



Universidade da Coruña

Modelos de elección discreta aplicados al ámbito portuario

Ana Martínez-Pardo

Director:

Alfonso Orro Arcay

Directora:

Lorena García Alonso

TESIS DOCTORAL

Programa de doctorado en Ingeniería Civil

*“Todos los modelos son incorrectos,
pero algunos son útiles.”*

George Box, estadístico (1976)

Resumen

Esta investigación versa sobre elección portuaria. Analiza millones de envíos procedentes del *hinterland* de los principales puertos españoles peninsulares de contenedores.

En primer lugar, se delimita, caracteriza y compara la evolución del *hinterland* de los puertos en estudio. Se confirma la existencia de competencia interportuaria tanto gráfica como analíticamente.

Posteriormente, se estudia cómo el grado de uso de las instalaciones portuarias afecta a la cantidad de usuarios que eligen esa infraestructura. Se plantea la hipótesis de que cuanto más tráfico tiene un puerto, más atractivo resulta pero hay un umbral a partir del cual el atractivo disminuye. Se estima un modelo logit multinomial que, sin imponer restricciones *a priori*, confirma su influencia no lineal y establece el valor del umbral de saturación.

Finalmente, se calibran y validan modelos de elección discreta complejos que incluyen características habitualmente no consideradas: heterogeneidad aleatoria en las preferencias de los decisores e influencia no lineal de atributos del envío. Se comparan, en términos de su capacidad predictiva, con modelos más sencillos alcanzándose diferencias en la cuota de elección cercanas al 15%. Se concluye que el modelo logit mixto Box-Cox, que incluye ambas características, supone un ajuste significativamente mejor a los datos empleados para la calibración.

Abstract

This research focuses on port choice. Million of shipments from the hinterland of the main Spanish peninsular container ports have been analysed.

Firstly, the evolution of the hinterland of ports in the study were delimited, characterised and compared. The existence of inter-port competition was confirmed both graphically and analytically.

Secondly, how the degree of use of port facilities affects the number of users who choose that infrastructure was studied. The research raises the hypothesis the more traffic a port has, the more attractive it becomes but there is a saturation threshold beyond which the attractiveness of the port decreases. A multinomial logit model is estimated, which without establishing restrictions *a priori*, confirms its nonlinear influences and sets the threshold of saturation.

Finally, complex discrete choice models are calibrated and validate which include characteristics that are usually not considered: random heterogeneity in preferences of decision makers and non-linear influence of the shipping attributes. They are compared in terms of their ability to predict with simpler models reaching differences for the choice share close to 15 %. It concludes that the mixed logit model Box-Cox, which includes both characteristics fits to the calibration data significantly better.

Resumo

Esta investigación versa sobre elección portuaria. Analiza millóns de envíos procedentes do *hinterland* dos principais portos españois peninsulares de contedores.

Primeiro, delimítase, caracteriza e compara a evolución do *hinterland* dos portos en estudo. Confírmase a existencia de competencia interportuaria tanto gráfica como analiticamente.

Posteriormente, estúdase como o grao de uso das instalacións portuarias afecta á cantidade de usuarios que elixen esa infraestrutura. Exponse a hipótese de que canto máis tráfico ten un porto, máis atractivo resulta pero hai un límite de saturación máis aló do cal o atractivo diminúe. Estímase un modelo logit multinomial que, sen impoñer restriccións *a priori*, confirma a influencia non lineal e establece o valor do límite de saturación.

Finalmente, calíbranse e valídan modelos de elección discreta complexos que inclúen características habitualmente non consideradas: heteroxeneidade aleatoria nas preferencias dos decisores e influencia non lineal dos atributos do envío. Compáranse, en termos da súa capacidade predictiva, con modelos máis sinxelos alcanzándose diferenzas na cota de elección próximas ao 15%. Conclúese que o modelo logit mixto Box-Cox, que inclúe ambas características, supón un axuste significativamente mellor aos datos empregados para a calibración.

Índice general

| | |
|--|-------------|
| Resumen | I |
| Índice general | VII |
| Índice de figuras | IX |
| Índice de tablas | XI |
| Nomenclatura | XIII |
| Siglas | XV |
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Motivación | 1 |
| 1.2. Objetivos | 3 |
| 1.3. Estructura de la tesis | 3 |
| 1.4. Aportaciones | 4 |
| 2. Análisis del desarrollo espacial del <i>hinterland</i> portuario | 7 |
| 2.1. Introducción | 7 |
| 2.2. Marco metodológico | 9 |
| 2.3. El caso español como caso de estudio | 12 |
| 2.4. Resultados y discusión | 13 |
| 2.5. Conclusiones | 22 |
| 3. El papel del grado de uso de las instalaciones portuarias en la elección portuaria | 25 |
| 3.1. Introducción | 25 |
| 3.2. Enfoque metodológico | 28 |
| 3.3. Revisión de la literatura que analiza la elección portuaria mediante DCM | 29 |
| 3.4. Indicador del grado de uso de las instalaciones portuarias | 32 |
| 3.4.1. Análisis en categorías | 34 |
| 3.5. El modelo propuesto | 36 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.5.1. | Consideraciones generales | 36 |
| 3.5.2. | Especificación | 38 |
| 3.6. | Datos empleados | 39 |
| 3.7. | Resultados obtenidos y discusión | 42 |
| 3.8. | Conclusiones | 48 |
| 4. | Modelización de la elección portuaria considerando heterogeneidad aleatoria en las preferencias e influencia no lineal de atributos | 51 |
| 4.1. | Introducción | 51 |
| 4.2. | Revisión de la literatura que analiza la elección portuaria mediante DCM: tipos de modelos | 52 |
| 4.2.1. | Diferentes tipologías de los modelos de elección discreta | 52 |
| 4.2.2. | Tipos de modelos de elección discreta aplicados a la elección portuaria | 56 |
| 4.3. | Formulación general del modelo logit mixto Box-Cox aplicado a la elección portuaria | 59 |
| 4.4. | Especificaciones propuestas | 61 |
| 4.5. | Resultados de la estimación y discusión | 63 |
| 4.6. | Validación | 68 |
| 4.7. | Análisis de escenarios | 74 |
| 4.8. | Conclusiones | 79 |
| 5. | Conclusiones y líneas abiertas para futuras investigaciones | 81 |
| 5.1. | Conclusiones | 81 |
| 5.2. | Líneas de investigación futuras | 84 |
| | Bibliografía | 86 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| 2.1. Alcance geográfico del <i>hinterland</i> de los puertos de Algeciras y Barcelona (2000 y 2010) | 15 |
| 2.2. Alcance geográfico del <i>hinterland</i> de los puertos de Bilbao y Valencia (2000 y 2010) | 16 |
| 2.3. Mapeo entre municipios y celdas | 17 |
| 2.4. Distribución espacial de la generación del tráfico en el <i>hinterland</i> los puertos de Algeciras y Barcelona (2000 y 2010) | 18 |
| 2.5. Distribución espacial de la generación del tráfico en el <i>hinterland</i> de los puertos de Bilbao y Valencia (2000 y 2010) | 19 |
| 3.1. Grado de uso de las instalaciones portuarias vs atractivo del puerto | 26 |
| 3.2. Grúas pórtico de descarga de contenedores a pie de muelle (STS) | 33 |
| 3.3. Histogramas de <i>TC</i> diferenciados por puerto | 35 |
| 3.4. Evolución del tráfico de contenedores (en miles de TEUs) de los principales puertos peninsulares de contenedores españoles . . . | 41 |
| 3.5. Grado de uso de las instalaciones portuarias vs utilidad de los puertos en estudio | 44 |
| 3.6. Histogramas de <i>TC</i> diferenciados por puerto. Siete categorías. . | 46 |
| 3.7. Grado de uso de las instalaciones portuarias vs utilidad de los puertos en estudio. Cuatro y siete clases | 48 |
| 4.1. Contribuciones medias a la función de utilidad de las variables <i>DO</i> y <i>DD</i> transformadas (BCML) | 66 |
| 4.2. Nivel de utilización de las instalaciones portuarias vs utilidad del puerto (BCML) | 67 |

Índice de tablas

| | | |
|-------|---|----|
| 2.1. | Valores de los índices E y H | 20 |
| 2.2. | Valores de los índices E y H para los flujos de exportación . . . | 21 |
| 2.3. | Valores de los índices E y H para los flujos de importación . . . | 21 |
| 3.1. | Variables analizadas en los trabajos que estudian la elección portuaria mediante DCM | 30 |
| 3.2. | Descripción estadística de TC (TEUs/grúa). Período 2003-2011 . . . | 34 |
| 3.3. | Puertos clasificados según el grado de uso de sus instalaciones (TEUs/grúa) | 35 |
| 3.4. | Exportaciones en contenedor a países no europeos canalizados a través de los principales puertos peninsulares de contenedores españoles (total acumulado entre 2004-2012) | 40 |
| 3.5. | Estadística descriptiva de las variables DO_{nj} y DD_{nj} | 41 |
| 3.6. | Principales resultados estadísticos de los modelos MNL estimados . . . | 42 |
| 3.7. | Parámetros estimados MNL 4 | 43 |
| 3.8. | Parámetros estimados MNL 5 | 47 |
| 4.1. | Clasificación de los trabajos que analizan la elección portuaria mediante DCM (datos agregados) | 57 |
| 4.2. | Clasificación de los trabajos que analizan la elección portuaria mediante DCM (datos desagregados) | 58 |
| 4.3. | Descripción de las variables | 62 |
| 4.4. | Parámetros estimados y resumen estadístico (MNL y ML) . . . | 64 |
| 4.5. | Parámetros estimados y resumen estadístico (BCL y BCML) . . | 65 |
| 4.6. | Principales resultados estadísticos | 67 |
| 4.7. | Probabilidad media de la alternativa elegida para muestras de estimación y validación | 69 |
| 4.8. | Comparación de los valores observados con los valores predichos por los modelos MNL, ML, BC y BCML (muestra de validación) | 70 |
| 4.9. | Comparación de los valores observados con los valores predichos por los modelos MNL, ML, BC y BCML (muestras de validación adicionales) | 71 |
| 4.10. | Análisis del escenario inicial | 76 |

| | |
|---|----|
| 4.11. Análisis del escenario (A): aumento del grado de uso de las instalaciones portuarias de Valencia | 77 |
| 4.12. Análisis del escenario (B): descenso del grado de uso de las instalaciones portuarias de Valencia | 78 |

Nomenclatura

E Índice de expansión.

H Índice de Herfindahl.

s_{ip} Proporción de las subunidades espaciales generadoras de tráfico marítimo vinculadas con el puerto p que hay en la unidad i .

x_i Proporción de las subunidades espaciales de i que albergan a las empresas generadoras de flujos marítimos.

z_{ip} Proporción de tráfico marítimo de un puerto p generado en la unidad i .

U_{nj} Utilidad del puerto j para el envío n .

V_{nj} Componente observada de la utilidad para el puerto j y el envío n .

ε_{nj} Componente no observada de la utilidad (o término de error) para el puerto j y el envío n .

ASC_j Constantes específicas de la alternativa j .

β_{kj} Parámetros a estimar asociados a la variable k y el puerto j .

x_{knj} Atributos o variables observadas vinculadas con la alternativa portuaria j y el envío n .

DO_{nj} Distancia por carretera entre el puerto j y la provincia origen del envío n .

DD_{nj} Longitud de la ruta marítima entre el puerto j y el país de destino para el envío n .

$CR_j(t)$ Número de grúas STS del puerto j en el año t .

$TC_j^q(t-1)$ Categoría q del indicador del grado de uso de las instalaciones del puerto j en el año $t-1$.

P_{nj} Probabilidad de que el envío n pase por el puerto j .

SP_{nj} Probabilidad simulada de que el envío n pase por el puerto j .

C_n Conjunto de alternativas disponibles.

L_{nj} Probabilidad logit de que el envío n pase por el puerto j .

y_{nj} Variable dicotómica indicadora de la elección.

Θ Conjunto de parámetros a estimar.

$\ln \mathcal{L} \bullet LL$ Log-verosimilitud de la muestra.

$\ln \mathcal{L} \text{ final} \bullet LL(\Theta)$ Log-verosimilitud de la muestra en convergencia.

SLL Log-verosimilitud simulada de la muestra.

λ_k Exponente de la transformación de Box-Cox del atributo k .

μ_k Media del coeficiente aleatorio del atributo k .

σ_k^2 Varianza del coeficiente aleatorio del atributo k .

Siglas

BCL Modelo logit Box-Cox (*Box-Cox logit model*).

BCML Modelo logit mixto Box-Cox (*mixed logit Box-Cox*).

BIOGEME *Blerlaire Optimization toolbox for GEv Model Estimation*.

DCM Modelo de elección discreta (*discrete choice model*).

DECE Datos Estadísticos de Comercio Exterior.

DEEI Directorio de Empresas españolas Exportadoras e Importadoras.

MNL Modelo logit multinomial (*multinomial logit model*).

ML Modelo logit mixto (*mixed logit model*).

NL Modelo logit anidado (*nested logit model*).

RUM Maximización de la utilidad aleatoria (*random utility maximization*).

STS Grúas pórtico de descarga de contenedores a pie de muelle (*Ship to shore gantry cranes*).

TEUs Unidad equivalente a veinte pies (*twenty-foot equivalent unit*).

1

Introducción

1.1. Motivación

Los cambios estructurales del comercio internacional (globalización, contenedorización) afectan directamente al transporte marítimo e inciden en la planificación portuaria. Esto provoca que los puertos compitan constantemente para mantener el tráfico existente y para atraer nuevo tráfico hacia sus instalaciones.

La competencia portuaria se define en la literatura especializada como la capacidad de la que dispone un puerto para ofertar servicios de forma más eficaz y eficiente que sus competidores. Esta capacidad debe considerarse desde el punto de vista de la cadena de suministro: no sólo lo que ocurre dentro del puerto, sino también las circunstancias cambiantes en el sector marítimo (alianzas entre las principales navieras, megabuques de contenedores) y en su área de influencia terrestre (o *hinterland*) y marítima (o *foreland*) tienen impacto en el éxito de un puerto frente a sus competidores en una economía globalizada.

De esta forma, el atractivo del puerto para sus usuarios potenciales depende de circunstancias que se retroalimentan mutuamente. Su atractivo depende de las cadenas logísticas de las que forme parte. Las posibilidades de integración del puerto en una cadena logística son mayores cuanto mayor sea el volumen de tráfico atraído hacia sus instalaciones. Aquellos puertos ubicados en las regiones con mayor capacidad de generación de tráfico pueden aglutinar fácilmente un volumen de actividad importante en sus instalaciones. Este elevado nivel de actividad facilita su inclusión en las principales rutas marítimas internacionales. Los puertos mejor conectados atraen un mayor cantidad de tráfico.

Tradicionalmente se distinguen dos tipos de competencia portuaria: competencia intrapuerto (competencia entre operadores de terminales dentro de un mismo puerto) y competencia interportuaria (competencia entre puertos). Dentro de la competencia interportuaria se puede distinguir entre los puertos ubicados en diferentes regiones, que compiten por los tráficos de transbordo y los ubicados en la misma región portuaria que lo hacen, además, por el tráfico generado en su área de influencia.

Si se adopta la perspectiva de la competencia interportuaria hay una gran cantidad de factores que pueden determinar la elección portuaria, y estos son de diferente naturaleza. Por ejemplo: coste y tiempo de tránsito tanto terrestres como marítimos (esto es, ubicación respecto a los centros de producción y consumo o respecto a las principales rutas de navegación), calidad y rapidez de las operaciones portuarias, disponibilidad de infraestructuras e instalaciones adecuadas, frecuencias de las líneas comerciales. Aunque es deseable un enfoque integral que busque el óptimo global de la cadena de suministro, cada operador o actor implicado en la organización de la cadena logística tiene sus propias características y atiende a unos objetivos comerciales y logísticos particulares. La importancia de estos factores puede ser diferente para los cargadores, las compañías navieras y para los operadores de las terminales portuarias. Además algunos están bajo el control de las autoridades portuarias mientras otros dependen de los gobiernos.

En las últimas décadas, los modelos de elección discreta (*DCM, discrete choice models*) se han revelado como una de las herramientas más útiles y extendidas para el análisis de los procesos de elección entre diferentes alternativas. Los DCM resultan apropiados cuando se quiere describir, o predecir, el comportamiento de un decisor que escoge entre varias opciones. Su finalidad no es aplicarlos a una elección concreta, sino estudiar cómo afectaría un cambio en una de las variables explicativas del modelo en la probabilidad de elección de cada una de las alternativas.

La realización de encuestas a todos y cada uno de los actores para preguntar acerca de sus preferencias portuarias, queda lejos del alcance de esta tesis pero esto no impide abordar el problema. En el caso español, disponemos de los datos estadísticos de comercio exterior publicados por el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales de la Agencia Tributaria española, y el Directorio de Empresas españolas Exportadoras e Importadoras publicado por la Cámara de Comercio de España. La primera incluye las operaciones individuales de importación y exportación que se realizan entre España y el resto del mundo. La segunda, a las empresas exportadoras e importadoras que las realizan. Estos datos permiten superar algunas de las limitaciones que acompañan a los trabajos basados en encuestas y confieren al análisis una panorámica mucho más amplia, tanto en el espacio como en el tiempo, en la medida en que se dispone de todos los movimientos de mercancías. Como contrapartida, su utilización obliga a obviar

quién es el responsable de la elección del puerto, pues no figura en la base de datos empleada, lo que limita la posibilidad de realizar algunos análisis basados en características individuales del decisor. Esta falta de datos individuales ha conducido la investigación hacia el enfoque de análisis de la heterogeneidad en las preferencias de los decisores considerándola como una distribución de valores aleatorios en la población.

1.2. Objetivos

El objetivo de la presente tesis es modelizar la elección portuaria en el marco de la competencia interportuaria. Para ello se necesita identificar las variables explicativas de la elección portuaria y estudiar su influencia en el comportamiento de los agentes decisores.

Para alcanzar este objetivo general, se han perseguido tres objetivos específicos:

1. Establecer la existencia de competencia interportuaria por los envíos del *hinterland* de un conjunto de puertos.
2. Analizar cómo el grado de uso de las instalaciones portuarias afecta a la cantidad de usuarios que eligen esa infraestructura.
3. Investigar la necesidad de aplicar DCM avanzados.

1.3. Estructura de la tesis

El contenido de esta tesis está organizado en capítulos independientes. Los tres capítulos que siguen a esta introducción tienen la estructura de artículo científico, aunque se han adaptado ligeramente con el objetivo de facilitar la lectura de la tesis. Cada uno de ellos trata de responder a uno de los objetivos específicos listados en la sección anterior.

El segundo capítulo presenta el contenido del artículo: Garcia-Alonso, L., Martinez-Pardo, A., y Vallejo-Pinto, J.A. (2016). Analysis of the spatial development of the hinterland of ports: a case study. *International Journal of Shipping and Transport Logistics* Vol. 8, No.2., pp 111-128¹. Este artículo ha sido fruto de una investigación para la delimitación, caracterización y análisis de la evolución del *hinterland* portuario. Presenta una metodología gráfica y analítica que permite comparar la evolución del liderazgo de una serie de puertos competidores. La aplicación al caso práctico permite confirmar la existencia de competencia portuaria.

El tercer capítulo está basado en el artículo: Martínez-Pardo, A., Garcia-Alonso, L., y Orro, A. (2016). The role of the saturation of docksides

¹<http://doi.org/10.1504/IJSTL.2016.075007>.

hinterland in the port choice process: the Spanish case. Presentado en el *Congreso de la Asociación Internacional de Economistas Marítimos (IAME)* en Hamburgo. Esta tesis recoge una versión extendida de la comunicación que actualmente está en revisión por el *International Journal of Shipping and Transport Logistics*. En ella se estudia la influencia del grado de uso de las instalaciones portuarias en la elección portuaria. Se busca validar la hipótesis de que su influencia no es lineal, sino que cuanto más tráfico tiene un puerto, más atractivo resulta pero hay un umbral de saturación más allá del cual el atractivo del puerto disminuye. La metodología que se presenta permite validar la hipótesis sin establecer la forma *a priori*.

En el cuarto capítulo se investiga la modelización de la elección portuaria considerando heterogeneidad aleatoria en las preferencias e influencia no lineal de los atributos. Se formula, estima y valida un modelo logit mixto Box-Cox (BCML) que incluye ambas características. Se compara con otros modelos menos flexibles y se constata la importancia de tener en cuenta tanto coeficientes aleatorios como no linealidad. Las conclusiones de esta sección se recogen en la publicación Martínez-Pardo, A., Orro y García-Alonso, L. (2017). *Modelling Port choice allowing heterogeneous preferences and nonlinearity in variables*. Manuscrito actualmente en preparación.

Finalmente, se recapitulan las conclusiones y líneas de investigación que quedan abiertas a partir de los trabajos desarrollados en esta tesis. Se concluye el trabajo con la bibliografía empleada.

1.4. Aportaciones

Las principales aportaciones que se incluyen en esta tesis se sintetizan brevemente a continuación, indicando el capítulo del documento en el que se recogen:

- Base de datos para el análisis de la competencia interportuaria en España formada a partir de dos conjuntos de datos, que aunque no están relacionados por cuestiones de confidencialidad, están formados por millones de registros. Uno recoge las características de las operaciones individuales de importación y exportación que se realizan entre España y el resto del mundo. Otro contiene las características de las empresas importadoras o exportadoras que lo realizan (incluyendo su ubicación a nivel de código postal). Ambas se complementaron para esta investigación con la distancia por carretera entre el origen del intercambio comercial y el puerto, la longitud marítima de las rutas comerciales entre el puerto de origen y el puerto principal del país de destino y las características de cada puerto. La base de datos se detalla en el Capítulo 3.
- Una metodología gráfica y analítica que permite delimitar, caracterizar y analizar la evolución del *hinterland* de un grupo de puertos. Se desarrolla

en el Capítulo 2. Es una metodología general, original de esta tesis, que puede emplearse en diferentes contextos geográficos. Nótese que en estudios previos la delimitación gráfica del área de influencia de los puertos peninsulares españoles realizada a partir de los datos estadísticos de comercio exterior no permitía ir más allá del nivel provincial, ahora al tener las empresas localizadas a nivel de código postal, se puede delimitar con mucha más precisión.

- Revisión de la literatura que analiza la elección portuaria mediante DCM. En el Capítulo 3 la revisión de la literatura se centra en los atributos o variables explicativas consideradas. En el Capítulo 4 en los diferentes tipos de modelos empleados.
- Estudio de la influencia del grado de uso de las instalaciones portuarias en la elección portuaria de los principales puertos españoles peninsulares de contenedores. Para ello, en el Capítulo 3 se pone a prueba la siguiente hipótesis: cuanto más tráfico tiene un puerto, más atractivo resulta pero hay un umbral de saturación más allá del cual el atractivo del puerto disminuye. El enfoque con el que se plantea la prueba de la hipótesis permite obtener la forma funcional de la relación entre el nivel de uso y el atractivo portuario sin fijarlo *a priori*. Es un enfoque original de esta tesis particularizado para un indicador definido en base al tráfico de contenedores movidos por las grúas pórtico de descarga de contenedores a pie de muelle (STS). Se puede aplicar a cualquier otro indicador de productividad portuaria que encaje en el enfoque.
- En el Capítulo 4 se ponen de relieve dos características del comportamiento de la elección portuaria habitualmente no consideradas: la existencia de un comportamiento heterogéneo entre todos los agentes decisores así como una influencia no lineal de los atributos en la elección. Se propone el uso de modelos flexibles que permitan considerar heterogeneidad en las preferencias mediante el uso de coeficientes aleatorios y el uso de la transformada Box-Cox para obtener la forma funcional de la influencia no lineal de los atributos sin necesidad de establecerla *a priori*. Se presenta la formulación general del modelo logit mixto Box-Cox (*Box-Cox mixed logit*, BCML) particularizada para el marco de la elección portuaria.
- Análisis de la elección portuaria con datos desagregados mediante cuatro tipos de DCM diferentes estimados por el método de máxima verosimilitud. En el Capítulo 4 se detallan las especificaciones de: un modelo poco flexible (logit multinomial), un modelo con coeficientes aleatorios (logit mixto), un modelo con transformación Box-Cox en los atributos (logit Box-Cox) y uno que combina ambas (BCML). Los modelos calibrados se comparan entre sí con diferentes test estadísticos e índices de bondad de ajuste.
- Validación de los modelos (Capítulo 4). Se detalla la metodología para verificar que los modelos arrojan predicciones consistentes con los datos y

no están sobre-especificados. Se emplean muestras de validación no usadas para la calibración de los modelos.

