,110	3,191	0,053	2,310	5,898	1,931	3,952	3,885	0,764	2,178	0,099	0,350	0,862	0,875	6,143	60,361
Badajoz	0,356	0,552	1,953	0,388	45,269	1,080	5,697	0,297	0,300	11,083	8,089	1,216	0,933	3,035	14,002	0,905	4,845
Burgos	0,384	0,159	0,121	0,717	0,289	3,744	53,487	0,087	0,426	0,094	0,208	1,024	8,155	23,841	0,101	2,929	4,235
Cáceres	0,609	0,630	1,495	0,707	38,484	1,841	10,055	0,341	0,558	8,325	5,715	2,102	1,600	5,426	12,515	1,597	8,002
Córdoba	0,039	0,774	5,433	0,041	40,627	0,920	1,396	0,617	0,469	7,024	20,792	0,127	0,222	0,621	13,223	0,938	6,737
Cuenca	0,118	3,203	1,578	0,155	1,850	7,466	5,487	1,763	3,545	0,327	1,131	0,313	0,826	2,447	0,661	7,482	61,646
Girona	0,023	0,400	0,200	0,027	0,100	64,569	2,468	0,132	1,257	0,028	0,123	0,064	0,973	0,766	0,045	20,103	8,721
Guadalajara	0,371	1,408	1,033	0,490	2,408	10,711	26,338	0,776	2,702	0,427	1,789	0,984	4,862	11,746	0,868	9,983	23,104
Huesca	0,049	0,381	0,155	0,116	0,180	32,870	17,959	0,140	1,503	0,031	0,118	0,144	6,944	4,051	0,057	24,400	10,901
Jaén	0,049	1,839	13,535	0,062	24,995	1,757	2,148	1,459	0,934	4,384	23,283	0,132	0,330	0,957	8,618	1,701	13,816
Lleida	0,024	0,430	0,135	0,051	0,091	44,298	5,125	0,117	1,800	0,016	0,059	0,071	2,262	1,453	0,028	32,512	11,528
La Rioja	0,193	0,186	0,075	0,446	0,188	8,696	50,891	0,067	0,714	0,033	0,129	0,518	11,634	13,851	0,062	6,620	5,696
Madrid	0,480	1,962	1,361	0,675	3,048	5,959	24,565	1,091	2,131	0,547	2,375	1,266	3,570	10,963	1,155	5,750	33,103
Navarra	0,125	0,184	0,059	0,290	0,153	11,021	45,512	0,067	0,729	0,026	0,100	0,336	17,635	10,231	0,048	8,198	5,284
Ourense	11,926	0,231	0,231	2,200	2,252	2,103	13,310	0,123	0,250	0,447	0,384	50,855	2,332	7,987	0,622	1,456	3,292
Segovia	0,810	1,155	0,840	1,438	1,944	5,723	36,206	0,638	1,252	0,717	1,456	2,230	5,393	15,457	1,135	4,569	19,039
Toledo	0,387	2,694	2,334	0,554	7,345	4,642	18,251	1,491	2,322	1,310	4,057	1,079	2,694	8,142	2,711	4,398	35,588
Valladolid	1,238	0,381	0,278	2,276	1,813	3,725	44,115	0,210	0,580	0,415	0,482	3,558	6,590	24,461	0,656	2,966	6,257
Zamora	2,794	0,469	0,365	3,459	4,874	3,545	35,502	0,256	0,508	1,083	0,627	9,735	5,478	19,411	1,669	2,744	7,480
Zaragoza	0,058	0,537	0,193	0,114	0,200	28,627	17,455	0,193	2,354	0,035	0,139	0,172	6,482	4,715	0,067	21,943	16,718
1: A Coruña + Ferrol-San Ciprián	2: Alicante		3: Almería-Motril			4: Avilés + Gijón			5: B.Algeciras+B.Cádiz			6: Barcelona					
7: Bilbao	8: Cartagena			9: Castellón			10: Huelva			11: Málaga		12: Marín-Pontevedra+Vigo+Villagarcía					
13: Pasajes	14: Santander			15: Sevilla			16: Tarragona			17: Valencia							
Fuente: Elaboración propia																	

Tabla 6.5: Frecuencias *esperadas* en la distribución interportuaria del tráfico de las provincias interiores (II)