- Estudio de las diferencias en las capacidades predictivas de los modelos. En el Capítulo 4 se proponen seis escenarios hipotéticos diferenciados a nivel de envío y se comparan las diferentes predicciones de elección portuaria ante un cambio en el grado de uso de las instalaciones portuarias. Se pone de manifiesto que la elección de diferentes enfoques de modelización supone en la práctica llegar a predicciones significativamente diferentes.

2

Análisis del desarrollo espacial del *hinterland* portuario

Este capítulo está basado en el artículo:

García-Alonso, L., Martínez-Pardo, A., y Vallejo-Pinto, J.A. (2016). Analysis of the spatial development of the *hinterland* of ports: a case study. *International Journal of Shipping and Transport Logistics* Vol. 8, No.2., pp 111-128. <http://doi.org/10.1504/IJSTL.2016.075007>.

2.1. Introducción

La evolución de la investigación en el ámbito portuario ha sido revisada por diversos autores, véase especialmente Pallis, Vitsounis, y De Langen (2010); Pallis y Vitsounis (2011); Woo, Pettit, Kwak, y Beresford (2011). Un análisis de estos trabajos permite concluir que, a pesar del hecho de que tanto el origen como el destino de los flujos marítimos están en lado tierra, el problema de la evolución geográfica del *hinterland* portuario ha sido menos estudiado que otros temas (véase, por ejemplo: Cullinane y Wilmsmeier, 2011; Monios, 2011; Guerrero, 2014).

Existe cierto consenso entre algunos investigadores acerca de que la competencia por el tráfico está teniendo lugar entre las cadenas de transporte o cadenas multimodales; pero también hay autores que defienden que cada puerto pertenece a un sistema local y, por lo tanto, su actividad está ligada a

su entorno económico, social y político (Bichou y Gray, 2005; Yap y Lam, 2006); especialmente cuando hay grandes centros de producción o consumo en los alrededores de las instalaciones portuarias (Notteboom, 2010). En 1994, Fleming y Hayuth fueron pioneros en reconocer la relevancia del *hinterland* en la actividad portuaria a pesar del proceso de contenedorización. Aun así, hasta la segunda mitad de la década pasada, el interés por el área de influencia portuaria tuvo escasa presencia en la literatura. A partir de entonces, el *hinterland* y la distribución del tráfico interior son temas con una presencia creciente en la literatura académica.

Notteboom (2006) destaca la importancia de la distribución interior del flujo de mercancías en el servicio de transporte marítimo e, incluso, en el proceso de globalización; Rodrigue y Notteboom (2006) señalan que la actividad de un puerto está directamente relacionada con la dinámica de los centros de consumo y producción a los que está vinculada; Notteboom y Rodrigue (2007) afirman que hoy en día uno de los mayores retos del transporte marítimo radica en el *hinterland* de los puertos y en cómo encaja dentro de la cadena de suministro. Además, sugieren que el *hinterland* de los puertos debe ser visto como un lugar dinámico donde evolucionan los elementos macroeconómicos, físicos y logísticos (véase también Ferrari, Parola, y Gattorna, 2011). De igual forma, Rodrigue y Guan (2009) observan cómo la capacidad de los corredores terrestres y la existencia de terminales interiores, condicionan la competencia por el tráfico terrestre. En este contexto, Van den Berg y De Langen (2011) y Wilmsmeier, Monios, y Lambert (2011) sostienen que la forma en que cada puerto afronta la competencia por el *hinterland* puede ser un factor determinante para su elección.

Este renovado interés por lo que está sucediendo con el tráfico marítimo en el *hinterland* ha sido reforzado por Notteboom y Rodrigue al introducir un nuevo concepto: *la regionalización del puerto*. La regionalización sería una nueva fase en el desarrollo de los sistemas portuarios; un paso más allá en los modelos espaciales previos, que aumenta la zona de influencia más allá del perímetro del puerto¹. Esta propuesta, que no ha carecido de cierta controversia (véase Rodrigue y Notteboom, 2010; Monios y Wilmsmeier, 2012), ha servido para confirmar que los puertos son piezas clave de la cadena de suministro, y que, para una mejor comprensión de la evolución de la actividad portuaria, es necesario tener en cuenta tanto el lado terrestre como el marítimo (véase por ejemplo Garcia-Alonso y Sanchez-Soriano, 2009; Roso, Woxenius, y Lumsden, 2009). Por lo tanto, y tal y como Gouveral, Rodrigue, y Slack (2012) afirman: “el *hinterland* continúa desempeñando un papel determinante en el desarrollo de los puertos de contenedores”.

La mejora lograda en los servicios de transporte favoreció el movimiento de mercancías de tal forma que el concepto de *hinterland* ha evolucionado profundamente. Así, el concepto de *hinterland* debe entenderse como “el área

¹ Para una revisión de la teoría sobre modelos de desarrollo portuario véase por ejemplo Notteboom y Rodrigue (2005); Rodrigue y Notteboom (2006); Ferrari *et al.* (2011).

que se puede alcanzar a un coste más bajo o un tiempo más corto que desde otro puerto” (Wilmsmeier *et al.*, 2011). Hoy en día, muchos puertos compiten en las mismas áreas de mercado y sus áreas de influencia pueden solaparse. Las fronteras tradicionales se están desdibujando y el *hinterland* se está convirtiendo en discontinuo debido a la formación de islas más allá de los alrededores de las instalaciones portuarias (Ferrari *et al.*, 2011).

En este contexto, la mejora de los vínculos entre el puerto y su *hinterland* es esencial para el éxito portuario. Uno de los principales elementos a considerar son las terminales interiores, también conocidas como puertos secos. Las terminales interiores juegan un papel fundamental en la cadena logística porque sirven como enlaces para el transporte de mercancías, favoreciendo la aparición de corredores de transporte y ampliando el *hinterland* tradicional de los puertos².

A pesar de todo lo expuesto, existe una carencia de investigación empírica sobre la evolución de la distribución espacial del *hinterland* portuario. Este tipo de análisis es necesario para evaluar el impacto de estrategias que afectan a la distribución del tráfico entre los puertos; por ejemplo, la inversión en infraestructuras terrestres o la construcción de una nueva terminal interior (Van den Berg y De Langen, 2011).

Además de una metodología gráfica que permite visualizar la evolución del *hinterland* de los puertos en estudio. En este capítulo se presenta una propuesta metodológica analítica consistente en el uso de dos índices: uno para cuantificar la extensión del *hinterland* y otro para reflejar la homogeneidad del mismo. Su uso permite evaluar y comparar el desarrollo espacial del *hinterland* de un grupo de puertos. Para mostrar la utilidad de los índices propuestos, se aplica al caso de estudio español.

El resto del capítulo está estructurado en 4 secciones. En la Sección 2.2 se encuentra el marco metodológico. La Sección 2.3 presenta los datos utilizados para delimitar, caracterizar y analizar el *hinterland* de los puertos incluidos en el caso de estudio español. La Sección 2.4 muestra los principales resultados obtenidos. Las conclusiones y el debate que se derivan directamente de esta sección se recogen en la Sección 2.5.

2.2. Marco metodológico

El diseño de estrategias eficientes de regionalización no es posible si no se dispone de información adecuada acerca de la evolución de los flujos de mercancías. Esta información debe incluir: la identificación de las zonas en las que se genera el tráfico, su relevancia para el conjunto de la actividad portuaria

² Algunos trabajos en esta materia son: Rodrigue, Debie, Fremont, y Gouveral (2010); Roso y Lumsden (2010); Monios (2011); Van den Berg y De Langen (2011); Wilmsmeier *et al.* (2011); Monios y Wilmsmeier (2012, 2013); Witte, Wiegman, van Oort, y Spit (2014).

y el *hinterland* portuario al que pertenece. Pero igual de importante es poder disponer de una herramienta capaz de sintetizar toda la información y que permita hacer comparaciones entre puertos. Para ello esta investigación propone el uso de dos índices: uno se centra en el análisis del alcance espacial y otro, en la distribución de la generación del área de influencia de los puertos.

Una de las herramientas más utilizadas para explicar la distribución espacial de una variable económica ha sido el cociente de Gini. El cociente de Gini es una medida de desigualdad generalmente representado por la curva de Lorenz. Puesto que revela la existencia de concentración, también se usa como un índice de medida de concentración primaria (véase por ejemplo Cassey y Smith, 2014). En el ámbito portuario, T. E. Notteboom (2006) lo aplicó para realizar un análisis sobre los sistemas portuarios de América y Europa³.

En esta investigación, para medir el alcance espacial, se realiza una normalización de la medida de concentración primaria o índice de Gini. Para medir la distribución espacial de la generación del área de influencia de los puertos o la dependencia espacial, se propone el uso del índice de Herfindahl (Herfindahl, 1950). Concretamente, los dos índices propuestos son:

Índice de expansión (E): evalúa el grado en que la distribución espacial del *hinterland* del puerto difiere de la que se esperaría en el caso de que todas las subunidades espaciales que contribuyen a la generación de tráfico estuvieran vinculadas al puerto.

Índice de Herfindahl (H): evalúa el grado en que el tráfico marítimo generado en el *hinterland* está homogéneamente distribuido; es decir, si todas las unidades vinculadas al puerto tienen una cuota similar.

Para definir estos índices se utilizan dos referencias espaciales: la unidad y la subunidad. Ambas deben dividir todo el territorio bajo análisis de la forma más homogénea posible. La unidad espacial puede ser la provincia, la región o cualquier otra demarcación territorial alternativa. Las subunidades espaciales pueden ser municipios, códigos postales o censales, zonas de transporte, sistemas laborales locales o cualquier otra referencia espacial en la que pueda dividirse el territorio considerado.

Se considera que una unidad está vinculada a un puerto si canaliza todo o una parte importante de su tráfico marítimo a través de él. Se considera que una subunidad genera flujo de comercio si hay al menos una empresa importadora o exportadora establecida en ella.

Estos índices se definen para cada puerto p en las Ecuaciones (2.1) y (2.2), siendo Q el número de unidades espaciales i vinculadas al puerto p y R el número

³ Consúltense Leal, Notteboom, y Sanchez (2011) para una lista de los trabajos en los que se ha utilizado el índice de Gini para medir la concentración del tráfico portuario.

total de unidades espaciales i consideradas ($i = \{1, 2, \dots, Q \leq R\}$).

$$E_p = \frac{\sum_{i=1}^Q (s_{ip} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^Q s_{ip}^2 + \sum_{i=1}^R x_i^2} \quad (2.1)$$

$$H_p = \sum_{i=1}^Q z_{ip}^2 \quad (2.2)$$

siendo:

- s_{ip} : la proporción de las subunidades espaciales generadoras de tráfico marítimo vinculadas con el puerto p que hay en la unidad i . Se calcula dividiendo el número de subunidades de la unidad i en las que se ubican empresas vinculadas con el puerto p entre el número total de subunidades espaciales que canalizan su tráfico a través del puerto p .
- x_i : la proporción de las subunidades espaciales de i que albergan a las empresas generadoras de flujos marítimos. Se determina dividiendo el número de subunidades de la unidad i sobre el total de las subunidades espaciales que generan el tráfico marítimo. Nótese que no depende de p .
- z_{ip} : la proporción de tráfico marítimo de un puerto p generado en la unidad i . Se obtiene dividiendo el tráfico marítimo de la unidad i entre el total generado por todas las unidades i vinculadas con p .

Ambos índices pueden tomar valores comprendidos en el intervalo $(0, 1)$. En ambos casos, los valores cercanos a uno reflejan un nivel de concentración elevado: una concentración espacial de las subunidades vinculadas al puerto p (índice E) o un alto nivel de dependencia del puerto p de una o varias unidades generadoras de tráfico marítimo (índice H). Es decir, cuanto mayor sea el valor de E , menor será la extensión del *hinterland* del puerto. Del mismo modo, cuanto mayor sea el valor de H , mayor será la concentración espacial de la generación de tráfico dentro de cada *hinterland*. Si E es cercano a cero y H es elevado, el puerto puede atraer tráfico desde prácticamente todos los puntos donde se genera, pero una cantidad significativa de su tráfico se genera en un área reducida dentro de las fronteras del *hinterland*. Finalmente cuando tanto E como H tienden a cero, se podría decir que, desde un punto de vista espacial, el *hinterland* del puerto es lo más amplio posible y su tráfico se genera homogéneamente dentro de sus fronteras.

Por lo tanto, al combinar ambos índices es posible evaluar dos cuestiones complementarias relativas a la distribución de la actividad portuaria en el *hinterland*: i) la extensión geográfica relativa del *hinterland* de cada puerto (E) y ii) la homogeneidad de la generación de tráfico dentro de ellos (H). Esto implica, en primer lugar, que es posible delimitar y comparar el área de cada *hinterland*

portuario teniendo en cuenta las unidades y subunidades espaciales donde se genera su tráfico. Y en segundo lugar, es posible caracterizar el *hinterland* al saber si esa zona corresponde a su *hinterland* relevante (el área donde se genera la mayor cantidad de tráfico del puerto).

2.3. El caso español como caso de estudio

Se analiza la evolución del *hinterland* de los principales puertos peninsulares españoles durante la década pasada. Estos puertos son Algeciras, Barcelona, Bilbao y Valencia. Juntos movieron más de tres cuartas partes del tráfico nacional de contenedores, tanto al inicio como al final del período analizado (77% en 2000 y 80% en 2010). El tráfico de contenedores creció en España un 107% durante el periodo analizado. Este crecimiento se distribuyó de forma desigual entre los cuatro puertos. Los extremos fueron el 30% en Bilbao y el 247% en Valencia. En consecuencia, la cuota de este último puerto en el tráfico de contenedores pasó del 21% en 2000 al 35,4% en 2010, mientras que la de Bilbao disminuyó del 6,5% al 4%. El tráfico de contenedores en Barcelona y Algeciras aumentó un 48% y un 77% respectivamente. Como consecuencia, los puertos de Barcelona y Bilbao mantuvieron las mismas posiciones en todo el período (tercera y cuarta, respectivamente); pero Valencia superó a Algeciras al final del periodo colocándose en primera posición. Estas cifras de tráfico, proporcionadas por Puertos del Estado (Ente público Puertos del Estado, 2016), se refieren a todo el tráfico de contenedores gestionado por el sistema portuario español. Por lo tanto, incluyen tanto flujos nacionales como extranjeros. En cuanto a la naturaleza de sus tráficos, en el caso español, se explica en gran parte por su localización Monios (2011): el tráfico de Bilbao es principalmente de corta distancia o alimentador de instalaciones del norte de Europa; Algeciras es en su mayoría de transbordo. Los puertos de Barcelona y Valencia se encuentran en la zona geográfica donde la actividad comercial española es más fuerte. Por lo tanto, añaden flujos nacionales al tráfico de transbordo en mayor proporción que el resto. Además, su ubicación es cercana y en la misma línea costera, por lo que compiten intensamente entre sí y sus áreas de influencia pueden superponerse con mayor facilidad (García-Alonso y Sánchez-Soriano, 2010).

Para analizar la evolución de la distribución del *hinterland* de cada uno de ellos, se han utilizado dos fuentes nacionales de datos: los Datos Estadísticos de Comercio Exterior (DECE, Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales, 2000-2010), y el Directorio de Empresas españolas Exportadoras e Importadoras (DEEI, Consejo Superior de Cámaras de Comercio, 2000-2010).

Los flujos de tráfico analizados, tanto de exportación como de importación, se limitan a los vinculados con cada una de las 47 provincias peninsulares españolas. Eso significa que, a pesar de ser conscientes de que el *hinterland* de los puertos puede trascender las fronteras nacionales, el tráfico generado fuera de las fronteras

españolas se ignora. La razón principal es la falta de los datos de Francia y Portugal. Sin embargo, los resultados de este trabajo son válidos para valorar el impacto de estrategias que afecten a la distribución interior del tráfico marítimo nacional de mercancías. Es decir, si se compara la evolución del *hinterland* dentro de las fronteras españolas se puede estudiar, por ejemplo, la eficacia de la implantación de servicios de apoyo logístico a la actividad exterior de las empresas nacionales y el papel de los puertos en dicha actividad. Pero, si el objetivo final del estudio fuera el análisis de políticas más globales, por ejemplo a nivel europeo, sería necesario contar con tales datos. En ese caso los índices y su definición serían siendo igualmente válidos.

DECE proporciona información sobre el volumen, la composición, el origen o destino provincial de los flujos de comercio exterior a lo largo del tiempo. Así, la provincia se convierte en la unidad de referencia espacial para este análisis. Esta información se combina con los datos del DEEI, que permite identificar y localizar, dentro de cada provincia, las empresas que generan los flujos de exportación o importación de mercancías cada año. DEEI contiene información sobre el municipio y el código postal donde se encuentra cada empresa; cualquiera de esas delimitaciones espaciales podría servir como subunidad. Un inconveniente del DEEI es que no incluye información sobre el valor y volumen de la carga generada por cada empresa. En consecuencia, no es posible calcular la participación de cada empresa en los flujos de comercio. Por lo tanto, la magnitud de los flujos que definen el *hinterland* de los puertos únicamente pueden conocerse a nivel provincial. DECE ya se utilizó para realizar una primera aproximación a los límites del *hinterland* de los puertos en otros trabajos (García-Alonso y Sánchez-Soriano, 2009, 2010). Ahora, este nuevo enfoque (DECE+DEEI) permite delimitar el *hinterland* de los puertos de manera mucho más precisa pues se conoce el origen de la generación del tráfico dentro de cada provincia. En consecuencia, es posible comparar con más exactitud el *hinterland* de los diferentes puertos desde la perspectiva geográfica.

En este trabajo se limita el análisis a las empresas cuyo comercio exterior está vinculado al continente americano o a los países asiáticos. La razón es que DEEI no incluye información sobre el modo de transporte utilizado. Al limitar la investigación a esos destinos, se asegura que la mayor parte del transporte se realice por vía marítima. A pesar de esta restricción, se analiza una gran parte de las empresas exportadoras o importadoras. Por ejemplo, para el último año del período estudiado, 2010, casi el 70% de las empresas incluidas en DEEI realizaron un intercambio comercial con países de América o de Asia.

2.4. Resultados y discusión

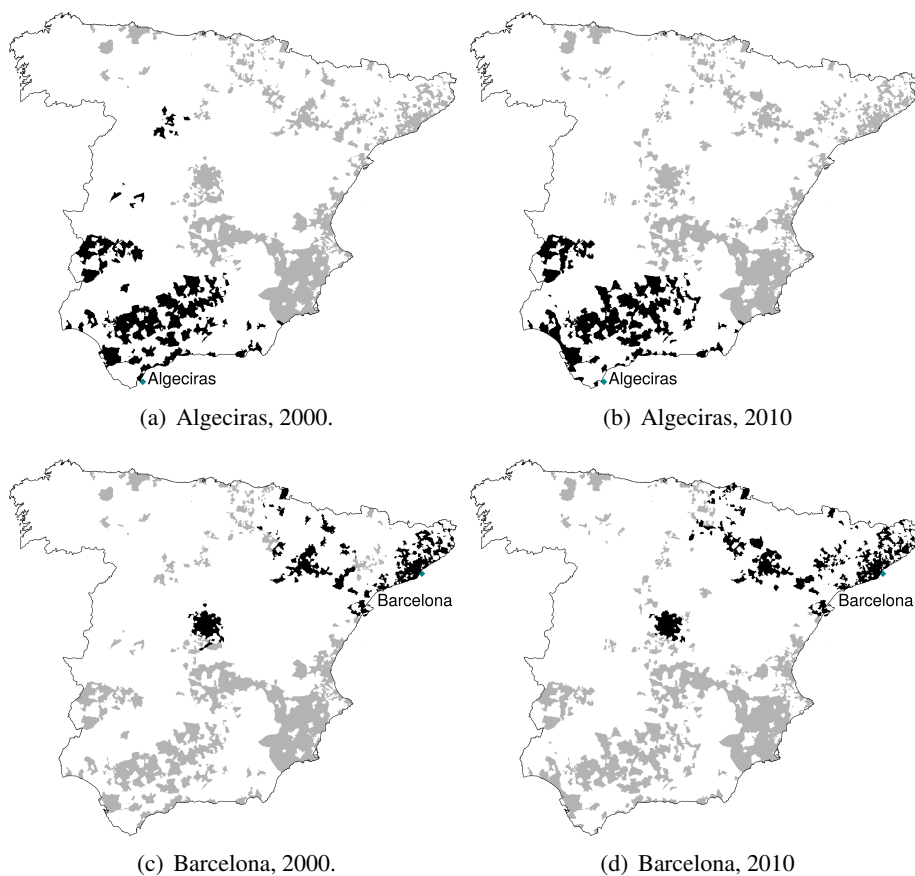
En la Figuras 2.1 y 2.2 se recoge la evolución geográfica del *hinterland* de los principales puertos españoles peninsulares de contenedores para 2000 y

2010. En cada mapa se superpone el origen del tráfico del puerto correspondiente (*hinterland real*, en negro) sobre el área total que genera el tráfico marítimo de los cuatro puertos en estudio (*hinterland potencial*, en gris)⁴. Con el fin de obtener una vista más limpia, se representan los municipios pertenecientes a las provincias que generan flujos hasta alcanzar el 95 % de todo el tráfico que se canaliza por cada uno de los cuatro puertos. Observando por filas, se puede ver la evolución del *hinterland* con el paso del tiempo. Aparentemente, el *hinterland* de Barcelona y Valencia ha aumentado, mientras que el de Bilbao ha disminuido. Con respecto al de Algeciras es difícil concluir algo sobre la evolución del mismo durante este período. Esta dificultad para concluir algo con certeza radica en que el *hinterland* potencial ha variado notablemente con el paso de los años y es complicado establecer comparaciones. Observando ambas figuras por columnas, se puede observar cómo en ambos años Algeciras tenía el *hinterland* más pequeño, Valencia tenía el más grande, y el de Barcelona y Bilbao era similar. Sin embargo, surgen dos preguntas: ¿cuánto más pequeños, grandes o similares son sus áreas de influencia?, ¿cuáles han aumentado o disminuido más?

Para responder a esas preguntas se necesita una herramienta capaz de cuantificar el alcance relativo del *hinterland* de los puertos, tanto para evaluar su propia evolución como para hacer comparaciones entre ellos. Se propone que el *índice de expansión (E)*, definido en la sección anterior (véase la Ecuación (2.1)) sea tal herramienta. Para dibujar las Figuras 2.1 y 2.2, se tuvieron en cuenta los municipios donde se ubican las empresas, pero para calcular el índice necesitamos un enfoque diferente. La precisión del índice *E* depende de la homogeneidad del tamaño espacial de las subunidades. Cuando los municipios se definen desde una perspectiva administrativa, su tamaño puede ser muy heterogéneo y distorsionar el valor del índice. En la Figura 2.3, donde los puntos representan la ubicación de los centroides municipales, se puede observar el desequilibrio en el tamaño de los municipios: son particularmente extensos en las zonas noroeste y sur, mientras que otras zonas están atomizadas, por ejemplo, la costa norte mediterránea o en el norte central peninsular. Esto significa que su tamaño relativo es muy diferente y por lo tanto, utilizarlos como subunidades espaciales podría distorsionar el valor del índice *E*. Para resolver este problema, se utilizaron como unidades espaciales las cuadrículas definidas en el Mapa Nacional Topográfico del Instituto Geográfico Nacional de España a escala 1:50.000 (MTN50) (Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2014). El mapeo entre municipios (7969) y celdas (1050) se realizó a través de la ubicación del centroide municipal.

El contorno del *hinterland* de cada puerto se puede ver en las Figuras 2.1 y 2.2, pero a partir de estos mapas no es posible saber si hay una concentración espacial en la generación del tráfico de cada puerto. Este hecho se puede apreciar en las Figuras 2.4 y 2.5; los mapas resaltan la proporción de cada zona en la generación

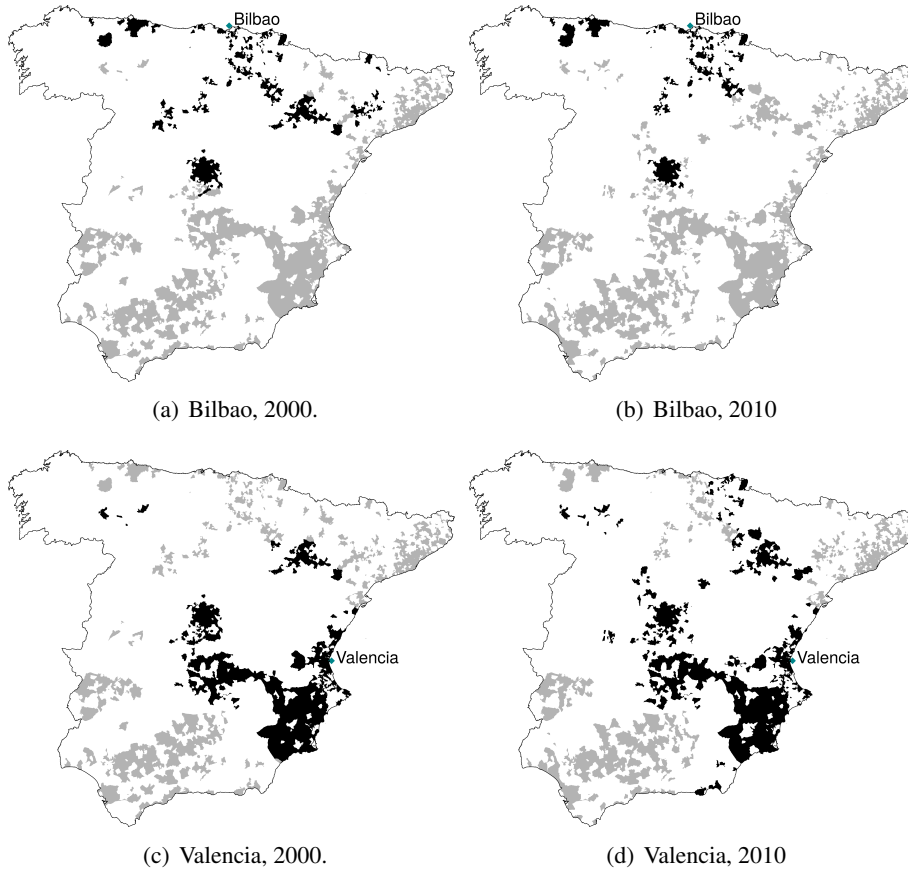
⁴ Nótese que el *hinterland* potencial es el mismo para los cuatro puertos cada año, aunque distinto año a año.



Gris, hinterland potencial.
Negro, hinterland real.

Figura 2.1. Alcance geográfico del *hinterland* de los puertos de Algeciras y Barcelona (2000 y 2010)

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por el Consejo Superior de Cámaras de Comercio (2014) y el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014).



Gris, *hinterland* potencial.

Negro, *hinterland* real.

Figura 2.2. Alcance geográfico del *hinterland* de los puertos de Bilbao y Valencia (2000 y 2010)

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por el Consejo Superior de Cámaras de Comercio (2014) y el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014).

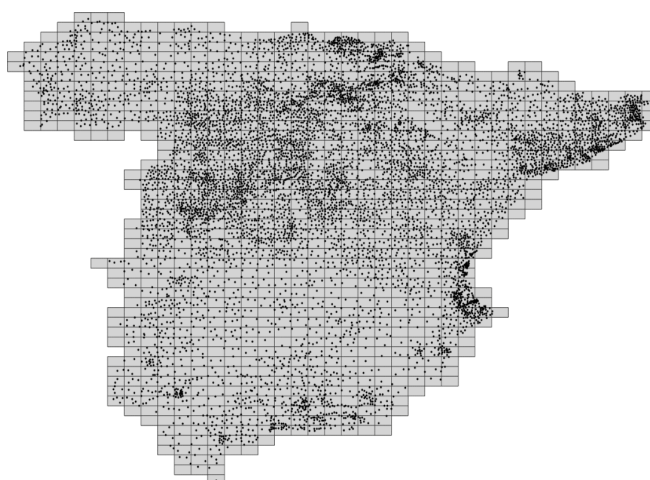


Figura 2.3. Mapeo entre municipios y celdas

Fuente: Elaboración propia a partir de las cuadrículas definidas en el Mapa Nacional Topográfico del Instituto Geográfico Nacional de España Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (2014).

de tráfico del *hinterland* correspondiente (cuanto más oscura sea la zona, mayor será la cantidad de tráfico generado). En este punto, surgen dos nuevas preguntas: ¿cómo ha evolucionado la dependencia espacial de un puerto? ¿podemos realizar una clasificación jerarquizada de los puertos según su dependencia espacial? Una vez más, se necesita una herramienta para resolver estas preguntas. El *índice de Herfindahl (H)* definido en la sección anterior (véase la Ecuación (2.2)), permite responder a esas preguntas.

Las Figuras 2.4 y 2.5 muestran un hecho esperado: la mayor cantidad de tráfico para cada puerto proviene de su entorno geográfico más proximo (Bichou y Gray, 2005; Yap y Lam, 2006). Pero también muestran otro hecho importante: el grado de dependencia en el entorno más cercano varía: i) dependiendo del puerto (Barcelona vs Bilbao) y ii) con el paso del tiempo (Valencia). Además, tal y como destacan Ferrari *et al.* (2011) y Wilmsmeier *et al.* (2011), se puede ver como los intercambios comerciales no siempre se realizan desde las instalaciones más cercanas. Los mapas muestran que es el caso de la mayoría de los flujos, pero hay claras excepciones. Estas excepciones también pueden variar en el tiempo, modificando las fronteras del *hinterland* de los puertos, como ha sido descrito por Ferrari *et al.*, 2011. Por ejemplo, en los mapas se observa como la zona geográfica en torno a Zaragoza se ha ampliado y se ha reforzado su participación en los flujos comerciales. Es precisamente allí donde se ubica la mayor terminal interior española (véase Monios y Wilmsmeier (2012) para más información sobre este tema). En los mapas puede observarse también como en el año 2000, el *hinterland*

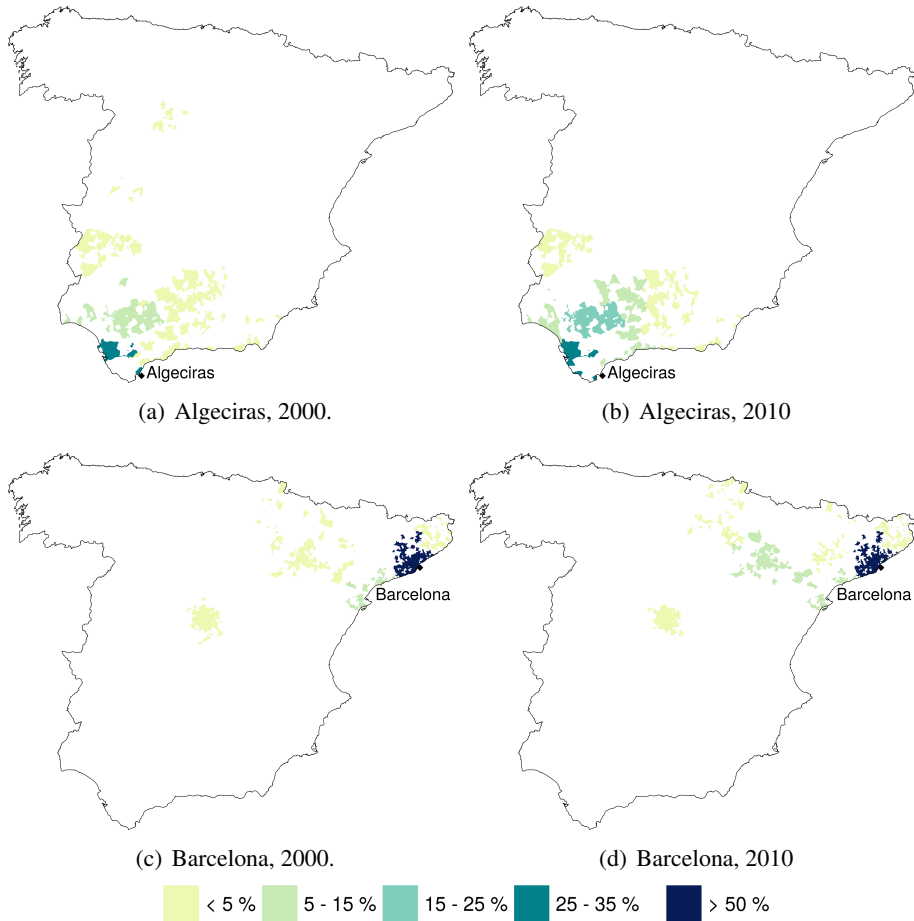


Figura 2.4. Distribución espacial de la generación del tráfico en el *hinterland* los puertos de Algeciras y Barcelona (2000 y 2010)

Nota: Los colores indican las diferentes proporciones que cada provincia aporta a la generación del tráfico del *hinterland* de cada uno de los puertos.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por el Consejo Superior de Cámaras de Comercio (2014) y el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014).

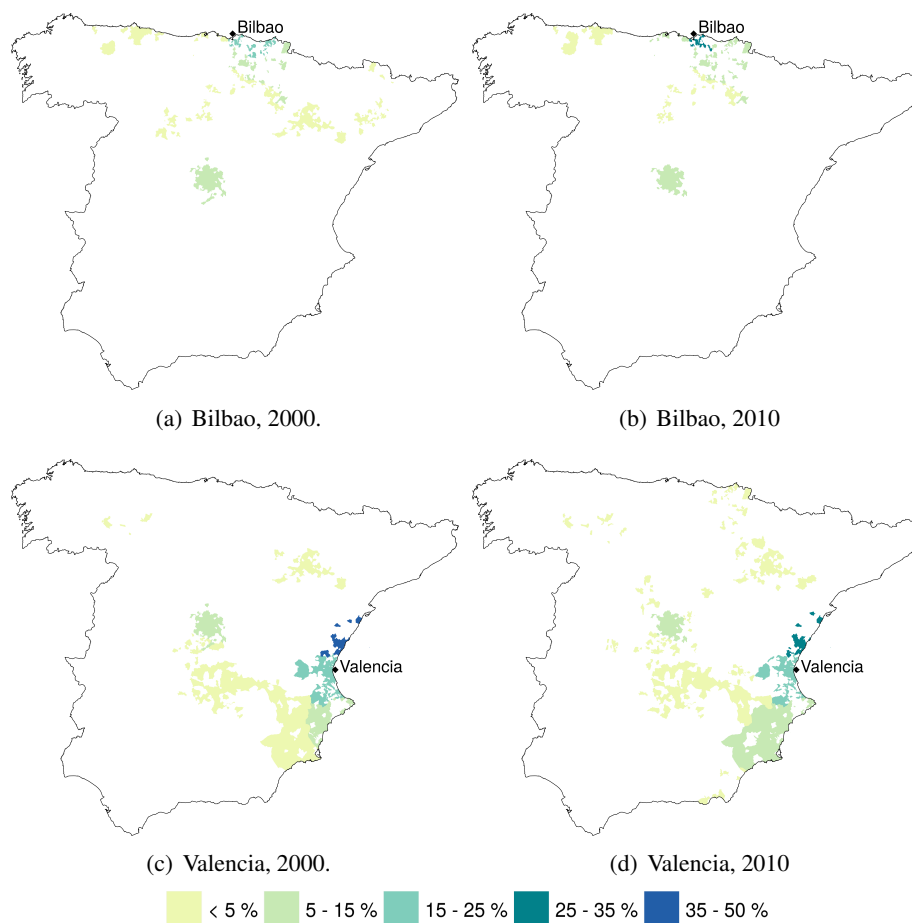


Figura 2.5. Distribución espacial de la generación del tráfico en el *hinterland* de los puertos de Bilbao y Valencia (2000 y 2010)

Nota: Los colores indican las diferentes proporciones que cada provincia aporta a la generación del tráfico del hinterland de cada uno de los puertos.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por el Consejo Superior de Cámaras de Comercio (2014) y el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014).

de los puertos de Barcelona, Bilbao y Valencia se solapa. Diez años más tarde, toda la zona fue capturada solamente por los puertos de Barcelona y Valencia.

En la Tabla 2.1 se muestran los valores de los índices E y H para el caso de estudio en los años 2000 y 2010. Se puede observar cómo el puerto de Algeciras ha experimentado desde el inicio del período tanto un aumento del alcance geográfico de su *hinterland* ($\Delta E_{2000-2010} = -0,012$) como un aumento de homogeneidad con respecto al origen espacial de su tráfico. Es decir, la generación de tráfico está menos concentrada espacialmente ($\Delta H_{2000-2010} = -0,077$). El puerto de Barcelona también ha reducido su nivel de dependencia espacial ($\Delta H_{2000-2010} = -0,102$) pero ha experimentado una ligera reducción en el alcance de su *hinterland* ($\Delta E_{2000-2010} = 0,024$). Lo mismo ha ocurrido con el puerto de Bilbao, cuyo alcance terrestre relativo se ha reducido ($\Delta E_{2000-2010} = 0,119$) pero cuyo nivel de dependencia espacial ha aumentado ($\Delta H_{2000-2010} = 0,009$). Sin embargo, el *hinterland* de Bilbao tiene un nivel mucho mayor de homogeneidad en la generación de tráfico: es el más compacto en este sentido, tanto al principio como al final del período. Por último, el alcance geográfico del *hinterland* del puerto de Valencia es mayor a finales de la década ($\Delta E_{2000-2010} = -0,037$). Además, ha aumentado su homogeneidad en la generación de tráfico ($\Delta H_{2000-2010} = -0,104$).

Tabla 2.1

Valores de los índices E y H

| | E | | | H | | |
|-----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| | 2000 | 2010 | Δ | 2000 | 2010 | Δ |
| Algeciras | 0.650 | 0.638 | -0.012 | 0.238 | 0.161 | -0.077 |
| Barcelona | 0.394 | 0.418 | 0.024 | 0.562 | 0.460 | -0.102 |
| Bilbao | 0.477 | 0.596 | 0.119 | 0.135 | 0.144 | 0.009 |
| Valencia | 0.160 | 0.123 | -0.037 | 0.267 | 0.163 | -0.104 |

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por el Consejo Superior de Cámaras de Comercio (2014) y el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014).

Estos resultados permiten concluir que el puerto de Valencia tiene el *hinterland* más extenso de los puertos analizados (el valor más bajo de E) y que además, ha evolucionado en la dirección correcta. A finales de la década, este puerto era el que más extendió y diversificó su área de influencia (valor más bajo de ΔE y de ΔH). Así, se puede concluir que el *hinterland* del puerto de Valencia ha experimentado un desarrollo espacial más amplio y mejor equilibrado que el resto de puertos analizados desde 2000 hasta 2010.

Los resultados anteriores se obtuvieron teniendo en cuenta todo el tráfico marítimo de contenedores derivado del comercio exterior de las empresas situadas

dentro de la España peninsular. Sin embargo, se sabe que el *hinterland* portuario puede variar según el sentido del flujo, ya que el impacto de la distancia varía dependiendo de la naturaleza exportadora o importadora de la mercancía (Guerrero, 2014). Como primera aproximación a este tema, el análisis se repite distinguiendo entre importaciones y exportaciones. Los resultados obtenidos para los índices se muestran en las Tablas 2.2 y 2.3.

Tabla 2.2

Valores de los índices *E* y *H* para los flujos de exportación

| | E | | | H | | |
|-----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| | 2000 | 2010 | Δ | 2000 | 2010 | Δ |
| Algeciras | 0.666 | 0.666 | 0.000 | 0.343 | 0.214 | -0.129 |
| Barcelona | 0.426 | 0.421 | -0.005 | 0.472 | 0.415 | -0.057 |
| Bilbao | 0.401 | 0.582 | 0.181 | 0.115 | 0.126 | 0.011 |
| Valencia | 0.199 | 0.161 | -0.038 | 0.430 | 0.204 | -0.226 |

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por el Consejo Superior de Cámaras de Comercio (2014) y el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014).

Tabla 2.3

Valores de los índices *E* y *H* para los flujos de importación

| | E | | | H | | |
|-----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|
| | 2000 | 2010 | Δ | 2000 | 2010 | Δ |
| Algeciras | 0.568 | 0.598 | 0.030 | 0.123 | 0.128 | 0.005 |
| Barcelona | 0.351 | 0.350 | -0.001 | 0.671 | 0.520 | -0.151 |
| Bilbao | 0.543 | 0.677 | 0.134 | 0.195 | 0.210 | 0.015 |
| Valencia | 0.107 | 0.126 | 0.019 | 0.215 | 0.191 | -0.024 |

Fuente: Elaboración propia en base a los datos proporcionados por el Consejo Superior de Cámaras de Comercio (2014) y el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014).

En términos generales, la evolución de ambos índices (*E* y *H*) cuando se discrimina entre exportaciones e importaciones es similar a la observada cuando se consideran conjuntamente: el *hinterland* del puerto de Valencia ha experimentado el mejor desarrollo, mientras que el del puerto de Bilbao ha disminuido simultáneamente su alcance y homogeneidad en la generación de tráfico dentro de sus fronteras. Sin embargo, se puede apreciar que el área de influencia de los puertos de Algeciras, Barcelona y Valencia es relativamente

más amplia para las importaciones que para las exportaciones (mayor valor del Índice E). Además, la evolución del área de influencia del puerto de Valencia ha variado al considerar los flujos de exportación o importación. Si observamos la Tabla 2.2 (exportaciones) vemos como se ha expandido mientras que la Tabla 2.3 (importaciones) muestra que se ha contraído. La proporción de los flujos dentro del tráfico total también es diferente. Por consiguiente, uno de ellos puede ser lo suficientemente alto para compensar un cambio en la dirección opuesta en el otro. En este caso particular, los flujos de exportación representan el 62% del tráfico total. De esta forma el valor de E para la suma de exportaciones e importaciones se compensa pasando de $E_{2000} = 0.160$ a $E_{2010} = 0.123$ (véase Tabla 2.1).

Centrándonos en el índice H , en la Tabla 2.2 se puede observar para las exportaciones como la dependencia espacial del *hinterland* de los puertos se ha reducido durante el período analizado, con la única excepción del puerto de Bilbao, cuyo índice H fue el más bajo y ha aumentado. Casi lo mismo se observa para las importaciones (véase la Tabla 2.3). La excepción ha sido Algeciras cuyo índice H ha permanecido prácticamente estable. Con respecto a los flujos de importación, el puerto de Barcelona sigue siendo el más dependiente del tráfico generado en su entorno. El *hinterland* más equilibrado para las importaciones, en cuanto a su homogeneidad en la generación de tráfico, corresponde al puerto de Algeciras.

2.5. Conclusiones

El estudio de la zona de influencia portuaria o *hinterland* no llamó la atención de la comunidad científica hasta la segunda mitad de la década pasada. Aún así, el análisis empírico de la distribución interior de los flujos marítimos de carga no es habitual en la literatura. No obstante, estos flujos juegan un papel relevante en el proceso de desarrollo portuario. Más allá de la actividad directa de los puertos, también influyen en la configuración de los corredores y, por lo tanto, en el uso de la infraestructura del transporte terrestre. Por otro lado, la economía, ya sea a nivel local, regional o nacional, también está influenciada por la forma en que los puertos manejan sus relaciones con su *hinterland*. En consecuencia, es conveniente profundizar en el conocimiento tanto de la distribución interior del tráfico marítimo como de la evolución de la configuración espacial del *hinterland* de los puertos.

En este trabajo se hace una propuesta para avanzar en el conocimiento sobre el desarrollo espacial del *hinterland* de los puertos. Los índices propuestos sintetizan la información disponible sobre la distribución interior del tráfico marítimo y miden dos aspectos de la evolución del *hinterland*: su alcance geográfico y su dependencia espacial. Pero este conocimiento no sólo permite evaluar la evolución del desarrollo espacial de un puerto a lo largo del tiempo, sino también comparar la evolución del liderazgo de una serie de puertos competidores.

En cuanto al caso de estudio, en términos generales, se observa cómo el territorio en el que se generan los flujos de tráfico (el *hinterland* potencial) varió durante el período analizado: desaparecieron algunas de las subunidades más remotas, mientras que otras más cercanas a los puertos comenzaron a generar flujos. También permitió observar una cierta relación entre la configuración del *hinterland* de los puertos y la actividad económica de las provincias circundantes. De forma particular, el análisis realizado permite confirmar que, durante la década pasada, el puerto de Valencia reforzó su liderazgo dentro del conjunto del sistema portuario nacional y esto se plasmó en la evolución de su *hinterland*.

Además del inherente interés de la información obtenida tras la aplicación de estos índices, esta propuesta metodológica tiene dos ventajas adicionales: su simplicidad y su flexibilidad. Ambos índices tienen una formulación cuyos componentes pueden redefinirse dependiendo del marco y de la naturaleza de los datos espaciales disponibles. Pueden aplicarse a un conjunto diferente de puertos o incluso en contextos geográficos diferente. El único requisito es disponer de información espacial desagregada sobre el origen o destino terrestre de los flujos dentro de la zona geográfica de interés.

El rendimiento óptimo del sistema de transporte depende de las interacciones entre los agentes involucrados. La forma en que estas relaciones tienen lugar depende tanto de decisiones privadas como de acuerdos institucionales. Cuanto más amplia y precisa sea la información sobre las necesidades y tendencias, mayor será la efectividad de las políticas que se apliquen y, por consiguiente, mayor será la eficiencia y el crecimiento del sistema. La utilización de los índices propuestos sirve para evaluar tanto el impacto de estrategias de las autoridades portuarias como la influencia de políticas alejadas de su control, como la mejora de la infraestructuras terrestres (carreteras, ferrocarril) o la evolución de la actividad económica del entorno portuario.

Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de profundizar en esta línea de investigación. Desde el punto de vista metodológico sería deseable ir más lejos y combinar ambos índices de una manera más global. Sin embargo, la definición de ese índice sintético requeriría una discusión más profunda sobre lo que es más deseable para un puerto (extender su alcance geográfico o reducir su dependencia espacial) cuando ambos objetivos no pueden ser alcanzados simultáneamente. En el caso de estudio realizado, fue fácil concluir que el *hinterland* del puerto de Valencia ha experimentado la mejor evolución espacial. Sin embargo, ¿qué conclusión debe extraerse si para el mismo puerto los índices E y H evolucionan en una dirección opuesta? ¿Y si al comparar dos puertos uno de ellos mejora en términos del índice E mientras que el otro lo hace en términos de H ?

Recapitulando, el objetivo de este capítulo fue analizar de manera precisa cómo se produce la evolución de la distribución espacial del *hinterland* de un conjunto de puertos. Aunque se espera que el entorno inmediato de cada puerto pertenezca a su *hinterland*, se observó cómo la relevancia de estos entornos en el

tráfico portuario total varía tanto con respecto al puerto como al tiempo, al igual que la totalidad de la zona de influencia del puerto. El uso de los índices propuestos (E y H) permitió medir y comparar la evolución de ambas circunstancias en un conjunto de puertos teniendo en cuenta: i) la extensión geográfica de su *hinterland* y ii) el grado de concentración espacial en la generación de tráfico dentro de cada uno. Esto permite confirmar la existencia de competencia portuaria tanto gráfica como analíticamente. En los siguientes capítulos se profundiza en el fenómeno de la elección portuaria: concretamente, se identifica una serie de variables que influyen en esta distribución portuaria del tráfico y se estudia su influencia en la elección portuaria.