Parámetros	Provincias interiores	Provincias portuarias
a	0,658	1,503
$C_{ACoruña+Ferrol-S.Cip.}$	0,131	216,038
$C_{Alicante}$	0,018	215,268
$C_{Almería-Motril}$	-0,692	215,256
$C_{Avilés+Gijón}$	0,864	215,762
$C_{B.Algeciras+B.Cádiz}$	-2,261	215,720
$C_{Barcelona}$	-2,611	212,258
C_{Bilbao}	-2,304	214,668
$C_{Cartagena}$	0,765	214,957
$C_{Castellón}$	-0,027	213,847
C_{Huelva}	-0,308	216,090
$C_{Málaga}$	-1,104	215,903
$C_{M.Pontevedra+Vigo+Villagarcía}$	-1,078	216,390
$C_{Pasajes}$	-0,939	215,088
$C_{Santander}$	-1,482	215,231
$C_{Sevilla}$	-0,337	216,324
$C_{Tarragona}$	-1,912	212,568
$C_{Valencia}$	-2,274	213,184
Fuente: elaboración propia		

Tabla 6.6: Valores de los parámetros

En la primera columna se recogen los parámetros del modelo de competencia interportuaria formulado: el relativo a la *aversión a la distancia*, a , y el asociado al atractivo intrínseco de cada puerto, c_j , determinado por todas aquellas características que le distinguen del resto al margen de su ubicación. En la segunda, sus respectivos valores cuando el modelo se aplica al tráfico generado en las provincias interiores; y en la tercera, los correspondientes a cada parámetro cuando el tráfico analizado es el procedente de las provincias denominadas *portuarias*.

Como puede observarse en ella, el valor obtenido para los c_j varía muy sensiblemente según el conjunto de provincias incorporadas al análisis sean las interiores o las marítimas, del mismo modo que en algunos

casos también varía su signo. Sin embargo esto no es relevante, ya que lo que verdaderamente importa es la relación que se establece entre ellos en cada caso. Como puede verse en la expresión 6.31, que representa a una función definida positiva y monótonamente decreciente, lo que resulta decisivo para determinar la proporción del tráfico generado en la provincia i y canalizado a través del puerto j es la diferencia entre el valor de cada c_j concreto y los respectivos parámetros correspondientes al resto de instalaciones c_k ; no su signo ni su valor para el otro conjunto de provincias, ya que, además, en valor absoluto la diferencia entre el máximo y el mínimo en ambos casos apenas difiere: de -2,611 a 0,864 en el caso de los c_j resultantes cuando el modelo se aplica a las provincias interiores, y de 212,258 a 216,390 cuando el tráfico analizado a través del modelo propuesto se genera en las provincias marítimas. Normalizadas ambas series respecto a la media, los valores correspondientes son los recogidos en la tabla 6.7.

$$\begin{aligned} \pi_{ij} &= \frac{e^{-(c_j+ad_{ij})}}{\sum_k e^{-(c_k+ad_{ik})}} \\ &= \frac{e^{-c_j}e^{-ad_{ij}}}{e^{-c_j}e^{-ad_{ij}} \left[e^{(c_j-c_1)}e^{-a(d_{i1}-d_{ij})} + e^{(c_j-c_2)}e^{-a(d_{i2}-d_{ij})} + \dots + e^{(c_j-c_k)}e^{-a(d_{ik}-d_{ij})} \right]} \\ &= \frac{1}{\sum_k e^{(c_j-c_k)}e^{-a(d_{ik}-d_{ij})}} = \pi_{ij} \end{aligned} \quad (6.31)$$

Dado que los parámetros c_j no acompañan a ninguna variable, y que fueron definidos como una *caja negra* cuyo interior aún se desconoce, poco más se puede decir hasta averiguar cuáles son las características de los puertos que determinan su magnitud. Por el contrario, el valor del parámetro que recoge lo que se denominó *aversión a la distancia*, a , sí permite interpretar la relevancia de posibles modificaciones en el recorrido que separa a la provincia que genera el tráfico de cada una de las posibles instalaciones portuarias desde las que podría canalizarlo.

Puertos	Provincias interiores	Puertos	Provincias marítimas
Barcelona	-1,696	Barcelona	-2,716
Bilbao	-1,389	Tarragona	-2,406
Valencia	-1,359	Valencia	-1,790
B.Algeciras + B.Cádiz	-1,346	Castellón	-1,127
Tarragona	-0,997	Bilbao	-0,306
Santander	-0,567	Cartagena	-0,017
Málaga	-0,189	Pasajes	0,114
MPont + Vigo + Villag.	-0,163	Santander	0,257
Pasajes	-0,024	Almería-Motril	0,282
Almería-Motril	0,223	Alicante	0,294
Sevilla	0,578	B.Algeciras + B.Cádiz	0,746
Huelva	0,607	Avilés + Gijón	0,788
Castellón	0,888	Málaga	0,929
Alicante	0,933	A Coruña + F-S.C.	1,064
A Coruña + F-S.C.	1,046	Huelva	1,116
Cartagena	1,680	Sevilla	1,350
Avilés + Gijón	1,779	MPont + Vigo + Villag.	1,416