3

El papel del grado de uso de las instalaciones portuarias en la elección portuaria

Este capítulo está basado en el artículo:

Martínez-Pardo, A., Garcia-Alonso, L., y Orro, A. (2016). The role of the saturation of dockside cranes in the port choice process: the Spanish case. Presentado en Hamburgo en el *Congreso de la Asociación Internacional de Economistas Marítimos (IAME)*. Actualmente en revisión por el *International Journal of Shipping and Transport Logistics*.

3.1. Introducción

EL extraordinario crecimiento del comercio internacional en la década pasada puso en jaque a una parte significativa de la industria portuaria. El Foro Internacional del Transporte de la OCDE (ITF, *International Transport Forum*) reconoció que la congestión fue un problema en muchos puertos de todo el mundo (ITF, 2009). Incluso partiendo de hipótesis de crecimiento moderado, el ITF prevé una duplicación del comercio internacional de contenedores en 2030 y un aumento del trescientos por ciento para 2050 (Kauppila, Martinez, Merk, y Benezech, 2016). En 2009 el ITF afirmó que se habían hecho grandes esfuerzos para resolver el problema, tanto a nivel de diseño de políticas como

de investigación (ITF, 2009); pero en la práctica no se han hecho progresos significativos y recientemente, la Comisión Federal Marítima de Estados Unidos (FMC, Federal Maritime Commission) volvió a alentar al estudio sobre este problema (FMC, 2015).

En este capítulo se profundiza en el estudio de cómo la congestión portuaria afecta en su elección. En esta línea, el ITF apunta que: “cuando un puerto o las infraestructuras de su *hinterland* están más congestionadas que las de los puertos competidores, la calidad del servicio puede ser menor ya que se tarda más tiempo en acceder y salir del puerto y la fiabilidad del servicio disminuye, lo que debilita su posición competitiva.” (ITF, 2009). En la literatura hay muchos estudios sobre el impacto de la congestión en las carreteras, así como sobre el coste económico de la congestión urbana; pero no hay tantos que versen sobre las consecuencias de la congestión en los puertos.

La hipótesis de trabajo que se pondrá a prueba es la siguiente: cuanto más tráfico tiene un puerto, más atractivo resulta debido a las economías de aglomeración, escala y efectos de red; pero únicamente hasta cierto punto, a partir del cual el puerto comienza a saturarse. A partir de ese punto, en la medida en que el tráfico del puerto continúe creciendo, *ceteris paribus*, su atractivo comienza a descender debido a las consecuencias negativas de la saturación. Esta hipótesis se representa en la Figura 3.1.

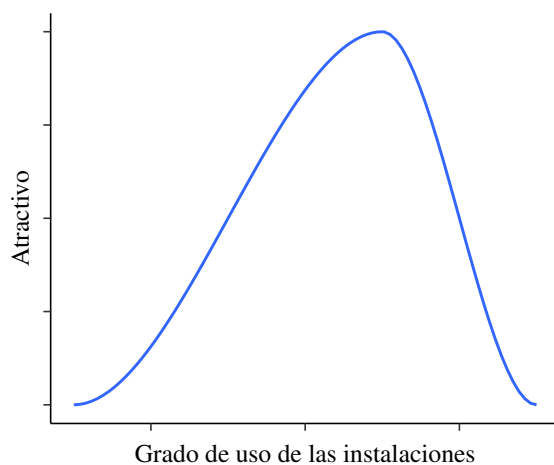


Figura 3.1. Grado de uso de las instalaciones portuarias vs atractivo del puerto

El tramo ascendente de la curva muestra la combinación de tres efectos predominantes:

1. *Economías de escala*. La utilización de barcos de mayor tamaño favorece la reducción del coste unitario del transporte de la carga. Un menor coste, atrae más carga.
2. *Economías de aglomeración*. Cuanto más tráfico, más actividad en el puerto. Más actividad implica una mayor variedad de servicios y mejores condiciones de calidad y coste.
3. *Efectos o economía de red*. Surgen cuando el volumen de tráfico permite un aumento de la frecuencia de las rutas, lo que redonda en un aumento del atractivo del puerto. Este fenómeno se conoce también como “efecto mohring” (Mohring, 1972).

Se puede encontrar una revisión de la literatura acerca de las economías de escala y aglomeración en el ámbito portuario en Tovar, Jara-Díaz, y Trujillo (2003, 2007); para más información sobre el “efecto mohring” puede consultarse, por ejemplo, S. Veldman, Garcia-Alonso, y Vallejo-Pinto (2011). En relación con la congestión portuaria y la elección portuaria pueden consultarse los estudios de Slack (1985); Tiwari, Itoh, y Doi (2003); Yeo, Ng, Lee, y Yang (2014).

El objetivo de este capítulo es analizar cómo el grado de uso de las instalaciones portuarias afecta a la cantidad de usuarios que eligen esa infraestructura. Para poner a prueba la hipótesis se analizan cerca de 6 millones de exportaciones en contenedor canalizadas a través de los principales puertos peninsulares españoles de contenedores entre 2004 y 2012. Para abordarlo se propone un Modelo de Elección Discreta (DCM).

El resto del capítulo ha sido organizado en siete secciones. En la Sección 3.2 se presenta el enfoque metodológico. En la Sección 3.3 se recoge la revisión de la literatura que analiza la elección portuaria mediante DCM centrando la atención en las variables analizadas. En la Sección 3.4 se define el indicador del grado de uso de las instalaciones portuarias. En la Sección 3.5 se aborda el modelo, primero se hace una introducción al marco de los modelos de elección discreta y después se describe la especificación propuesta. A continuación, Sección 3.6, se pasa a describir las fuentes de datos utilizadas. Los resultados empíricos se discuten en la Sección 3.7. Finalmente, en la Sección 3.8 se presentan las conclusiones.

3.2. Enfoque metodológico

En los últimos años se han publicado varios artículos en los que se repasa la literatura dedicada al análisis de la elección portuaria (Paixao Casaca, Carvalho, y Oliveira, 2010; Martínez Moya y Feo Valero, 2016; Parola, Risitano, Ferretti, y Panetti, 2016). Estos estudios dejan patente la considerable cantidad de estudios que se han publicado sobre el tema. Entre los enfoques más comúnmente utilizados para el análisis de la elección portuaria destacan: el análisis factorial, el enfoque difuso basado en proceso analítico en red, los modelos de gravedad, los modelos de equilibrio general dinámico estocástico, el proceso analítico jerárquico y el análisis de la elección discreta. En este estudio, se plantea un modelo de elección discreta (DCM, *Discrete Choice Models*) para abordar el análisis propuesto.

Daniel McFadden fue galardonado con el Nobel de Economía en el año 2000 por el desarrollo de la base teórica para el análisis de la elección discreta (McFadden, 2001). McFadden (1973) formuló un modelo econométrico en el que la probabilidad de elegir una alternativa se define como la probabilidad de que dicha alternativa tenga la mayor utilidad entre el conjunto de posibles alternativas. Los DCM resultan apropiados cuando se describe o predice el comportamiento de un decisor que escoge entre varias opciones (conjunto de elección). Su finalidad no es aplicarlos a una elección concreta, sino estudiar cómo afectaría un cambio en una de las variables explicativas del modelo en la probabilidad de elección de cada una de las alternativas. El análisis de la elección discreta se ha convertido en una herramienta estándar no únicamente en la planificación y operación de las infraestructuras y servicios del sistema de transporte, sino también en el marketing, las finanzas, la ciencia política y la economía aplicada (McFadden, 2002).

La interpretación económica de los DCM parte de la utilidad que generan al decisor los productos o servicios que demandan (véase, por ejemplo, Ben-Akiva y Lerman, 1985). Se asume un comportamiento de maximización de la utilidad aleatoria (RUM, *random utility maximization*) que supone que el individuo es racional y está perfectamente informado, por lo que selecciona siempre la alternativa que le reporte mayor utilidad. Al aplicarlos al análisis de la elección portuaria, se supone que el envío n se canaliza por el puerto j porque dicho puerto le proporciona la máxima utilidad al decisor para ese flujo de tráfico. Esta utilidad ($U_{n,j}$) es función de una variedad de variables o atributos relacionadas con la alternativa de puerto j y el envío n . La especificación lineal en los parámetros con atributos en su forma natural es la más común. Para especificar la influencia no lineal de los atributos en el valor de utilidad se puede hacer utilizando, por ejemplo, logaritmos o potencias. Estas transformaciones se introducen en la función de utilidad y se estima un modelo para cada una de ellas escogiendo aquella que permita obtener los mejores resultados. Una forma de estudiar la no

linealidad sin necesidad de establecerla *a priori* es dividir el atributo en rangos usando variables dicotómicas y estimar los coeficientes para cada categoría por separado. Este es el enfoque que se usará para probar la hipótesis planteada.

3.3. Revisión de la literatura que analiza la elección portuaria mediante DCM

Hay muchos factores que pueden determinar la elección portuaria, y estos son de diferente naturaleza. Por ejemplo: coste y tiempo de tránsito, tanto desde el punto de vista terrestre como marítimo (*i. e.* ubicación respecto a los centros de producción y consumo o respecto a las principales rutas de navegación), calidad y rapidez de las operaciones portuarias, disponibilidad de infraestructuras e instalaciones adecuadas o la frecuencia de las líneas comerciales.

La elección portuaria mediante DCM ha sido estudiada de forma combinada con otras opciones. Por ejemplo: el modo de transporte terrestre (S. J. Veldman, Bückmann, y Saitua, 2005; Nugroho, Whiteing, y de Jong, 2016), la ruta marítima (Tiwari *et al.*, 2003) o ambos (S. J. Veldman y Bückmann, 2003; Feo, Espino, y García, 2011; Tavasszy, Minderhoud, Perrin, y Notteboom, 2011). La revisión de la literatura de esta investigación se centra en los estudios que abordan exclusivamente la elección portuaria. En la Tabla 3.1 se recogen las variables consideradas en las principales publicaciones que analizan la elección portuaria mediante DCM. Se indican las variables no significativas, o con signo inesperado, para las publicaciones que lo recogen.

A pesar del hecho de que tanto la gestión eficiente de las operaciones portuarias como la total utilización de los recursos disponibles son objetivos principales en la planificación portuaria, son pocos los estudios que abordan el tema. Tongzon y Sawant (2007) investigaron la disponibilidad de servicios portuarios. La eficiencia portuaria fue estudiada por Blonigen y Wilson (2006) y Tongzon y Sawant (2007). Su fiabilidad por Anderson *et al.* (2009). Steven y Corsi (2012) estudiaron la productividad de las grúas y la congestión portuaria. Los autores consideran la productividad de las grúas como una medida para captar la velocidad de las operaciones de los buques en puerto. La calculan considerando el número medio de movimientos de grúa por hora. Para calcular la congestión del puerto, dividen el número total medio de escalas de buques de contenedores al mes entre los atraques disponibles. La influencia de ambas se estima de forma lineal.

Tabla 3.1

Variables analizadas en los trabajos que estudian la elección portuaria mediante DCM

| Referencias | | Variables |
|--|---------|--|
| Malchow y Kanafani (2001) | S NS | Distancia marítima y terrestre Frecuencia. Tamaño del buque |
| Nir, Lin, y Liang (2003) | S NS | Tiempo de tránsito y coste terrestre (por autopista). Número de rutas. Usuario recurrente Frecuencia. Cercanía al puerto elegido |
| Blonigen y Wilson (2006) | S | Costes marítimos y terrestres. Eficiencia portuaria |
| Tongzon y Sawant (2007) | S NS | Infraestructura. Tasas portuarias. Servicios portuarios Conectividad. Eficiencia. Puerto de aguas profundas. Tamaño del buque |
| Anderson, Opaluch, y Grigalunas (2009) | S | Distancia terrestre. Tiempo de tránsito marítimo. Coste de la mercancía. Viaje de ida o de ida y vuelta en el día. Fiabilidad. Variables costeras (misma línea costera mercado principal de origen o destino) |
| García-Alonso y Sánchez-Soriano (2009) | S | Distancia terrestre |
| S. Veldman y Gopkalo (2011) | S | Costes y tiempos de tránsito terrestres y marítimos. Ruta Sur |
| S. Veldman <i>et al.</i> (2011) | S | Coste terrestre, marítimo y total. Calidad de los servicios portuarios (“efecto mohring”) |

(continúa en la siguiente página)

S = Variables no significativas.

NS = Variables no significativas o con el signo inesperado.

Tabla 3.1. Continuación 2/2.

Variables analizadas en los trabajos que estudian la elección portuaria mediante DCM.

| Referencias | | Variables |
|---|----|---|
| Steven y Corsi (2012) | S | Tiempo de tránsito marítimo y terrestre. Productividad de las grúas. Congestión portuaria. Frecuencia. Tipo de gestión portuaria. Flete marítimo. Tamaño del puerto. Tamaño de los cargadores |
| | NS | Tamaño del buque |
| S. Veldman, Garcia-Alonso, y Vallejo-Pinto (2013) | S | Costes marítimos y terrestres. “Efecto back-haul” y “efecto mohring”. Línea de costa |
| Vega, Cantillo, y Arellana (2014) | S | Flete y tiempo de tránsito marítimo. Coste terrestre. Frecuencia. Línea de costa. Mercancía contenedorizada |
| S. Veldman, Garcia-Alonso, y Liu (2015) | S | Costes y tiempos de tránsito terrestres y marítimos. Costes no monetarios (en mar y en puerto). Puerto feeder. “Efecto mohring”. |
| Yang, Wang, y Li (2016) | S | Mercados comerciales de destino. Líneas rápidas. Capacidad portuaria. PIB del <i>hinterland</i> |
| | NS | Inversión portuaria privada. Km. de autopista |
| Kashiha, Thill, y Depken (2016) | S | Distancia terrestre y marítima. Número de fronteras. Infraestructuras terrestres. Eficiencia. Conectividad. Hub mediterráneo. Circunstancias geográficas (costero, sin costa, pseudocostero). Tamaño de los cargadores. Volumen y valor del envío |

S = Variables no significativas.

NS = Variables no significativas, o con el signo inesperado.

En esta investigación se toma el punto de vista de la utilización de los recursos disponibles y se propone un indicador para medir el grado de uso de las instalaciones portuarias. Este atributo, si bien puede influir en otras variables (p.e. coste, servicios portuarios, efecto Mohring, congestión) cuyos efectos se han tenido en cuenta de forma aislada, no se ha estudiado con anterioridad. Se plantea la hipótesis de que cuanto más tráfico tiene un puerto, más atractivo resulta pero hay un umbral de saturación a partir del cual el atractivo disminuye. Por lo tanto, para medir el grado de uso de sus instalaciones, se necesita especificar una influencia no lineal del atributo en el valor de utilidad¹.

3.4. Indicador del grado de uso de las instalaciones portuarias

Habitualmente, la industria portuaria utiliza las características técnicas o físicas de sus terminales como *input* y el tráfico portuario (contenedores o toneladas) como *output*. Esto se debe tanto a que reflejan las infraestructuras y equipamientos más importantes y costosos, así como a la facilidad de acceso a los datos. Las principales características técnicas y físicas de una terminal de contenedores son la longitud y profundidad de sus muelles, las áreas de depósito y las grúas tanto de muelle como de patio. Estas características se usan comúnmente en los indicadores de productividad portuaria (PPI, *port performance indicators*). Los PPI cuantifican y simplifican la información portuaria disponible. Para una revisión de los enfoques principales, véase, por ejemplo, González y Trujillo (2009); Wilmsmeier, Tovar, y Sanchez (2013); Ha, Yang, Notteboom, Ng, y Heo (2017).

A la hora de definir el indicador del grado de uso de las instalaciones portuarias, merecen especial atención las grúas pórtico de contenedores en muelle (STS, *ship to shore gantry cranes*). La productividad de estas grúas varía mucho dependiendo de su tipología, de su tamaño, del equipo de elevación o de su nivel de automatización. Pero también depende de otros factores tales como las estrategias de manipulación, el servicio a pie de grúa o la información disponible sobre el contenedor. Además, para una gestión portuaria eficiente, las grúas deben estar en consonancia con las infraestructuras portuarias, el personal y el tamaño de los buques que normalmente usan el puerto. Según Bichou (2013) y Wilmsmeier *et al.* (2013), cuando el número de grúas STS se usa en los PPI es posible capturar la eficiencia de la terminal. De hecho, el valor de productividad que se obtiene se

¹Kashiha *et al.* (2016) también estudian la influencia no lineal en la utilidad portuaria de una variable, aunque no en relación con la utilización de los recursos disponibles. Estudian los efectos del número de fronteras que necesitan atravesar los envíos. Categorizan el atributo en: una, dos o más fronteras; y las introducen como variables dicotómicas en la especificación de la utilidad portuaria.



Figura 3.2. Grúas pórtico de descarga de contenedores a pie de muelle (STS)
Imagen obtenida de www.liebherr.com.

corresponde con la mitad del valor teórico que los fabricantes facilitan (UNCTAD, 2015).

En la Ecuación (3.1) se define el indicador que se propone para evaluar el grado de uso de las instalaciones portuarias (TC). Se basa en el tráfico de contenedores movido por las grúas STS cada año. Como medida del tráfico se usa la unidad equivalente a veinte pies (TEU, *twenty-foot equivalent unit*). Se consideran todos los movimientos de contenedores, independientemente de si están o no vacíos.

$$TC_j(t) = \frac{TEU_j(t)}{CR_j(t)} \quad (3.1)$$

siendo:

- $TEU_j(t)$: los TEUs movidos por el puerto j el año t .
- $CR_j(t)$: el número de grúas STS en el puerto j el año t .

La descripción estadística de TC obtenida para los puertos en estudio durante el periodo 2003-2011² se pueden encontrar en la Tabla 3.2. Para una mayor descripción de los datos usados para ilustrar la metodología, consúltese la Sección 3.6. Se observa que el valor medio está en el entorno de la mitad de la productividad teórica de una grúa pórtico STS mientras que el valor del máximo está cercano al facilitado por los principales fabricantes (UNCTAD, 2015). Esto refuerza la validez del indicador propuesto: se busca medir, no tanto la productividad de las grúas en si mismas sino el grado de uso de las

² El periodo de estudio es 2004-2012 pero, como se explica en la Sección 3.5.2, para introducir el indicador TC en el modelo es necesario desfasarlo un año para evitar problemas de endogeneidad entre los TEUs movidos por el puerto y las elecciones portuarias (ver Ecuación (3.10)).

instalaciones portuarias y, como se veía, los TEUs reales movidos por una grúa tienden a reflejar más la productividad de los sistemas que operan alrededor de ella que la productividad de la propia grúa.

Tabla 3.2

Descripción estadística de TC (TEUs/grúa). Período 2003-2011

| Núm | Media | Desv. St. | Mín. | Máx. |
|-----|---------|-----------|---------|----------|
| 36 | 97019.9 | 39336.5 | 44346.6 | 187017.6 |

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por Ente público Puertos del Estado (2016).

3.4.1. Análisis en categorías

Nuestro objetivo es contrastar la hipótesis de que la influencia de TC no es lineal: cuanto más tráfico tiene un puerto, más atractivo resulta pero solamente hasta cierto punto a partir del cual el puerto comienza a saturarse y el atractivo disminuye. Para ello se va a dividir TC en categorías o clases. Esto permite que cada categoría tenga un valor de la influencia en la utilidad que no esté restringido por una forma funcional (lineal, logarítmica).

La metodología que se expone a continuación permite obtener la forma funcional de la relación entre el grado de uso y el atractivo portuario sin fijarlo *a priori*. El primer paso es calcular TC según la Ecuación 3.1. Una vez calculado TC , el siguiente paso es formar categorías, o intervalos de clase, dividiendo la variable continua TC en q segmentos. Para ilustrar la metodología se proponen cuatro categorías iguales:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } TC_j \leq 50000 \longrightarrow TC_j \in \text{Clase A} \\ \text{Si } 50000 < TC_j \leq 100000 \longrightarrow TC_j \in \text{Clase B} \\ \text{Si } 100000 < TC_j \leq 150000 \longrightarrow TC_j \in \text{Clase C} \\ \text{Si } 150000 < TC_j \leq 200000 \longrightarrow TC_j \in \text{Clase D} \end{array} \right. \quad (3.2)$$

Una vez definidas las clases, se pueden clasificar los puertos analizados según el grado de uso de sus instalaciones portuarias (véase la Tabla 3.3): Algeciras se mueve entre las clases B, C y D; Barcelona, está en la clase B todos los años; Bilbao está entre las clases A y B; y Valencia entre las clases B y C. En la Figura 3.3 se representan los histogramas de las cuatro categorías de TC diferenciados por puerto.

Tras clasificar los puertos según TC_j , se crean variables binarias o dicotómicas (véase la Ecuación 3.3). Finalmente, para probar la hipótesis de trabajo, se estiman

Tabla 3.3

Puertos clasificados según el grado de uso de sus instalaciones (TEUs/grúa)

| Puerto \ Año | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Algeciras | Clase C | Clase D | Clase D | Clase D | Clase D | Clase D | Clase C | Clase B | Clase C |
| Barcelona | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B |
| Bilbao | Clase A | Clase A | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B | Clase A | Clase B | Clase B |
| Valencia | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B | Clase B | Clase C | Clase C | Clase C |

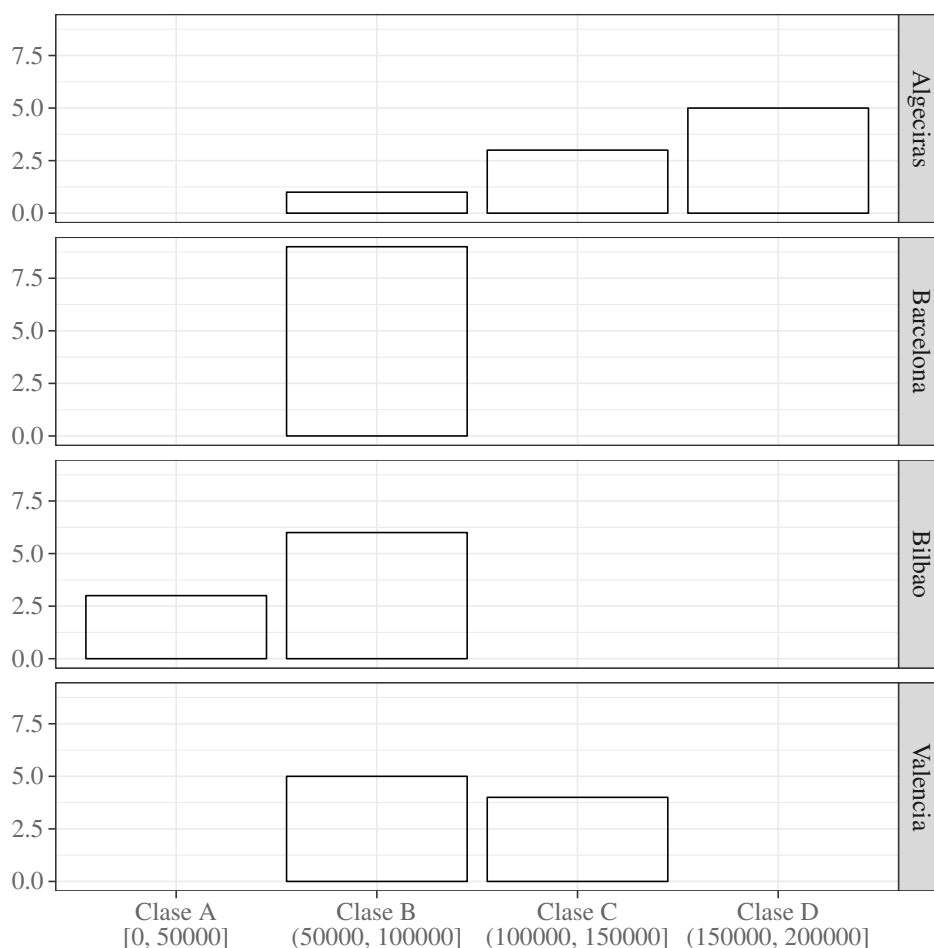


Figura 3.3. Histogramas de TC diferenciados por puerto

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Puertos del Estado (Ente público Puertos del Estado, 2016).

los cuatro coeficientes asociados con cada una de las variables dicotómicas. Esto permite que cada categoría tenga un valor diferente de influencia sobre la utilidad que no está restringido por una forma funcional establecida *a priori*. Una vez estimados estos coeficientes, será posible establecer la forma de la relación entre el atractivo del puerto y su grado de utilización.

$$\begin{cases} TC_j^A = 1, & \text{si } TC_j \in \text{Clase A}; \text{ en otro caso } TC_j^A = 0 \\ TC_j^B = 1, & \text{si } TC_j \in \text{Clase B}; \text{ en otro caso } TC_j^B = 0 \\ TC_j^C = 1, & \text{si } TC_j \in \text{Clase C}; \text{ en otro caso } TC_j^C = 0 \\ TC_j^D = 1, & \text{si } TC_j \in \text{Clase D}; \text{ en otro caso } TC_j^D = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

3.5. El modelo propuesto

3.5.1. Consideraciones generales

En el contexto del análisis de la elección discreta, la probabilidad de que el envío n se canalice por el puerto j puede expresarse como la Ecuación 3.4, donde U_{nj} es la utilidad del puerto j para el envío n y C_n representa el conjunto de alternativas disponibles.

$$P_{nj} = \text{Prob}(U_{nj} > U_{ni}, \quad \forall j \neq i) \quad C_n = \{1, \dots, i, j, \dots, J_n\} \quad (3.4)$$

La utilidad U_{nj} que le reporta el puerto j al decisor es completamente conocida por él; pero no por el analista, que debe considerarla con una componente aleatoria. De esta forma, la utilidad aleatoria se descompone en dos partes: [i] la parte observada, V_{nj} , que representa el efecto de las variables del puerto j y el envío n y; [ii] la parte no observada (o término de error), ε_{nj} , que captura factores que afectan a la utilidad pero que no se incluyen en V_{nj} . Esta descomposición se detalla en la Ecuación 3.5.

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (3.5)$$

La parte observada, V_{nj} , está formada por las constantes específicas de las alternativas (ASC_j), los parámetros a estimar y las variables observadas relativas a la alternativa portuaria j y al envío n . Las ASC_j reflejan las diferencias de utilidad entre alternativas a igualdad del resto de la expresión de V_{nj} . En este capítulo se propone una especificación lineal en los parámetros, que es la más usual en la práctica. Puede expresarse como:

$$V_{nj} = ASC_j + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{knj} \quad (3.6)$$

siendo:

- ASC_j : la constante específica de la alternativa j .
- β_k : los coeficientes genéricos (*i.e.*, un único coeficiente para todas las alternativas).
- x_{knj} : la variable k observada vinculada a la alternativa portuaria j y al envío n .

Los supuestos para la estructura de error, ε_{nj} , conducen a los diferentes DCM existentes en la literatura³. La tipología más simple, y más empleada en la práctica, es el modelo logit multinomial (MNL, *multinomial logit model*; McFadden, 1973). Es el modelo con él que se trabajará en este capítulo.

El MNL supone que ε_{nj} es independiente, idénticamente distribuido (es decir, misma varianza entre todas las observaciones) y sigue la distribución de valores extremos de tipo I (o distribución de Gumbel) con un parámetro de escala μ , mayor que cero. Para revisar las propiedades básicas de la distribución de Gumbel véase por ejemplo Ben-Akiva y Lerman (1985). La normalización habitual consiste en igualar μ a uno, porque es un parámetro no identificable (véanse las reglas generales de identificación en Train, 2009). En estos términos, la probabilidad de elección portuaria que se presentaba en la Ecuación (3.4) toma la siguiente forma:

$$P_{nj} = \frac{e^{V_{nj}}}{\sum_{i=1}^J e^{V_{nj}}} \quad C_n = \{1, \dots, i, j, \dots, J_n\} \quad (3.7)$$

Para la estimación de los parámetros del modelo (ASC_j , β_{kj}) se adopta el enfoque de máxima verosimilitud (MLE, *maximum likelihood*). La estimación por MLE proporciona el valor de los coeficientes para el cual es más probable que se observe ese resultado muestral. Es decir, maximiza el ajuste de la función de utilidad a los datos⁴. Si las observaciones en el conjunto de datos son independientes, la función de verosimilitud viene dada por el producto de las probabilidades P_{nj} que representan la probabilidad de que el envío n se canalice a través del puerto j . Esto puede expresarse cómo la Ecuación (3.8) donde y_{nj} indica si la alternativa es escogida o no; *i.e.* y_{nj} es una variable dicotómica que toma el valor uno si el envío n se canaliza a través de la alternativa j y cero en otro caso.

$$\mathcal{L}(ASC_j, \beta_{kj}) = \prod_{n=1}^N \prod_{j \in C_n} (P_{nj})^{y_{nj}} \quad (3.8)$$

³ Para una revisión de los modelos DCM véase, por ejemplo, Garrow (2010).

⁴ Para un mayor detalle sobre el enfoque MLE consúltese, por ejemplo, Ben-Akiva y Lerman, 1985, p.20-22.

Para facilitar la maximización numérica, puesto que los máximos coinciden, se trabaja con el logaritmo de la verosimilitud o log-verosimilitud:

$$\ln \mathcal{L}(ASC_j, \beta_{kj}) = \sum_{n=1}^N \sum_{\forall j \in C_n} y_{nj} \ln(P_{nj}) \quad (3.9)$$

3.5.2. Especificación

La especificación que se propone incluye variables que capturan atributos portuarios (número de grúas STS disponibles y grado de uso de las instalaciones), la ubicación del puerto con respecto a cada uno de los puntos que configuran el *hinterland* (distancia por carretera) y el *foreland* en estudio (distancia por rutas marítimas). En la Ecuación (3.10) se recoge la especificación detallada del modelo propuesto. Nótese que la referencia al año se hace porque cada envío n se lleva a cabo en un año específico t y por lo tanto se tienen diferentes atributos portuarios para cada año bajo estudio. El indicador TC se desfasa un año para evitar problemas de endogeneidad entre los TEUs movidos por el puerto y las elecciones portuarias.

$$V_{nj} = ASC_j + \beta_{DO} * DO_{nj} + \beta_{DD} * DD_{nj} + \beta_{CR} * CR_j(t) + \sum_{q=1}^Q \beta_{TC}^q * TC_j^q(t-1) \quad (3.10)$$

siendo:

- ASC_j : la constante específica de la alternativa j .
- DO_{nj} : la distancia por carretera entre el puerto j y la provincia origen del envío n .
- DD_{nj} : la longitud de la ruta marítima entre el puerto j y el país de destino para el envío n .
- $CR_j(t)$: el número de grúas STS del puerto j en el año t .
- $TC_j^q(t-1)$: la categoría q del indicador del grado de uso de las instalaciones del puerto j en el año $t-1$.

3.6. Datos empleados

Para verificar la viabilidad del enfoque planteado en una situación real se analiza de nuevo el caso de estudio planteado en el Capítulo 2. Está formado por los puertos de: Algeciras, Barcelona, Bilbao, Valencia. Todos los puertos se suponen disponibles para todos los envíos, por lo tanto el conjunto de elección es el mismo para todas las observaciones:

$$C_n = C = \{Algeciras, Barcelona, Bilbao, Valencia\}$$

Los datos utilizados en este análisis proceden de la misma base que se usó en el Capítulo 2, los Datos Estadísticos de Comercio Exterior (DECE, Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014)). Son datos de preferencias reveladas; es decir, elecciones efectivamente realizadas por los decisores. DECE nos proporciona información sobre cada operación de exportación e importación entre España y el resto del mundo diferenciada por modo de transporte. DECE incluye, entre otras variables, la provincia de origen, la provincia de despacho de la aduana y el país de destino. Otras variables de interés incluidas⁵ son el peso y valor del envío, la clasificación de las mercancías objeto de comercio de acuerdo con la nomenclatura combinada⁶ (CN, *Combined Nomenclature*) y el INCOTERM (INternational COMmercial TERMS, términos internacionales de comercio) asociado a cada intercambio comercial. Para formar la base de datos de preferencias reveladas de esta tesis, se seleccionaron de DECE todos los envíos vinculados con los puertos que forman el conjunto de alternativas entre los años 2004 y 2012⁷. Se consideró solamente el tráfico de exportación de contenedores de las provincias peninsulares⁸ con destino a países no europeos.

El conjunto de datos seleccionados, después de eliminar los registros incompletos, asciende a casi 6 millones de envíos individuales. Disponer de esta serie histórica, formada por datos oficiales y públicamente accesibles, permite que se pueda tanto reproducir la investigación que aquí se presenta como retomarla en un futuro y analizar la respuesta a cambios en las características de los puertos. Sin embargo, y aunque no afectan a la consecución de ninguno de los objetivos de esta tesis, su uso tiene dos desventajas. La primera desventaja se debe a que no existe un nexo común entre DECE y el Directorio de Empresas españolas Exportadoras e Importadoras (DEEI). Esto impide relacionar las empresas con el

⁵ Todas las variables incluidas en el registro de DECE se pueden consultar en: <http://goo.gl/PFqDeK>.

⁶ Para más información consultar: *The Combined Nomenclature - European Commission* https://ec.europa.eu/taxation_customs/business/calculation-customs-duties/what-is-common-customs-tariff/combined-nomenclature_en

⁷ Años disponibles, con igual formato, cuando se realizó la recopilación los datos.

⁸ Debido a la cautividad de sus relaciones comerciales marítimas no se consideran ni las provincias de Islas Baleares, Tenerife o Gran Canaria, ni las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla.

envío⁹. Esto implica que no se puedan considerar características de la empresa que realiza el envío ni se puede plantear correlación entre observaciones (por ejemplo, uso de datos de panel o de múltiple respuesta por parte de un decisor). La segunda desventaja es que, debido a la falta de datos, los flujos de tráfico de los países fronterizos se omiten, por lo que el conjunto de datos únicamente involucra envíos del *hinterland* nacional.

De acuerdo con el conjunto de datos formado a partir de DECE, entre los años 2004 y 2012, Barcelona fue la alternativa más escogida para la exportación de contenedores a países no europeos, seguida de cerca por Valencia (véase la Tabla 3.4). El puerto de Algeciras fue escogido apenas por el 6% de las operaciones, mientras que Bilbao es responsable de un margen aún menor. Estos datos están tomados desde la perspectiva de la competencia interportuaria (competencia de puertos en la misma región, que compiten principalmente por los envíos del *hinterland*). Es una perspectiva diferente a la proporcionada por puertos del Estado (véase la Figura 3.4), cuyas estadísticas reflejan el tráfico total canalizado por el puerto, incluyendo transbordos. Los primeros nos interesan para analizar la competencia interportuaria, los segundos para medir el grado de uso de las instalaciones portuarias. La diferencia más notable se da en el Puerto de Algeciras. Este puerto capta menos envíos del *hinterland* que Barcelona o Valencia, pero está entre los diez primeros puertos de contenedores del continente europeo y es uno los cincuenta más importantes del mundo porque es un puerto de transbordo importante (véanse las estadísticas de International Association of Ports and Harbors (IAPH), 2015).

Tabla 3.4

Exportaciones en contenedor a países no europeos canalizados a través de los principales puertos peninsulares de contenedores españoles (total acumulado entre 2004-2012)

| Alternativa portuaria | Número de envíos | Cuota (%) |
|-----------------------|------------------|-----------|
| Algeciras | 316136 | 5.82% |
| Barcelona | 2815136 | 51.82% |
| Bilbao | 1647 | 0.03% |
| Valencia | 2299637 | 42.33% |
| Total | 5432556 | |

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014).

⁹ Nótese que en el Capítulo 2 se usaron datos agregados por provincias y no se precisaba de esta relación.

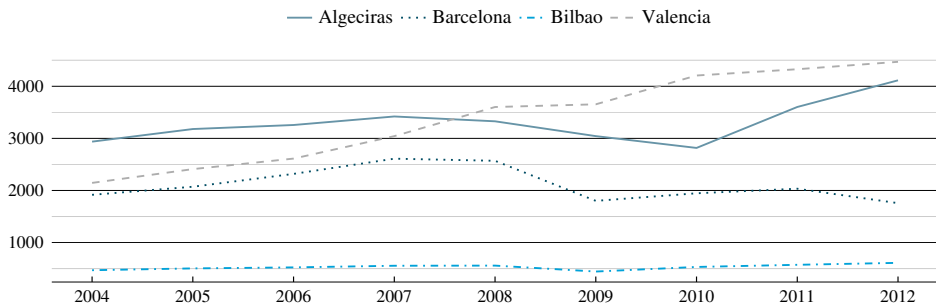


Figura 3.4. Evolución del tráfico de contenedores (en miles de TEUs) de los principales puertos peninsulares de contenedores españoles

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Ente público Puertos del Estado (2016).

Con respecto a las variables vinculadas con el *hinterland* y el *foreland* por un lado, se calcula la distancia por carretera entre la capital de la provincia de origen del intercambio comercial y el puerto (Ministerio de Fomento, 2015); por otro lado, la distancia marítima correspondiente a la ruta que une el puerto de origen y el puerto principal del país de destino. Esta distancia oceánica refleja las rutas reales del buque, que pueden consistir en una secuencia de puertos de escala programados hasta llegar al país de destino. Para calcularla se tomó la media de la distancia de las rutas más frecuentes según SeaRates (2015). La descripción estadística de ambas variables se muestra en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5

Estadística descriptiva de las variables DO_{nj} y DD_{nj}

| Variable | Unidades | Número* | Media | Desv. St. | Mín | Máx |
|-----------|----------|----------|--------|-----------|-------|---------|
| DO_{nj} | km. | 21730224 | 159.9 | 234.5 | 1.1 § | 1384.0 |
| DD_{nj} | km. | 21730224 | 9714.3 | 5120.1 | 60.9 | 20712.0 |

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de SeaRates (2015).

* La base de datos usada para la estimación está formada por 5432556 observaciones (N); para cada observación se necesita disponer de los atributos portuarios para cada una de las cuatro alternativas (J); por lo tanto, el número de datos de los atributos asciende a 21730224 ($N * J$).

§ DO toma el valor 1.1 km. cuando el puerto y el origen del envío están en la misma provincia.

Puertos del estado proporciona las características de los puertos españoles (Ente público Puertos del Estado, 2016). Las grúas pórtico de contenedores (STS) y los TEUs movidos por puerto se pueden encontrar en las Estadísticas de Tráfico o en los Anuarios Estadísticos de los puertos españoles que, al igual que DECE, son públicamente accesibles. Otras variables de interés para el estudio son los metros de línea de atraque o los metros cuadrados del área de almacenamiento, pero en las estadísticas no se diferencia cuales se dedican exclusivamente a contenedores por lo que se ha optado por no emplearlas en los modelos propuestos.

3.7. Resultados obtenidos y discusión

Los modelos fueron estimados con Blerlaire Optimization toolbox for GEV Model Estimation (BIOGEME; Bierlaire, 2016), software especialmente diseñado para DCM y estimaciones por máxima verosimilitud. La maximización se lleva a cabo mediante el algoritmo CFSQP (Lawrence, Zhou, y Tits, 1997), que utiliza un método de programación cuadrática secuencial (SQP).

Para llegar a la especificación propuesta¹⁰ (Ecuación (3.10)), se han añadido al modelo nulo (MNL 0) las variables una a una y se comparan las diferentes especificaciones con la prueba de razón de verosimilitud (*LR*, *likelihood ratio*; véase, por ejemplo Ben-Akiva y Lerman, 1985, p. 28-29 and p. 64-167). Los resultados de *LR* se muestran, junto a otros resultados estadísticos relevantes y el detalle de las diferentes especificaciones, en la Tabla 4.6. De acuerdo con *LR*, en todos los casos se rechaza con una confianza superior al 99 % la posibilidad de que ambos modelos sean iguales; se acepta, por lo tanto, la inclusión de todas las variables propuestas en cada nueva especificación.

Tabla 3.6
Principales resultados estadísticos de los modelos MNL estimados

| Modelos | $\ln \mathcal{L}$ | ρ^2 | $\bar{\rho}^2$ | k | <i>LR</i> | DF | $\chi^2_{3,99\%}$ * | Comparación |
|--------------------|-------------------|----------|----------------|---|--------------|----|---------------------|---------------|
| MNL 0 | -7531121.749 | | | 0 | | | | |
| MNL C ^a | -4740001.572 | 0.371 | | 3 | -5582240.355 | 3 | 11.340 | MNL 0 - MNL C |
| MNL 1 ^b | -2217833.548 | 0.706 | 0.532 | 4 | -5044336.048 | 1 | 6.630 | MNL C - MNL 1 |
| MNL 2 ^c | -2202004.252 | 0.708 | 0.535 | 5 | -31658.592 | 1 | 6.630 | MNL 1 - MNL 2 |
| MNL 3 ^d | -2201182.293 | 0.708 | 0.536 | 6 | -1643.918 | 1 | 6.630 | MNL 2 - MNL 3 |
| MNL 4 ^e | -2194364.105 | 0.709 | 0.537 | 9 | -13636.376 | 3 | 11.340 | MNL 3 - MNL 4 |

Nota: k = parámetros estimados; $\chi^2_{3,99\%}$ * = umbral para el 99 % con 3 grados de libertad; DF = Grados de libertad.

^a $V_{nj} = ASC_j$

^b $V_{nj} = ASC_j + \beta_{DO} * DO_{nj}$

^c $V_{nj} = ASC_j + \beta_{DO} * DO_{nj} + \beta_{DD} * DD_{nj}$

^d $V_{nj} = ASC_j + \beta_{DO} * DO_{nj} + \beta_{DD} * DD_{nj} + \beta_{CR} * CR_j(t)$

^e $V_{nj} = ASC_j + \beta_{DO} * DO_{nj} + \beta_{DD} * DD_{nj} + \beta_{CR} * CR_j(t) + \sum_{q=1}^Q \beta_{TC}^q * TC_j^q(t-1)$

¹⁰ También se han estimado especificaciones que incluían el ratio peso/valor de las mercancías así como su INCOTERM y clasificación CN pero ninguna de estas variables ha resultado significativa.

Para comparar la bondad de ajuste de los modelos se usan dos índices: ρ^2 y ρ ajustado ($\bar{\rho}^2$) (para una discusión sobre estos índices consúltese Ortúzar y Willumsen, 2011, p. 282-283). El primero toma al modelo nulo (MNL 0) como referencia y el segundo, al modelo con constantes (MNL C). Ambos varían entre cero (sin ajuste) y uno (ajuste perfecto).

Los parámetros estimados para la especificación propuesta se resumen en la Tabla 3.7. En todas las tablas que recogen los parámetros estimados de la tesis se indica la desviación típica o error estándar empleando errores robustos (Error Std. rob.). Todos los parámetros presentan un p-valor <0.00 , por lo tanto se puede rechazar la hipótesis nula de que sean iguales a cero con un nivel superior al 99% de confianza. De acuerdo con las reglas generales de identificación de modelos de elección discreta (véase Train, 2009), es necesario normalizar las constantes específicas de las alternativas ASC_j y la variable categórica TC_j^q . Para J alternativas, a lo sumo se pueden estimar $J - 1$ constantes específicas y $J - 1$ variables categóricas. Realmente no importa qué alternativa se normalice, pero los resultados deben interpretarse con respecto al nivel de referencia tomado. En esta investigación, Barcelona se considera como la alternativa de referencia ($ASC_{Bar} = 0$). En el caso de TC_j^q , la referencia es la categoría B ($\beta_{TC}^B = 0$).

Tabla 3.7
Parámetros estimados MNL 4

| Parámetros | Unidades | Valor | Error Std. rob. | Test-t rob. | p-valor |
|----------------|-----------|--------|-----------------|-------------|---------|
| ASC_{Alg} | | -1.470 | 0.0047 | -309.82 | 0.00 |
| ASC_{Bar} | | 0.000 | | | |
| ASC_{Bil} | | -7.930 | 0.0298 | -265.74 | 0.00 |
| ASC_{Val} | | -0.558 | 0.0025 | -226.44 | 0.00 |
| β_{DO} | $10^3 km$ | -6.870 | 0.0035 | -1964.45 | 0.00 |
| β_{DD} | $10^4 km$ | -7.860 | 0.0393 | -199.89 | 0.00 |
| β_{CR} | $10^3 ud$ | 6.120 | 0.3530 | 17.33 | 0.00 |
| β_{TC}^A | | -0.286 | 0.0567 | -5.04 | 0.00 |
| β_{TC}^B | | 0.000 | | | |
| β_{TC}^C | | 0.204 | 0.0027 | 74.82 | 0.00 |
| β_{TC}^D | | -0.585 | 0.0059 | -99.24 | 0.00 |

Resumen estadístico MNL4

Número de observaciones (N) = 5432556

Número de parámetros estimados (k) = 9

$\ln \mathcal{L}$ inicial = -7531121.749

$\ln \mathcal{L}$ final = -2194364.105

ρ^2 = 0.7086

$\bar{\rho}^2$ = 0.5371

Tal y como se esperaba, los signos de los coeficientes de distancia (β_{DO} y β_{DD}) son negativos. Esto implica que un aumento de los valores de estas variables reduce la utilidad de la alternativa portuaria y, por tanto, la probabilidad de que esta sea elegida. De la misma manera, el signo de β_{CR} es positivo, por lo que si un puerto aumenta el número de grúas pórtico aumenta su utilidad y, por ende, la probabilidad de ser elegido.

En relación con la hipótesis planteada, principal aportación de este capítulo, puede verse cómo los coeficientes estimados para TC varían entre las diferentes categorías (véase β_{TC}^A , β_{TC}^B , β_{TC}^C , β_{TC}^D); y no siempre aumentan a medida que se incrementa el grado de uso. Como puede verse en la Figura 4.2, las economías de aglomeración y escala, así como el efecto de red, se perciben en las clases A y B, mientras que a partir de un punto comprendido entre 100000 y 150000 TEUs/grúa (clase C), el puerto pierde atractivo a medida que continúa aumentando su tráfico; es decir, existe un umbral de saturación en el grado de utilización de las instalaciones a partir del cual el atractivo del puerto disminuye. Esto puede verse como una confirmación de la hipótesis planteada: el grado de utilización de las instalaciones portuarias tiene un impacto en la elección portuaria, y hay un umbral más allá del cual el efecto de la congestión en la dotación portuaria supera los beneficios de las economías de aglomeración y escala y los efectos de red.