Fuente: elaboración propia

Tabla 6.7: Valores normalizados de los parámetros c_j

Los coeficientes de los modelos tipo Logit de elección múltiple no están directamente relacionados con los efectos marginales de las variables correspondientes [62]. Dichos efectos, sin embargo, pueden obtenerse derivando la función respecto a ellas, lo que en este caso conduce a las expresiones 6.32 y 6.33.

$$\frac{\partial \pi_{ij}}{\partial d_{ij}} = \frac{-a \sum_k e^{(c_j - c_k)} e^{-a(d_{ik} - d_{ij})}}{\left[\sum_k e^{(c_j - c_k)} e^{-a(d_{ik} - d_{ij})} \right]^2} = -a \pi_{ij} \quad (6.32)$$

$$\frac{\partial \pi_{ij}}{\partial d_{ih}} = \frac{a e^{(c_j - c_h)} e^{-a(d_{ih} - d_{ij})}}{\left[\sum_k e^{(c_j - c_k)} e^{-a(d_{ik} - d_{ij})} \right]^2} = a e^{(c_j - c_h) - a(d_{ih} - d_{ij})} \pi_{ij}^2 \quad (6.33)$$

En 6.31 se ve cómo la capacidad del puerto j para atraer el tráfico originado en la provincia i depende de la variable *distancia*, referida tanto a la que separa al territorio que genera el flujo marítimo del puerto analizado (d_{ij}) como a la que lo separa del resto de instalaciones barajadas (d_{ik}). Derivando π_{ij} respecto a ambas, se confirma lo esperado: cualquier variación habida en la distancia que separa a la provincia que genera el flujo comercial (i) del puerto analizado (j) provocará una variación de sentido inverso en la capacidad de atracción de éste, mientras que toda alteración producida en la distancia que separa a dicha provincia del resto de instalaciones originará una variación del mismo sentido en ella. Esto es, todo *acercamiento* de una instalación portuaria al lugar en el que se genera el tráfico hará que aumenten sus posibilidades de atraerlo hacia sus muelles, y viceversa. Del mismo modo, cualquier tipo de *aproximación* de otro puerto a su área de influencia, *ceteris paribus* sus propias características, provocará una reducción de su capacidad para reterner tráfico que hasta ese momento tuviera *asegurados*.

Menos evidente era, sin embargo, la magnitud de dichas reacciones. En ambos casos, la variación será tanto más fuerte cuanto mayor sea la *aversión a la distancia* (a), pero también cuanto mayor fuera inicialmente la capacidad de atracción del puerto sobre el tráfico generado en la provincia analizada (π_{ij}). De este modo, cuanto más cautivo sea un tráfico de un puerto concreto (esto es, cuanto mayor sea su vinculación a él por la mera razón de ser el más próximo), más fuertemente reaccionará ante alteraciones en la variable que justifica su dependencia de él. Alternativamente, si un tráfico se canaliza hacia una instalación de la que no es cautivo es porque ésta resulta más atractiva para él dadas sus características, siendo su ubicación una más del conjunto de las mismas. De ahí que cualquier alteración en la distancia que separa a la provincia que lo genera de las instalaciones que podrían canalizarlo (d_{ij} o d_{ih}) tenga un efecto menor, ya que la relevancia de esta variable en el proceso de selección de las mismas es ya originalmente inferior, aun siendo muy elevada. Prueba de ello es que el valor del coeficiente que representa a la *aversión a la distancia* obteni-

do a través del modelo formulado (véase la tabla 6.6) es inferior cuando se analiza la distribución interportuaria del tráfico generado en las provincias interiores ($[a_{provincias\ interiores}(0,658) < a_{provincias\ maritimas}(1,503)]$), cuya mercancía siempre está necesariamente obligada a recorrer distancias sensiblemente superiores a las recorridas por el tráfico de las marítimas para acceder a cualquier puerto.

La cuota de mercado del puerto j en la provincia i varía pues inversamente ante alteraciones en la distancia que los separa, y lo hace conforme sea el grado de *aversión a la distancia* y la capacidad de atracción previa de dicho puerto sobre el tráfico generado en ella, según indica la expresión 6.32. Asimismo, varía directamente en respuesta a cambios en la distancia que separa a la provincia analizada de otras instalaciones alternativas (h) atendiendo, además de al valor del coeficiente a y de la cuota π_{ij} de partida, al atractivo de ambos puertos ($c_j - c_h$) y a su distancia relativa a la provincia en cuestión ($d_{ih} - d_{ij}$), según recoge la expresión 6.33.