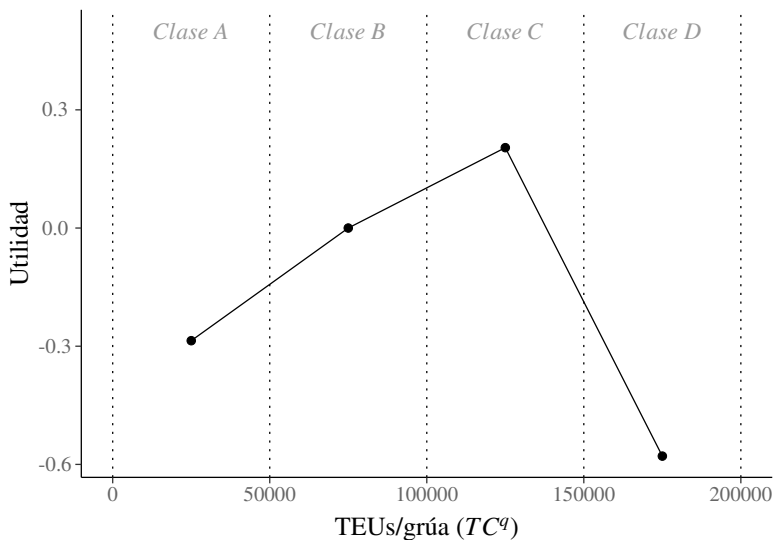


Figura 3.5. Grado de uso de las instalaciones portuarias vs utilidad de los puertos en estudio

El umbral puede ser localizado con mayor precisión, ajustando el tamaño de los intervalos. A continuación se aumenta el número de clases, buscando una mejor distribución de los valores entre ellas. Se usa el algoritmo de Fisher-Jenks, también conocido como clasificación de rupturas naturales de Fisher, implementado en el paquete `classInt` (Bivand, 2015). Esta clasificación es una mejora de la clasificación de rupturas naturales de Jenks (Jenks y Caspall, 1971), la cual es un re-implementación del algoritmo descrito por Fisher en el contexto de los mapas de coropletas (Fisher, 1958). El algoritmo compara iterativamente las sumas de las diferencias al cuadrado entre valores observados dentro de cada clase y las medias de las clases. Este método minimiza la variabilidad interna de las clases y maximiza las diferencias entre clases, para un número de intervalos especificado previamente. Para el caso de estudio, el número de intervalos máximo que se puede usar es siete. Este máximo viene marcado por los requisitos de los DCM que exigen un mínimo de datos, y de variabilidad, para poder ser estimados. Las clases obtenidas se detallan a continuación:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } 44346.60 < TC_j \leq 58905.44 \quad \longrightarrow TC_j \in \text{Clase I} \\ \text{Si } 58905.44 < TC_j \leq 75375.56 \quad \longrightarrow TC_j \in \text{Clase II} \\ \text{Si } 75375.56 < TC_j \leq 91035.13 \quad \longrightarrow TC_j \in \text{Clase III} \\ \text{Si } 91035.13 < TC_j \leq 107173.8 \quad \longrightarrow TC_j \in \text{Clase IV} \\ \text{Si } 107173.8 < TC_j \leq 131279.5 \quad \longrightarrow TC_j \in \text{Clase V} \\ \text{Si } 131279.5 < TC_j \leq 163444.00 \quad \longrightarrow TC_j \in \text{Clase VI} \\ \text{Si } 163444.00 < TC_j \leq 187017.656 \quad \longrightarrow TC_j \in \text{Clase VII} \end{array} \right. \quad (3.11)$$

Una vez establecidas las clases, se reclasifica cada puerto de acuerdo con el grado de uso de sus instalaciones portuarias (ver histograma en la Figura 3.6): Algeciras se mueve entre las clases IV, V, VI y VII; Barcelona, en las clases II, III y IV; Bilbao entre las clases I y II; y Valencia en las clases III, IV y V.

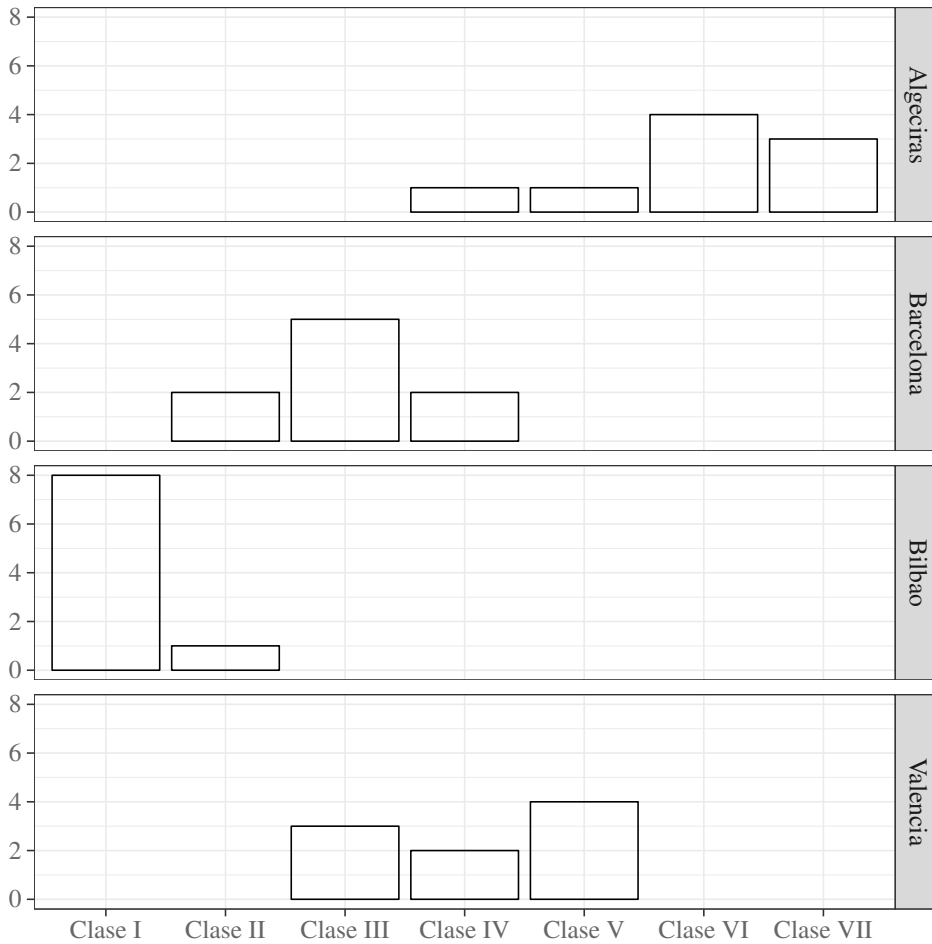


Figura 3.6. Histogramas de *TC* diferenciados por puerto. Siete categorías.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Puertos del Estado (Ente público Puertos del Estado, 2016).

En la Tabla 3.8 se presentan los resultados obtenidos después de la reclasificación de los puertos de acuerdo con los nuevos intervalos (MNL 5). Si se compara con el MNL 4 (cuatro categorías) el LR resulta positivo, justificando la inclusión de las nuevas categorías. En la Figura 3.7 se dibuja la curva con cuatro y siete categorías. Se comprueba que la forma se mantiene y el umbral se acota (clase V: $107173.8 < TC_j \leq 131279.5$) reforzando la conclusión de que las clases más saturadas presentan un menor atractivo portuario. Sin embargo, a la hora de considerar la ampliación de categorías debe tenerse en cuenta la pérdida de parsimonia del modelo así como el aumento del coste computacional¹¹ que para el caso de estudio se cuadruplica, pasando de apenas 15 minutos a casi 60.

Tabla 3.8
Parámetros estimados MNL 5

| Parámetros | Unidades | Valor | Error Std. rob. | Test-t rob. | p-valor |
|--------------------|-----------|--------|-----------------|-------------|---------|
| ASC_{Alg} | | -1.190 | 0.0069 | -171.76 | 0.00 |
| ASC_{Bar} | | 0.000 | | | |
| ASC_{Bil} | | -7.750 | 0.0464 | -185.07 | 0.00 |
| ASC_{Val} | | -0.571 | 0.0031 | -226.44 | 0.00 |
| β_{DO} | $10^3 km$ | -6.880 | 0.0035 | -1957.78 | 0.00 |
| β_{DD} | $10^4 km$ | -7.940 | 0.0394 | -201.40 | 0.00 |
| β_{CR} | $10^3 ud$ | 1.260 | 0.6530 | 1.92 | 0.05 |
| β_{TC}^I | | -0.401 | 0.0538 | -7.47 | 0.00 |
| β_{TC}^{II} | | 0.000 | | | 0.00 |
| β_{TC}^{III} | | 0.066 | 0.0068 | 9.66 | 0.00 |
| β_{TC}^{IV} | | 0.105 | 0.0085 | 12.42 | 0.00 |
| β_{TC}^V | | 0.303 | 0.0052 | 58.31 | 0.00 |
| β_{TC}^{VI} | | -0.581 | 0.0100 | -58.15 | 0.00 |
| β_{TC}^{VII} | | -1.030 | 0.0108 | -95.40 | 0.00 |

Resumen estadístico MNL 5

Número de observaciones = 5432556
 Número de parámetros estimados = 12
 $\ln \mathcal{L}$ inicial = -7531121.749
 $\ln \mathcal{L}$ final = -2189184.187
 ρ^2 = 0.7093
 $\bar{\rho}^2$ = 0.5381

¹¹ Para las estimaciones de esta tesis se ha empleado un ordenador de sobremesa con procesador Intel Core™ i7 CPU-870 a 2.93GHz y 16 Gb de RAM.

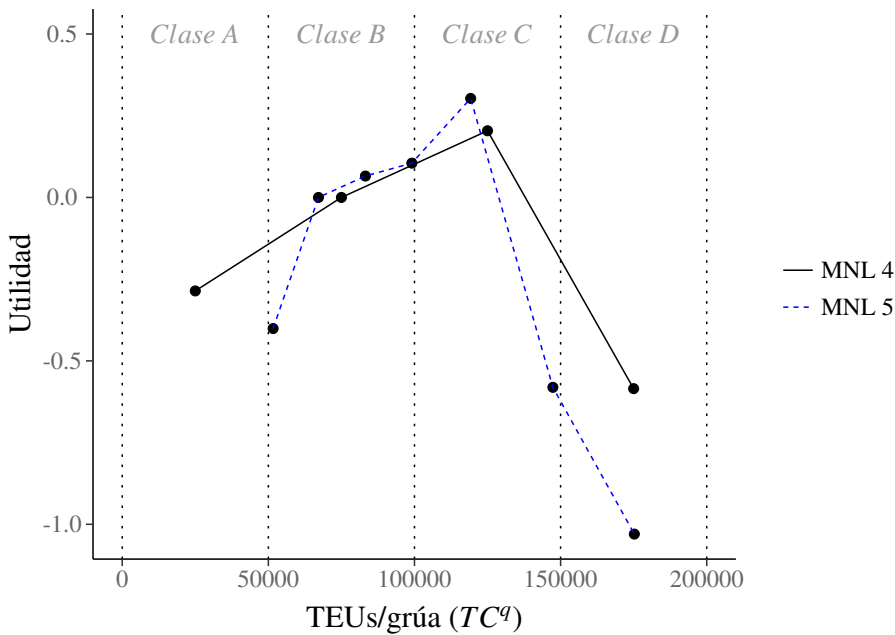


Figura 3.7. Grado de uso de las instalaciones portuarias vs utilidad de los puertos en estudio. Cuatro y siete clases

El valor del umbral para el caso de estudio está en el entorno a los 119226 TEUs/grúa obtenido en el modelo MNL 5 ($Q = 7$ clases) y los 125000 TEUs/grúa obtenidos en el modelo MNL 4 ($Q = 4$ clases). Este umbral, a partir del cual el atractivo del puerto decrece, se encuentra en el entorno del promedio de las terminales españolas (122445 TEUs/grúa) (SBC y McValnera, 2014) así como cerca de los valores observados en las terminales de contenedores de América Latina y el Caribe (125400 TEUs/grúa) (Wilmsmeier *et al.*, 2013) o en el ámbito internacional (123489 TEUs/grúa) (Drewry, 2014).

3.8. Conclusiones

En esta sección se analizó la competencia entre los principales puertos españoles peninsulares de contenedores. En primer lugar, los resultados muestran que una reducción de la distancia en origen o a destino o un aumento del número de grúas STS, aumenta la utilidad del puerto y, por tanto, su probabilidad de ser elegido. En segundo lugar, confirman que el grado de uso de las instalaciones portuarias, medido como TEUs/grúa, juega un papel relevante en el resultado de la elección portuaria. Finalmente, confirman que puede identificarse un umbral más allá del cual el atractivo del puerto disminuye cuando la dotación portuaria se satura. Es decir, los beneficios de las economías de aglomeración y de escala

así como los efectos red son superados por la congestión de las instalaciones provocada por el aumento del tráfico portuario en las mismas.

Por lo tanto, puede concluirse que el atractivo del puerto está condicionado por el grado de uso de sus instalaciones en un doble sentido. Por un lado, como se ha explicado anteriormente, la concentración del tráfico tiene un efecto positivo en el atractivo del puerto que se diluye, a medida que se supera la ocupación óptima de las instalaciones portuarias. Por otro lado, los resultados permiten ir más allá y ver cómo, si la expansión de las instalaciones portuarias no va acompañada de un crecimiento del tráfico, es posible que la utilidad del puerto disminuya. Es decir, dado un nivel de tráfico, la ampliación de las instalaciones conlleva un aumento de su coste. Si el tráfico no aumenta en la medida necesaria para compensar este aumento de costes, lo que se esperaba que aumentara el atractivo del puerto, termina siendo negativo debido al aumento de los costes y cabe esperar una reducción de la probabilidad de elección hasta que estos costes sean compensados.

Los resultados obtenidos en este trabajo tienen una serie de implicaciones importantes para la práctica de las Autoridades Portuarias. Confirman dos cuestiones clave: [i] cuando una instalación portuaria supera su ocupación óptima su atractivo decrece; y [ii] el aumento de la dotación de un elemento fijo portuario solamente refuerza el atractivo del puerto cuando es necesario. Por lo tanto, las Autoridades Portuarias deben tener en cuenta el grado de uso de sus instalaciones a la hora de definir sus estrategias competitivas y, por lo tanto, sus gastos de inversión.

La confirmación de la hipótesis planteada en este capítulo se ha hecho teniendo en cuenta las grúas pórtico de contenedores (STS); pero la idea y el resultado podría extenderse a otros elementos de las instalaciones portuarias como los muelles (TEUs/metros lineales de muelle) o el patio (TEUs/hectáreas de superficie). Asimismo, dada la relevancia de los resultados obtenidos, tanto desde el punto de vista académico como de gestión, se propone como trabajo futuro realizar encuestas que, además de permitirnos contrastar los resultados obtenidos a partir de las decisiones observadas con datos procedentes de preferencias declaradas; permitiría valorar la puesta en funcionamiento de escenarios hipotéticos que incluyan diferentes estrategias de adaptación, como por ejemplo, la ampliación de instalaciones.

4

Modelización de la elección portuaria considerando heterogeneidad aleatoria en las preferencias e influencia no lineal de atributos

Este capítulo está basado en el artículo:

Martinez-Pardo, A., Orro, A. y Garcia-Alonso, L. (2017).
Modelling Port choice allowing heterogeneous preferences
and nonlinearity in variable. Manuscrito en preparación

4.1. Introducción

Desde los años 80, los modelos de elección discreta (*discrete choice models*, DCM) son la herramienta básica para la planificación y la gestión de los sistemas de transporte. Hoy en día, la modelización de la demanda de transporte de pasajeros ha acumulado una gran experiencia y sus prácticas se están transfiriendo al transporte de mercancías. Sin embargo, la mayor complejidad de los sistemas de transporte de mercancías hace que esta transferencia de conocimiento no sea inmediata.

El estudio del comportamiento de la elección portuaria es complejo porque en el transporte de mercancías, a diferencia de en el transporte de viajeros, hay múltiples agentes implicados. La decisión no se localiza en un solo individuo,

sino que está distribuida entre los múltiples agentes y compañías que forman la cadena de suministro. Cada elemento de la cadena tiene sus propias características y atiende a unos objetivos comerciales y logísticos particulares.

Hasta la fecha, la mayor parte del análisis de la elección portuaria con DCM se ha llevado a cabo con dos modelos: el logit multinomial y el logit jerárquico. Estos modelos asumen la existencia de un comportamiento homogéneo entre todos los agentes decisores así como una influencia lineal de los atributos. Si bien algunos estudios tienen en cuenta heterogeneidad de las preferencias restringiendo el estudio a un único agente decisor o incluyendo características de los decisores, como su tamaño. En general, tanto la influencia no lineal como la heterogeneidad en las preferencias son problemas habitualmente ignorados. Por lo tanto, resulta de interés introducir mayor flexibilidad en los modelos para permitir que se tenga en cuenta tanto la heterogeneidad aleatoria en las preferencias, como la posibilidad de una influencia no lineal de los atributos en la elección portuaria.

El resto del capítulo está estructurado en siete secciones. La siguiente sección examina la revisión de la literatura sobre el estudio de la elección portuaria con DCM poniendo el foco en los diferentes modelos utilizados. La Sección 4.2 versa sobre las formulaciones generales de los modelos en estudio. En la Sección se detallan las especificaciones propuestas. En la Sección 4.5 se discuten los resultados obtenidos. En la Sección 4.6 se presenta la validación de los modelos. En la Sección 4.7 se plantean escenarios hipotéticos y se analiza el impacto de la consideración de la heterogeneidad en las preferencias y la influencia no lineal de los atributos en la utilidad. En la Sección 4.8 se resumen las conclusiones.

4.2. Revisión de la literatura que analiza la elección portuaria mediante DCM: tipos de modelos

En este capítulo se revisa la literatura científica centrada en el estudio de la elección portuaria poniendo el foco en los diferentes tipos de DCM utilizados.

4.2.1. Diferentes tipologías de los modelos de elección discreta

En la Sección 3.5.1 se vio cómo la utilidad portuaria U_{nj} no puede ser completamente observada, y, por consiguiente, es necesario descomponerla en dos partes:

$$U_{nj} = V_{nj} + \varepsilon_{nj} \quad (4.1)$$

La parte observada, V_{nj} , representa el efecto de los atributos del puerto j y el envío n . Está formada por las constantes específicas de las alternativas portuarias (ASC_j), los parámetros a estimar (β_{kj}) y los atributos o variables observadas vinculadas con la alternativa portuaria j y el envío n (x_{knj}). La parte no observada

(o término de error), ε_{nj} , captura factores que afectan a la utilidad pero que no se incluyen en V_{nj} . Los supuestos para la estructura de error, ε_{nj} , conducen a los diferentes DCM existentes en la literatura. No obstante, estas suposiciones deben de estar de acuerdo con la realidad de la elección portuaria. De lo contrario, podrían conducir a interpretaciones erróneas del comportamiento de los agentes decisores y a predicciones poco precisas de las elecciones portuarias.

Como ya se comentó, el MNL se obtiene suponiendo que ε_{nj} es independiente e idénticamente distribuido y sigue una distribución de valores extremos tipo I (o distribución Gumbel) con un parámetro de escala μ mayor que cero. Pero el supuesto de que ε_{nj} es independiente se antoja demasiado restrictivo para estudiar las elecciones portuarias. Este supuesto implica que la introducción de una nueva alternativa o la mejora de una alternativa portuaria ya existente tendrá el mismo impacto en la probabilidad de elección de cualquiera de las otras alternativas en estudio (axioma de Independencia de Alternativas Irrelevantes, *IAI*). Esto no está de acuerdo con la realidad portuaria porque podría darse una mayor proporción de sustitución, por ejemplo, entre puertos cercanos o entre puertos con la misma especialización sin que el resto se viera afectado (o lo fuera con la misma intensidad).

Otros problemas que plantean los supuestos del MNL es que se asume que: [i] no hay variación aleatoria en las preferencias, y [ii] los errores son independientes entre las observaciones. Es decir, para todos los decisores y todas las observaciones, una variación en las variables afecta del mismo modo a la utilidad de cada alternativa. En la práctica, la influencia de las variables en la elección portuaria es diferente dependiendo de las preferencias particulares de cada decisor y, si un mismo agente realiza varios envíos, implica una correlación entre los términos de error.

En un MNL, la heterogeneidad entre decisores puede introducirse en la expresión de la utilidad si se incluyen atributos que reflejen características del decisor. La inclusión directa de estos atributos conlleva variaciones en las ASC_j . Si se plantea una especificación que incluya interacción de estas variables con atributos específicos de las alternativas, entonces se pueden estimar variaciones en las preferencias entre los agentes decisores. Otra forma de analizar la heterogeneidad sería realizando una segmentación del mercado. Este enfoque supone que los individuos con los atributos considerados iguales (es decir, en el mismo segmento de mercado) siguen teniendo las mismas preferencias. Por otro lado, requieren información acerca de las características individuales en la población.

Para superar las limitaciones del MNL han surgido una amplia gama de modelos de diferentes complejidades (para una visión general de estos modelos véase por ejemplo, Garrow, 2010). El más conocido es el logit jerárquico o anidado (*Nested Logit*, NL; véase, por ejemplo Ortúzar, 2001). NL permite relajar la suposición de independencia entre alternativas. En un modelo NL, los puertos

que presenten características comunes podrían agruparse en un nido, permitiendo la correlación entre ellos. Pero otras limitaciones inherentes al MNL también aparecen en la NL. Este modelo todavía asume que no hay variación aleatoria de las preferencias y que los errores son independientes entre las observaciones.

El modelo logit mixto (*mixed logit*, ML) se estableció a finales de los años 70 y ha alcanzado gran popularidad en la comunidad de investigación en los últimos años. ML supera las tres limitaciones del MNL al permitir variación aleatoria de las preferencias, correlación entre las alternativas y las observaciones, y heterocedasticidad (diferente varianza en el término de error). De hecho, se ha demostrado que el ML puede aproximar teóricamente cualquier modelo de utilidad aleatoria (McFadden y Train, 2000).

El modelo ML asume que la función de utilidad (Véase la Ecuación (4.1)) incluye uno o más términos aleatorios adicionales. Estos términos adicionales pueden agruparse en un término aditivo η_{nj} que modela la presencia de correlación y heterocedasticidad. η_{nj} puede ser función de atributos de la alternativa portuaria j y el envío n . Por lo tanto, la función de utilidad (4.1) se reformula como:

$$U_{nj} = V_{nj} + (\varepsilon_{nj} + \eta_{nj}) \quad (4.2)$$

siendo $\varepsilon \sim \text{Gumbel idd}$, igual que en MNL y NL, y $\eta \sim f(\eta|\theta)$, donde f es una función de densidad general y θ son parámetros fijos que la describen (por ejemplo, media y varianza de la población que representa a todos los agentes que realizan elecciones portuarias).

Independientemente de la estructura del error elegida, otra posible fuente de problemas en el estudio de la elección portuaria es una especificación inadecuada de la relación funcional entre las variables observadas x_{knj} y la utilidad U_{nj} . La hipótesis de especificación lineal en los parámetros con atributos sin transformar es la más común:

$$V_{nj} = ASC_j + \sum_{k=1}^K \beta_{kj} x_{knj} \quad (4.3)$$

Esta especificación implica que la influencia de cada atributo x_{knj} en la utilidad es lineal. De este modo, por ejemplo, un ahorro de diez kilómetros en la distancia en origen al puerto supondría el mismo cambio de utilidad para un viaje de 60 kilómetros que para un viaje de 200 kilómetros. Esto puede no ajustarse a la realidad portuaria: un cambio en el valor de un atributo no siempre supone el mismo cambio en la utilidad.

Para especificar una función de utilidad no lineal el analista puede probar diferentes transformaciones, tales como logaritmos o potencias. Se estima un modelo para cada transformación y se elige aquella que permita obtener los mejores resultados. Otra forma sería dividir el atributo en categorías usando

variables dicotómicas y estimar un coeficiente para cada categoría (es el caso de los modelos MNL 4 y MNL 5 del Capítulo 3).

Una manera de estudiar la no linealidad sin necesidad de establecerla *a priori* es utilizando una transformación Box-Cox (Box y Cox, 1964). La transformación de Box-Cox de parámetro λ_k para la variable observada x_{knj} puede expresarse como la Ecuación 4.4. Lambda es un parámetro a estimar e indica la potencia a la que deben elevarse los datos.

$$x_{knj}^{(\lambda_k)} = \begin{cases} \frac{x_{knj}^{\lambda_k} - 1}{\lambda_k} & \text{si } \lambda_k \neq 0 \\ \ln(x_{knj}) & \text{si } \lambda_k = 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

Gaudry y Wills (1978) desarrollaron el modelo logit Box-Cox (BCL) que, al hacer uso de la transformación BC, permite que los datos sean los que guíen al analista en la determinación de la forma óptima de la relación entre las variables y la utilidad.

Existe la posibilidad de confundir una influencia no lineal de los atributos en la utilidad con una heterogeneidad en las preferencias de los decisores. Si la influencia real de una variable en la función de utilidad es no lineal y especificamos un modelo lineal con coeficientes aleatorios, el coeficiente aparecerá como distribuido aleatoriamente en la población de los decisores. Sin embargo, esta aleatoriedad responde a una especificación incorrecta; realmente ese coeficiente debería ser interpretado como una variación sistemática entre situaciones de elección en función del valor de la variable (no linealidad) y no como una variación distribuida en la población (coeficientes aleatorios). Es decir, si la realidad fuese no lineal con coeficientes constantes, todos los individuos tendrían el mismo coeficiente para el mismo valor de la variable; esto es, valorarían igual ese atributo. Sin embargo, el mismo individuo otorgaría diferente importancia a una unidad de ese atributo en función del valor total.

El modelo logit mixto Box-Cox (*Box-Cox Mixed Logit*, BCML; Orro, 2005) incluye coeficientes aleatorios y una especificación de utilidad no lineal mediante el empleo de transformaciones BC en los atributos. Este modelo aprovecha las ventajas de los modelos ML y BCL y permite, en el caso de influencia no lineal de un atributo, evitar especificaciones erróneas. Cuando se estima un ML y la realidad es no lineal, puede dar lugar a la aparición de heterogeneidades que no se deban a variaciones en preferencias sino a una especificación errónea del modelo. En Orro, Novales, y Benitez (2005) y Orro (2007) puede encontrarse un análisis detallado de este problema.

4.2.2. Tipos de modelos de elección discreta aplicados a la elección portuaria

La Tabla 4.1 resume las publicaciones con datos agregados, usualmente estimados por el método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS). La Tabla 4.2 recoge los trabajos con datos desagregados, usualmente estimados por máxima verosimilitud (MLE). Para cada estudio, la tabla muestra el tipo de DCM utilizado (indicando el método de estimación usado entre paréntesis), el área geográfica, la fuente de datos y el número de observaciones de la muestra de estimación (véase la Tabla 3.1 para consultar las variables incluidas en los modelos). En el contexto de los DCM, “datos desagregados” se refiere a que la unidad de observación (n) es el decisor individual; y “datos agregados” a que las unidades de observación representan datos de decisores agregados, generalmente por zonas geográficas. En los DCM agregados, los datos se especifican al nivel zonal y la variable dependiente suele ser el cociente del flujo de transporte entre dos zonas. Para más información sobre DCM con datos agregados consúltese por ejemplo, (De Jong y Kroes, 2014, p. 134).

Malchow y Kanafani (2001) fueron los primeros en analizar la elección portuaria con DCM estimando un MNL con datos desagregados. Hoy en día, aún sigue siendo el modelo más utilizado para el análisis de la elección portuaria. Posteriormente, Anderson *et al.* (2009), S. Veldman *et al.* (2011) y Vega *et al.* (2014) propusieron el uso de un modelo NL, estimando una elección en dos fases: primero, selección de costa, y después, elección de puerto. Es decir, agruparon los puertos en nidos según su posición geográfica. Los tres trabajos mostraron que la estructura anidada proporcionaba una mejora en el análisis del comportamiento de la elección portuaria. Analizaban tres países con dos lados costeros claramente diferenciados (EE.UU., Colombia y España, respectivamente). Además, Vega *et al.* (2014) en un empeño por superar las limitaciones del MNL y NL, plantearon un ML con una especificación de componentes de error (EC). Para ello, se centraron en el estudio de la correlación entre las alternativas portuarias, pero no en la heterogeneidad aleatoria de las preferencias, objetivo de análisis en esta investigación.

La mayoría de los estudios indican que para identificar los determinantes de la elección del puerto con suficiente validez, es necesario entender quién hace la elección (Martínez Moya y Feo Valero, 2016). Sin embargo, la investigación empírica casi siempre ha ignorado las diferencias en el comportamiento de elección entre los decisores portuarios. Esto se debe principalmente a la falta de información: bien sea porque no se recoge explícitamente quién tomó las decisiones portuarias o porque los estudios se realizan desde una única perspectiva.

Tabla 4.1

Clasificación de los trabajos que analizan la elección portuaria mediante DCM (datos agregados)

| Referencias | Modelo [†] | Área geográfica | Datos | Obs.* |
|--|---------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|
| Blonigen y Wilson (2006) | MNL (OLS) | EE.UU | <i>US Customs and Border</i> | 95680 (M) |
| Garcia-Alonso y Sanchez-Soriano (2009) | MNL (MLE) | Península española | DECE [§] | - |
| S. Veldman y Gopkalo (2011) | MNL (OLS) | Rusia | <i>Russian containerised</i> | 241 + 287 (M+X) |
| S. Veldman <i>et al.</i> (2011) | MNL (OLS) | Península española | DECE | 1984 + 2211 (M+X) |
| S. Veldman <i>et al.</i> (2013) | NL (OLS) | Península española | DECE | 1984 + 2211 (M+X) |
| S. Veldman <i>et al.</i> (2015) | MNL (OLS) | Península española | DECE | 1984 + 2211 (M+X) |

[†] Método de estimación entre paréntesis.

* Se señala el sentido del flujo considerado entre paréntesis: importaciones (M) y exportaciones (X).

[§] Datos Estadísticos de Comercio Exterior (DECE, Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales (2014)).

Tabla 4.2

Clasificación de los trabajos que analizan la elección portuaria mediante DCM (datos desagregados)

| Referencias | Modelo † | Área geográfica | Datos | Observaciones* |
|-------------------------------|-----------------------------------|--|-----------------------------|----------------|
| Malchow y Kanafani (2001) | MNL (MLE) | EE.UU. | PIERS | 4842 (X) |
| Nir <i>et al.</i> (2003) | MNL (MLE) | Taiwán | Encuesta (cargadores) | 309 (M+X) |
| Tongzon y Sawant (2007) | MNL § | Singapur y Malasia | Encuesta (compañía naviera) | 31 |
| Anderson <i>et al.</i> (2009) | NL (MLE) | EE.UU. | PIERS | 470766 (M) |
| Steven y Corsi (2012) | MNL (OLS) | Área metropolitana de Pittsburgh (EE.UU) | PIERS | 19556 (M) |
| Vega <i>et al.</i> (2014) | MNL (MLE) NL (MLE) EC (MLE) | Colombia | DIAN | 20000 (M+X) |
| Yang <i>et al.</i> (2016) | MNL | Bahía de Bohai (China) | China Ports | 1721 (M+X) |
| Kashiha <i>et al.</i> (2016) | MNL (MLE) | Austria | PIERS | 2084857 (X) |

† Método de estimación entre paréntesis.

§ Modelo logit binario ($j \in \{0, 1\}$). Puede ser visto como un caso especial del MNL; o, al revés, se puede ver el MNL como una extensión del modelo logit binario.

* Se señala el sentido del flujo considerado entre paréntesis: importaciones (M) y exportaciones (X).

Además del estudio de Vega *et al.* (2014), destacan otros dos estudios que tienen en cuenta la heterogeneidad en las preferencias. Son el de Steven y Corsi (2012) y Kashiha *et al.* (2016). Ambos usan interacción de términos. Para reflejar las características del decisor usaron el tamaño de los cargadores, en forma de variable continua. Kashiha *et al.* (2016) excluyeron a los cargadores muy grandes (> 600 TEUs/mes) pero su hipótesis es la misma: los grandes cargadores ceden mayor control a las navieras que los pequeños cargadores. Ambos estudios hallan una heterogeneidad significativa en las preferencias entre los cargadores más pequeños y los más grandes. Los estudios concluyen que los factores que benefician a las navieras son estadísticamente significativos para los grandes cargadores, mientras que los factores que benefician directamente a los cargadores son significativos para los pequeños cargadores. Asimismo, estudian la heterogeneidad a través de las características de los envíos (volumen y valor por unidad) y las circunstancias geográficas (país costero, sin costa o pseudocostero). Por otro lado, Kashiha *et al.* (2016) también estudian la influencia no lineal en la utilidad portuaria del número de fronteras que necesitan atravesar los envíos. Categorizan la variable en: una, dos o más fronteras; y las introducen como variables dicotómicas en la especificación de la utilidad portuaria.

En conclusión, la mayoría de los modelos aplicados al estudio de la elección portuaria asumieron hipótesis que podrían no corresponderse con la realidad: independencia de las alternativas y de las observaciones, homogeneidad en las preferencias de los decisores e influencia lineal de los atributos en la utilidad portuaria. Esto podría conducir a interpretaciones erróneas del comportamiento y a predicciones poco precisas de las elecciones portuarias. El objetivo de este capítulo es contribuir a superar estas limitaciones. Para ello, se propone introducir transformaciones Box-Cox en las variables y coeficientes aleatorios en la especificación de la elección portuaria propuesta en el Capítulo 3 (MNL 4, Ecuación (3.10)).

4.3. Formulación general del modelo logit mixto Box-Cox aplicado a la elección portuaria

Las formulaciones generales de los modelos MNL, NL y ML están ampliamente descritas y pueden consultarse en la literatura existente (véanse las referencias recogidas en la Sección 4.2.1). Sin embargo, no es el caso del BCML. Su desarrollo original se presentó en Orro (2005); a continuación se particulariza para el ámbito de la elección portuaria.

La función de utilidad portuaria para el modelo BCML se puede formular de acuerdo a la Ecuación (4.5). Por un lado, se representan como β_{knj} las preferencias de los decisores portuarios. Estas varían en la población según una distribución $f(\beta|\theta)$ que establece el analista; f es una función de densidad

general dependiente de los parámetros de la distribución θ que la describen (por ejemplo, media y varianza de la población de los decisores portuarios). Por otro lado, $x_{knj}^{(\lambda_k)}$ son las variables observadas vinculadas con el puerto j a las que se aplica la transformación Box-Cox de parámetro λ_k . Finalmente, ε_{nj} simboliza los errores Gumbel independientes e idénticos.

$$\begin{aligned}
 U_{nj} &= ASC_j + \sum_{k=1}^K \beta_{knj} x_{knj}^{(\lambda_k)} + \varepsilon_{nj} \\
 \beta_{knj} &\sim f(\beta|\theta) \\
 x_{knj}^{(\lambda_k)} &= \begin{cases} \frac{x_{knj}^{\lambda_k} - 1}{\lambda_k} & \text{si } \lambda_k \neq 0 \\ \ln(x_{knj}) & \text{si } \lambda_k = 0 \end{cases} \\
 \varepsilon_{nj} &\sim \text{Gumbel iid.}
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Similar al ML, las probabilidades de elección BCML se calculan como la probabilidad logit integrada sobre las funciones de densidad de los parámetros. Así, la probabilidad de que el envío n se canalice por el puerto j es:

$$P_{nj} = \int_{\beta, \lambda} L_{nj}(\beta, \lambda) f(\beta|\theta) d\beta \tag{4.6}$$

donde $L_{nj}(\beta, \lambda)$ es la probabilidad logit evaluada en los parámetros β y λ .

Si se considera por normalización que el factor de escala de la distribución de Gumbel es uno, entonces $L_{nj}(\beta, \lambda)$ se puede escribir como:

$$L_{nj}(\beta, \lambda) = \frac{e^{ASC_j + \sum_{k=1}^K \beta_{knj} x_{knj}^{(\lambda_k)}}}{\sum_{i=1}^J e^{ASC_i + \sum_{k=1}^K \beta_{kni} x_{kni}^{(\lambda_k)}}} \tag{4.7}$$

Desafortunadamente, como en el caso del ML, la integral no es resoluble analíticamente y se necesita recurrir a un método de simulación para la estimación. Por ejemplo, se puede resolver tomando R extracciones de la función de distribución que representa las preferencias de envío $f(\beta|\theta)$, o lo que es lo mismo, utilizar el método de integración de Montecarlo. De acuerdo con este método, la probabilidad simulada se calcula de la siguiente manera: en primer lugar, se coge una extracción r de la función $f(\beta|\theta)$; segundo, se calcula $L_{nj}(\beta^r, \lambda)$ con el valor extraído; y finalmente, se promedian los R resultados como se muestra en la Ecuación (4.8) donde ξ_{kn} es una variable aleatoria con una distribución estandarizada (media cero y varianza uno) análoga a la del coeficiente correspondiente ($\beta_{kn} = \mu_k + \sigma_k * \xi_{kn}$). El promedio obtenido es la probabilidad

simulada (SP_{nj}).

$$SP_{nj} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R L_{nj}(\beta^r, \lambda) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \frac{e^{ASC_j + \sum_{k=1}^K (\mu_k + \sigma_k * \xi_{kn}^r) x_{knj}^{(\lambda_k)}}}{\sum_{i=1}^J e^{ASC_i + \sum_{k=1}^K (\mu_k + \sigma_k * \xi_{kn}^r) x_{kni}^{(\lambda_k)}}} \quad (4.8)$$

La estimación del modelo consiste en obtener las constantes específicas de las alternativas (ASC_j), los parámetros de la distribución (μ_k y σ_k) y los exponentes de las transformaciones BC (λ_k). Por simplicidad, en lo sucesivo los abreviaremos por Θ . La idea básica del enfoque de estimación por máxima verosimilitud (MLE) es tratar a los coeficientes Θ como variables y a la log-verosimilitud como función objetivo. La estimación BCML selecciona los valores de Θ que maximizan el ajuste de la especificación de utilidad al conjunto de datos. Si las observaciones del conjunto de datos son independientes, la función de verosimilitud simulada viene dada por el producto de las probabilidades del modelo simulado, SP_{nj} :

$$SL(\Theta) = \prod_n^N \prod_{j=1}^J SP_{nj}^{y_{nj}} \quad (4.9)$$

donde y_{nj} toma el valor uno si el envío n se canaliza a través del puerto j y cero en otro caso. Para facilitar la maximización numérica, se toma el logaritmo neperiano de la verosimilitud (o log-verosimilitud):

$$SLL(\Theta) = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J y_{nj} \ln(SP_{nj}) \quad (4.10)$$

4.4. Especificaciones propuestas

El objetivo de este capítulo es introducir heterogeneidad en las preferencias e influencia no lineal de las variables en la utilidad a través de transformaciones Box-Cox. Se hará, paso a paso, partiendo de la especificación MNL propuesta en el Capítulo 3.

En el capítulo anterior se demostró que la distancia en origen, la longitud de la ruta marítima a destino (kilómetros necesarios para alcanzar el principal puerto del país de destino de la mercancía), el número de grúas pórtico portacontenedores que hay en un puerto y el indicador de grado de uso de las instalaciones portuarias resultaban atributos significativos en el estudio de la elección portuaria (véase la Sección 3.7). Estos atributos se recogen en la Tabla 4.3. El indicador del grado de uso de las instalaciones del puerto ($TC_j(t-1)$)¹ se calcula teniendo en cuenta el

¹ Como ya se señaló en la Sección 3.5.2 el indicador se desfasa un año para evitar problemas de endogeneidad.

tráfico de contenedores en TEUs que se canalizan por el puerto j en el año $t - 1$ dividido entre las grúas STS.

La especificación MNL del Capítulo 3 se recoge de nuevo en la Ecuación (4.11), donde ASC_j son las constantes específicas de las alternativas y $\beta_{DO}, \beta_{DD}, \beta_{CR}, \beta_{TC}^q$ son coeficientes genéricos (mismo coeficiente para todas las alternativas). Nótese que ya se consideraba una influencia no lineal en la utilidad para el indicador de grado de uso, pero no era una transformación Box-Cox. En este capítulo se mantiene el mismo enfoque: se divide $TC_j(t - 1)$ en Q clases y cada una de ellas se introduce en el modelo como una variable dicotómica ($TC_j^q(t - 1)$).

Tabla 4.3

Descripción de las variables

| Variable | Descripción |
|---------------|---|
| DO_{nj} | Distancia por carretera entre el puerto j y la provincia origen del envío n . |
| DD_{nj} | Longitud de la ruta marítima entre el puerto j y el país de destino para el envío n . |
| $CR_j(t)$ | Número de grúas STS en el puerto j en el año t . |
| $TC_j(t - 1)$ | Indicador del grado de uso de las instalaciones del puerto j para cada año $t - 1$. |

$$U_{nj} = ASC_j + \beta_{DO} * DO_{nj} + \beta_{DD} * DD_{nj} + \beta_{CR} * CR_j(t) + \sum_{q=1}^Q \beta_{TC}^q * TC_j^q(t - 1) + \varepsilon_{nj} \quad (4.11)$$

En primer lugar, se introduce únicamente la heterogeneidad en las preferencias de los decisores: para ello, se supone que los coeficientes de DO_{nj} y DD_{nj} son coeficientes aleatorios que representan valores diferentes para cada envío, con una distribución a estimar en la población (especificación de coeficientes aleatorios). La elección de la distribución apropiada para los parámetros aleatorios no es una cuestión trivial pues, en general, no se dispone de información sobre la forma real de esa distribución (para una discusión general sobre las distribuciones utilizadas véase Hensher y Greene, 2003; Train y Sonnier, 2003; Hess, Bierlaire, y Polak, 2005). La Ecuación (4.12) presenta la especificación para el modelo ML. Supone que los coeficientes son genéricos y siguen distribuciones normales² con media

² También se estimaron distribuciones log-normales y triangulares, pero si bien se conseguía delimitar mejor los coeficientes aleatorios, no había una mejora en la log-verosimilitud final.

μ_k y varianza σ_k^2 : $\beta_{DO} \sim \mathcal{N}(\mu_{DO}, \sigma_{DO}^2)$, $\beta_{DD} \sim \mathcal{N}(\mu_{DD}, \sigma_{DD}^2)$.

$$U_{nj} = ASC_j + (\mu_{DO} + \sigma_{DO} * \xi_{DO_n}) * DO_{nj} + (\mu_{DD} + \sigma_{DD} * \xi_{DD_n}) * DD_{nj} + \beta_{CR} * CR_j(t) + \sum_{q=1}^Q \beta_{TC}^q * TC_j^q(t-1) + \varepsilon_{nj} \quad (4.12)$$

En segundo lugar, se especifica un modelo con una influencia no lineal de los atributos. La ecuación (4.13) detalla la especificación para el modelo BCL. La transformación de Box-Cox se aplica a DO_{nj} y DD_{nj} . Se asume que los exponentes son genéricos. Es decir, un exponente único para todas las alternativas: λ_{DO} , λ_{DD} .

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{nj} = ASC_j + \beta_{DO} * \frac{DO_{nj}^{\lambda_{DO}-1}}{\lambda_{DO}} + \beta_{DD} * \frac{DD_{nj}^{\lambda_{DD}-1}}{\lambda_{DD}} + \beta_{CR} * CR_j(t) + \sum_{q=1}^Q \beta_{TC}^q * TC_j^q(t-1) + \varepsilon_{nj} \quad si \quad \lambda_k \neq 0 \\ U_{nj} = ASC_j + \beta_{DO} * \ln(DO_{nj}) + \beta_{DD} * \ln(DD_{nj}) + \beta_{CR} * CR_j(t) + \sum_{q=1}^Q \beta_{TC}^q * TC_j^q(t-1) + \varepsilon_{nj} \quad si \quad \lambda_k = 0 \end{array} \right. \quad (4.13)$$

Por último, se introducen tanto la heterogeneidad en las preferencias como la influencia no lineal de los atributos DO_{nj} y DD_{nj} ³. La especificación detallada para el modelo BCML se puede expresar como:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{nj} = ASC_j + (\mu_{DO} + \sigma_{DO} * \xi_{DO_n}) * \frac{DO_{nj}^{\lambda_{DO}-1}}{\lambda_{DO}} + (\mu_{DD} + \sigma_{DD} * \xi_{DD_n}) * \frac{DD_{nj}^{\lambda_{DD}-1}}{\lambda_{DD}} + \beta_{CR} * CR_j(t) + \sum_{q=1}^Q \beta_{TC}^q * TC_j^q(t-1) + \varepsilon_{nj} \quad si \quad \lambda_k \neq 0 \\ U_{nj} = ASC_j + (\mu_{DO} + \sigma_{DO} * \xi_{DO_n}) * \ln(DO_{nj}) + (\mu_{DD} + \sigma_{DD} * \xi_{DD_n}) * \ln(DD_{nj}) + \beta_{CR} * CR_j(t) + \sum_{q=1}^Q \beta_{TC}^q * TC_j^q(t-1) + \varepsilon_{nj} \quad si \quad \lambda_k = 0 \end{array} \right. \quad (4.14)$$

4.5. Resultados de la estimación y discusión

Los modelos de este capítulo fueron estimados con BIOGEME, como los estimados en el Capítulo 3. Para simular las probabilidades de elección en

³La heterogeneidad y la no linealidad de $CR_j(t)$ también fueron estimadas, pero no resultaron significativas.

Tabla 4.4

Parámetros estimados y resumen estadístico (MNL y ML)

| Variables (unidades) | MNL | | | | ML | | | |
|----------------------------|------------------|-----------------------|----------------|---------|---------------------|-----------------------|----------------|---------|
| | Valor | Error Std. rob. | Test-t rob. | p-valor | Valor | Error Std. rob. | Test-t rob. | p-valor |
| ASC_{ALG} | -1.47 | 0.01 | -132.76 | 0.00 | -3.19 | 0.03 | -118.65 | 0.00 |
| ASC_{BAR} | 0.00 | | | | 0.00 | | | |
| ASC_{BIL} | -7.92 | 0.07 | -114.99 | 0.00 | -22.30 | 0.13 | -177.04 | 0.00 |
| ASC_{VAL} | -0.56 | 0.01 | -96.71 | 0.00 | -0.94 | 0.01 | -116.64 | 0.00 |
| β_{CR} (10^3 ud) | 5.93 | 0.82 | 7.21 | 0.00 | 7.80 | 1.14 | 6.83 | 0.00 |
| β_{DO} (10^3 km) | -6.86 | 0.01 | -844.58 | 0.00 | μ_{DO} -12.90 | 0.05 | -260.90 | 0.00 |
| | | | | | σ_{DO} 6.00 | 0.03 | 176.94 | 0.00 |
| β_{DD} (10^4 km) | -7.98 | 0.09 | -87.03 | 0.00 | μ_{DD} -10.40 | 0.16 | -65.59 | 0.00 |
| | | | | | σ_{DD} 38.00 | 0.31 | 124.33 | 0.00 |
| β_{TC}^A | -0.31 | 0.13 | -2.31 | 0.02 | -0.56 | 0.20 | -2.76 | 0.01 |
| β_{TC}^B | 0.00 | | | | 0.00 | | | |
| β_{TC}^C | 0.20 | 0.01 | 32.09 | 0.00 | 0.34 | 0.01 | 38.90 | |
| β_{TC}^D | -0.59 | 0.01 | -43.26 | 0.00 | -0.66 | 0.03 | -24.94 | 0.00 |
| N | 1000000 | | | | 1000000 | | | |
| MLHS | - | | | | 250 | | | |
| k | 9 | | | | 11 | | | |
| $(S)LL(\Theta)$ | -404586.71 | | | | -372608.46 | | | |
| $\rho^2 \mid \bar{\rho}^2$ | 0.708 \mid 0.536 | | | | 0.731 \mid 0.573 | | | |

los modelos que requieren máxima verosimilitud simulada (ML y BCML) se emplearon 250 extracciones pseudo-aleatorias generadas a partir de secuencias MLHS (*Modified Latin Hypercube Sampling*, Hess, Train, y Polak, 2006). En Hess *et al.* (2006) puede encontrarse una discusión sobre del uso de extracciones MLHS *versus* extracciones Halton.

Para estimar los modelos de este capítulo, dada su mayor complejidad, se extrajo una muestra aleatoria de 1 millón de observaciones de los casi 6 millones que contenía la base de preferencias reveladas que se definió en el capítulo anterior (Véase la Sección 3.6). Con el fin de asegurar la consistencia de los resultados, se estimaron diferentes tamaños de muestras con diferente número de extracciones MLHS. Puesto que sólo se encontraron ligeras diferencias, el modelo se considera estable para la muestra de 1 millón de observaciones y 250 extracciones MLHS.

Los resultados de la estimación se presentan en las Tablas 4.4 y 4.5. Siguiendo la línea del capítulo anterior, se tomaron como referencia la constante específica de Barcelona y la categoría B para el indicador de grado de uso de las instalaciones portuarias. Para analizar si los parámetros son estadísticamente significativos o no, ahora debe tenerse en cuenta que la hipótesis nula es que el parámetro es igual a cero para todos los parámetros excepto los exponentes de la transformación BC,

Tabla 4.5

Parámetros estimados y resumen estadístico (BCL y BCML)

| Variables (unidades) | BCL | | | | BCML | | | |
|--------------------------------|---------------|-----------------------|----------------|---------|--------------------|-----------------------|----------------|---------|
| | Valor | Error Std. rob. | Test-t rob. | p-valor | Valor | Error Std. rob. | Test-t rob. | p-valor |
| ASC_{ALG} | -1.63 | 0.01 | -139.14 | 0.00 | -2.41 | 0.02 | -138.80 | 0.00 |
| ASC_{BAR} | 0.00 | | | | 0.00 | | | |
| ASC_{BIL} | -7.87 | 0.07 | -113.81 | 0.00 | -14.60 | 0.10 | -153.05 | 0.00 |
| ASC_{VAL} | -0.37 | 0.01 | -62.48 | 0.00 | -0.72 | 0.01 | -95.75 | 0.00 |
| $\beta_{CR} (10^3 \text{ ud})$ | 2.93 | 0.84 | 3.49 | 0.00 | 3.75 | 1.04 | 3.61 | 0.00 |
| $\beta_{DO} (10^3 \text{ km})$ | -3.70 | 0.01 | -267.18 | 0.00 | μ_{DO} -5.11 | 0.03 | -166.19 | 0.00 |
| | | | | | σ_{DO} 2.41 | 0.02 | 154.20 | 0.00 |
| λ_{DO} | 0.58 | 0.00 | 290.23 | 0.00 | 0.46 | 0.00 | 107.01 | 0.00 |
| $\beta_{DD} (10^4 \text{ km})$ | -3.64 | 0.08 | -42.93 | 0.00 | μ_{DD} -5.61 | 0.11 | -49.70 | 0.00 |
| | | | | | σ_{DD} 6.67 | 0.17 | 39.91 | 0.00 |
| λ_{DD} | 0.25 | 0.01 | 39.52 | 0.00 | 0.41 | 0.01 | 72.46 | 0.00 |
| β_{TC}^A | -0.34 | 0.13 | -2.60 | 0.01 | -0.82 | 0.14 | -5.79 | 0.00 |
| β_{TC}^B | 0.00 | | | | 0.00 | | | |
| β_{TC}^C | 0.20 | 0.01 | 30.46 | 0.00 | 0.30 | 0.01 | 38.33 | 0.00 |
| β_{TC}^D | -0.32 | 0.01 | -22.87 | 0.00 | -0.21 | 0.02 | -11.08 | 0.00 |
| N | 1000000 | | | | 1000000 | | | |
| MLHS | - | | | | 250 | | | |
| k | 11 | | | | 13 | | | |
| (S)LL(Θ) | -368656.88 | | | | -353602.90 | | | |
| $\rho^2 \bar{\rho}^2$ | 0.734 0.577 | | | | 0.735 0.595 | | | |

que es uno. En todos los casos se obtiene un p-valor bajo (p-valor < 0.02), por lo tanto se puede rechazar la hipótesis nula con un 98% de confianza.

En conjunto para los cuatro modelos estimados (MNL, ML, BCL y BCML), se puede decir que todos los parámetros estimados son estadísticamente significativos y, en general, tienen el signo esperado. Igual que en el capítulo anterior, el signo de β_{CR} es positivo: si el puerto aumenta el número de grúas pórtico portacontenedores, incrementa su utilidad y, por tanto, la probabilidad de ser elegido. De la misma forma, los resultados muestran que un aumento en los valores de los atributos DO y DD reducen la utilidad del puerto.

En este punto es importante considerar las diferencias entre los parámetros estimados para las variables DO y DD . Para el modelo ML, los parámetros de la distribución de los coeficientes aleatorios (μ_{DO} , σ_{DO} , μ_{DD} , σ_{DD}) son significativamente diferentes de cero. Para ver si esto es debido a la heterogeneidad en los gustos y no a la no linealidad de una variable, se deben observar los resultados arrojados por el modelo BCL. Como se explicaba en la Sección 4.2.1, debe comprobarse si existe o no influencia lineal de los atributos para no asumir, erróneamente, heterogeneidad de preferencias entre los decisores. Observando

los resultados arrojados por el BCL, los exponentes de la transformación BC (λ_{DO} y λ_{DD}) son significativamente diferentes de la unidad. Parece claro que no se puede descartar la presencia de una influencia no lineal. Si ahora observamos los parámetros estimados por el modelo BCML, se observa que todos ellos son significativos; esto confirma la presencia de ambos. Por lo tanto, los coeficientes de DO_{nj} y DD_{nj} son parámetros aleatorios normalmente distribuidos a lo largo de todos los envíos del caso de estudio, y esas variables tienen una influencia no lineal en la utilidad de las alternativas portuarias.

La Figura 4.1 muestra, para el modelo BCML, las contribuciones medias a la función de utilidad de los atributos transformados. Obsérvese que las variables transformadas de BC, excepto para λ igual a cero, pueden descomponerse en dos: [i] la variable $\frac{x^\lambda}{\lambda}$, y [ii] la constante $-\frac{1}{\lambda}$. Dado que los DCM sólo tienen en cuenta diferencias entre las utilidades de las alternativas, esta parte constante no debe considerarse en las representaciones ya que distorsionaría la escala real de influencia.

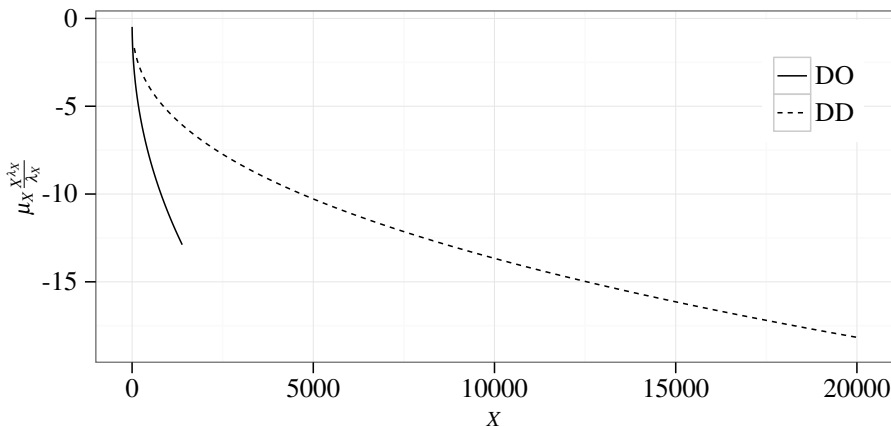


Figura 4.1. Contribuciones medias a la función de utilidad de las variables DO y DD transformadas (BCML)

Los coeficientes estimados para analizar cómo influye el grado de uso de las instalaciones portuarias en la elección portuaria (β_{TC}^A , β_{TC}^B , β_{TC}^C , β_{TC}^D) se muestran en la Figura 4.2. Aunque solamente se representan los resultados para el BCML, los tres modelos presentan resultados similares (véanse las Tablas 4.4 y 4.5) y en la misma línea que los del capítulo anterior (véase la Sección 3.7). Por lo tanto se puede decir que el atractivo del puerto está condicionado por el grado de uso de sus instalaciones y puede identificarse un umbral más allá del cual el atractivo del puerto disminuye. Es decir, hay un punto a partir del cual los beneficios de las economías de aglomeración y de escala así como los efectos red son silenciados por la congestión.

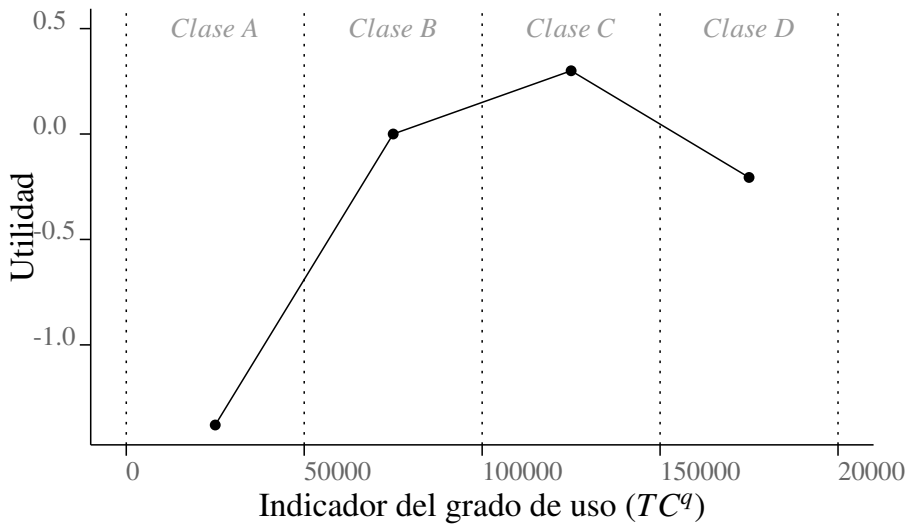


Figura 4.2. Nivel de utilización de las instalaciones portuarias vs utilidad del puerto (BCML)

La Tabla 4.6 resume la información de ajuste de los modelos propuestos a la muestra. Obsérvese que las log-verosimilitudes son simuladas para los modelos ML y BCML. Igual que en el capítulo anterior, para comparar la bondad de ajuste de los modelos se usan los índices: ρ^2 y ρ^2 ajustado ($\bar{\rho}^2$).

Tabla 4.6
Principales resultados estadísticos

| Modelos | LL/(S)LL | ρ^2 | $\bar{\rho}^2$ | AIC | BIC | k | LR | DF | $\chi^2_{3,99\%}$ | Comparación |
|---------|--------------|----------|----------------|------------|------------|----|--------------|----|-------------------|-------------|
| null | -1386294.361 | | | | | | | | | |
| cte | -872135.382 | 0.371 | | | | 3 | -1028317.957 | 3 | 11.340 | cte - null |
| MNL | -404586.714 | 0.708 | 0.536 | 809164.428 | 404648.884 | 9 | -935097.337 | 6 | 16.810 | MNL - cte |
| ML | -372608.465 | 0.731 | 0.573 | 745205.930 | 372684.450 | 11 | -63956.498 | 2 | 9.210 | ML - MNL |
| BCL | -368656.889 | 0.734 | 0.577 | 737302.778 | 368732.874 | 11 | -71859.650 | 2 | 9.210 | BCL - MNL |
| BCML | -353602.901 | 0.745 | 0.595 | 707192.802 | 353692.702 | 13 | -101967.626 | 4 | 13.280 | BCML - MNL |
| | | | | | | | -38011.128 | 2 | 9.210 | BCML - ML |
| | | | | | | | -30107.976 | 2 | 9.210 | BCML - BCL |

Nota: k = parámetros estimados; $\chi^2_{3,99\%}$ = umbral para el 99% con 3 grados de libertad; DF = Grados de libertad.

También se considera el Criterio de Información Akaike (AIC) y el Criterio Bayesiano de Información (BIC). El modelo más adecuado es el que proporciona el valor mínimo de estas medidas. Se calculan como:

$$AIC = 2 * p - 2 * LL(\Theta) \quad (4.15)$$

$$BIC = -LL(\Theta) + 0,5 * k * \ln(N) \quad (4.16)$$

donde $LL(\Theta)$ es el valor de log-verosimilitud en convergencia, k es el número de parámetros estimados y N es el número total de observaciones. El modelo más adecuado es el que proporciona el valor mínimo de estas medidas.

Una vez alcanzada la convergencia de los modelos, la log-verosimilitud más baja y el mejor ajuste en términos de la ρ^2 y $\bar{\rho}^2$ se obtiene para el modelo BCML. BCML también tiene el AIC y el BIC más bajo. Esto demuestra que tener en cuenta tanto la heterogeneidad en las preferencias como la influencia no lineal de los atributos supone un ajuste significativamente mejor a los datos empleados para la calibración.

Se usa la prueba de razón de verosimilitud (*LR*, Ben-Akiva y Lerman, 1985, p. 28-29 y p. 164-167) para comparar los diferentes modelos ⁴. Según *LR*, la posibilidad de que todos los modelos comparados sean iguales se rechaza con una confianza superior al 99 %, por lo que se puede aceptar la inclusión de todos los parámetros propuestos en cada uno de los modelos comparados. Concretamente, se puede decir que además de ser mejor en términos de ajuste, con 4 parámetros adicionales sobre el modelo MNL, el BCML conduce a una mejora en la log-verosimilitud final sobre el MNL de 50983.813 puntos. Esto equivale a un valor de LR igual a -101967.626 . Lo que indica que el modelo MNL es claramente rechazado en favor del modelo BCML, pues el umbral de 13.28 para el 99 % de confianza se supera ampliamente ($|-101967.626| > 13.28$).

4.6. Validación

La validación de los modelos sirve esencialmente para asegurar que las elecciones observadas en una muestra distinta a la usada para estimar el modelo son consistentes con las probabilidades predichas por el modelo calibrado. Para esta investigación, la muestra de validación es una submuestra aleatoria que contiene 25000 observaciones que no fueron utilizadas en la estimación.

El proceso es el siguiente: en primer lugar, para cada observación del conjunto de datos, se calcula la probabilidad de elección de cada una de las alternativas mediante enumeración muestral utilizando la función de utilidad calibrada. En el caso de ML y BCML, se utiliza simulación para calcular las probabilidades

⁴En el Capítulo 3 se usó para comparar las diferentes especificaciones MNL, véase la Tabla 4.6

con 250 extracciones pseudo-aleatorias MLHS (igual que se hacía para la estimación). En segundo lugar, para cada alternativa, se suman las probabilidades calculadas en el primer paso y se obtiene el número de envíos que se canalizan a través de cada uno de los puertos. Una vez realizados los pasos anteriores, se puede obtener fácilmente la ‘probabilidad media de la alternativa elegida’ (PMAE). Para ello se selecciona la probabilidad de la alternativa escogida en cada observación y se realiza el promedio entre todas las observaciones. Nótese que esto es diferente al ‘porcentaje de predicción correcta’ o ‘recuperación de la primera preferencia’ (FPR, *first preference recovery*). FPR identifica, para cada observación de la muestra, la alternativa con la probabilidad de elección más alta y calcula el porcentaje de observaciones para las cuales la alternativa con la mayor probabilidad de elección y la alternativa elegida son las mismas (véase Train, 2009; Ortúzar y Willumsen, 2011 para una discusión entre ambos indicadores).

La PMAE se utiliza para hacer una primera aproximación a la hora de validar los modelos. PMAE permite saber si los modelos han sido sobre-ajustados a los datos de estimación (Hess, 2005). Los resultados muestran que la probabilidad media de la muestra de validación es prácticamente la misma que la obtenida con la muestra de estimación (véase la Tabla 4.7). Esto sugiere que ninguno de los modelos ha sido sobreajustado a los datos de estimación y, por lo tanto, deberían arrojar buenas predicciones con nuevos datos.

Tabla 4.7

Probabilidad media de la alternativa elegida para muestras de estimación y validación

| Tipo de muestra | MNL | ML | BCL | BCML |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| Estimación | 0.7812 | 0.8022 | 0.7973 | 0.8100 |
| Validación | 0.7808 | 0.8018 | 0.7970 | 0.8094 |

Una vez realizada una primera aproximación a la validación, es necesario dar un paso más y ver la consistencia de los modelos como predictores de las elecciones portuarias registradas en la muestra de validación. Para probarlo, se utiliza la prueba de bondad de ajuste χ^2 definida en la Ecuación 4.17, siendo \hat{N}_j el número observado de individuos que eligen la alternativa i y N_j el número estimado según el modelo ajustado. Una vez calculado el estadístico del contraste, este debe contrastarse con el valor crítico de la distribución χ^2 para el nivel de confianza deseado con $J - 1$ grados de libertad.

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^J \frac{(\hat{N}_j - N_j)^2}{N_j} \quad (4.17)$$

Los cuatro modelos arrojaron valores del estadístico de contraste χ^2 menores que el valor crítico de 7.82 para un nivel de confianza del 95 % (véase la Tabla 4.8). Por lo tanto, puede aceptarse la hipótesis nula de que el modelo es coherente con los datos; o lo que es igual, no hay evidencia de que alguno de los modelos sea inconsistente con los datos. Esto se verificó con otras 15 muestras de validación, tampoco usadas en la estimación (véase la Tabla 4.9)

Tabla 4.8

Comparación de los valores observados con los valores predichos por los modelos MNL, ML, BC y BCML (muestra de validación)

| <i>j</i> | <i>N_j</i> | <i>N̂_j</i> | | | | | | | | | |
|-----------|----------------------|-----------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|--|
| | | Valores observados | | MNL | | ML | | BCL | | BCML | |
| Algeciras | 1406 | 5.62 % | 1422.25 | 5.69 % | 1481.27 | 5.93 % | 1431.89 | 5.73 % | 1446.17 | 5.78 % | |
| Barcelona | 13074 | 52.30 % | 13032.90 | 52.13 % | 13013.00 | 52.05 % | 13038.50 | 52.15 % | 13076.30 | 52.31 % | |
| Bilbao | 12 | 0.05 % | 7.68 | 0.03 % | 13.65 | 0.05 % | 7.60 | 0.03 % | 14.30 | 0.06 % | |
| Valencia | 10508 | 42.03 % | 10537.20 | 42.15 % | 10492.10 | 41.97 % | 10522.00 | 42.09 % | 10463.20 | 41.85 % | |
| Total | 25000 | | 25000.03 | | 25000.02 | | 24999.99 | | 24999.97 | | |
| | | $\chi^2_{5,99\%}$ | 2.82 | | 4.33 | | 3.13 | | 1.68 | | |

Finalmente, ya que ninguno de los modelos está sobreespecificado y todos producen predicciones consistentes con los datos, se pueden ordenar los modelos de acuerdo a la prueba de razón de verosimilitud (*LR*) y según su ajuste a los datos: ρ^2 , $\bar{\rho}^2$, *AIC* y *BIC* (véase la Tabla 4.6). A pesar de que las diferencias en términos de ajuste entre los modelos son modestas, hay evidencia de que el modelo BCML modela mejor el comportamiento de la elección portuaria pues tiene los menores *LR*, *AIC* y *BIC* y los mayores ρ^2 y $\bar{\rho}^2$.

Tabla 4.9

Comparación de los valores observados con los valores predichos por los modelos MNL, ML, BC y BCML (muestras de validación adicionales)

| j | N_j | | \hat{N}_j | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Alternativa portuaria | Valores observados | | MNL | ML | | BCL | | BCML | | |
| Muestra de validación 1 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1434 | 5.74 % | 1479.61 | 5.92 % | 1534.07 | 6.14 % | 1493.78 | 5.98 % | 1507.11 | 6.03 % |
| Barcelona | 12840 | 51.36 % | 12808.50 | 51.23 % | 12777.20 | 51.11 % | 12796.70 | 51.19 % | 12832.20 | 51.33 % |
| Bilbao | 13 | 0.05 % | 7.49 | 0.03 % | 14.71 | 0.06 % | 7.34 | 0.03 % | 13.92 | 0.06 % |
| Valencia | 10713 | 42.85 % | 10704.40 | 42.82 % | 10674.10 | 42.70 % | 10702.20 | 42.81 % | 10646.70 | 42.59 % |
| Total | 25000 | | 25000.00 | | 25000.08 | | 25000.02 | | 24999.93 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 5.54 | | 7.18 | | 6.91 | | 4.03 | |
| Muestra de validación 2 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1442 | 5.77 % | 1472.81 | 5.89 % | 1527.93 | 6.11 % | 1468.17 | 5.87 % | 1488.77 | 5.96 % |
| Barcelona | 12884 | 51.54 % | 12945.30 | 51.78 % | 12909.30 | 51.64 % | 12953.70 | 51.81 % | 12975.80 | 51.90 % |
| Bilbao | 14 | 0.06 % | 7.62 | 0.03 % | 13.01 | 0.05 % | 7.67 | 0.03 % | 14.38 | 0.06 % |
| Valencia | 10660 | 42.64 % | 10574.30 | 42.30 % | 10549.80 | 42.20 % | 10570.50 | 42.28 % | 10521.10 | 42.08 % |
| Total | 25000 | | 25000.03 | | 25000.04 | | 25000.04 | | 25000.05 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 6.96 | | 6.11 | | 6.82 | | 3.96 | |
| Muestra de validación 3 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1440 | 5.76 % | 1449.73 | 5.80 % | 1509.85 | 6.04 % | 1447.01 | 5.79 % | 1470.45 | 5.88 % |
| Barcelona | 12996 | 51.98 % | 12921.20 | 51.68 % | 12883.90 | 51.54 % | 12933.10 | 51.73 % | 12951.60 | 51.81 % |
| Bilbao | 11 | 0.04 % | 7.98 | 0.03 % | 12.74 | 0.05 % | 7.87 | 0.03 % | 15.26 | 0.06 % |
| Valencia | 10553 | 42.21 % | 10621.10 | 42.48 % | 10593.50 | 42.37 % | 10612.00 | 42.45 % | 10562.70 | 42.25 % |
| Total | 25000 | | 25000.01 | | 24999.99 | | 24999.98 | | 25000.01 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 2.08 | | 4.60 | | 1.92 | | 1.98 | |
| Muestra de validación 4 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1493 | 5.97 % | 1454.19 | 5.82 % | 1514.92 | 6.06 % | 1471.66 | 5.89 % | 1488.12 | 5.95 % |
| Barcelona | 12876 | 51.50 % | 12894.90 | 51.58 % | 12864.80 | 51.46 % | 12887.70 | 51.55 % | 12922.70 | 51.69 % |
| Bilbao | 12 | 0.05 % | 7.35 | 0.03 % | 13.14 | 0.05 % | 7.17 | 0.03 % | 13.38 | 0.05 % |
| Valencia | 10619 | 42.48 % | 10643.50 | 42.57 % | 10607.10 | 42.43 % | 10633.50 | 42.53 % | 10575.90 | 42.30 % |
| Total | 25000 | | 24999.94 | | 24999.96 | | 25000.03 | | 25000.10 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 4.06 | | 0.44 | | 3.59 | | 0.50 | |
| Muestra de validación 5 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1431 | 5.72 % | 1454.17 | 5.82 % | 1511.80 | 6.05 % | 1434.59 | 5.74 % | 1463.60 | 5.85 % |
| Barcelona | 12996 | 51.98 % | 12966.70 | 51.87 % | 12934.90 | 51.74 % | 12975.10 | 51.90 % | 12995.90 | 51.98 % |
| Bilbao | 11 | 0.04 % | 7.06 | 0.03 % | 14.02 | 0.06 % | 7.06 | 0.03 % | 13.29 | 0.05 % |
| Valencia | 10562 | 42.25 % | 10572.00 | 42.29 % | 10539.30 | 42.16 % | 10583.20 | 42.33 % | 10527.20 | 42.11 % |
| Total | 25000 | | 24999.93 | | 25000.02 | | 24999.95 | | 24999.99 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 2.65 | | 5.30 | | 2.28 | | 1.23 | |

(continúa en la siguiente página)

Tabla 4.9. Continuación 2/3.

Comparación de los valores observados con los valores predichos por los modelos MNL, ML, BC y BCML (muestras de validación adicionales)

| j | N_j | | \hat{N}_j | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|-------------------|-------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Alternativa portuaria | Valores observados | | MNL | | ML | | BCL | | BCML | |
| Muestra de validación 6 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1481 | 11.44 % | 1477.31 | 5.91 % | 1533.39 | 6.13 % | 1477.00 | 5.91 % | 1493.20 | 5.97 % |
| Barcelona | 12950 | 100.00 % | 12907.20 | 51.63 % | 12882.70 | 51.53 % | 12902.70 | 51.61 % | 12940.40 | 51.76 % |
| Bilbao | 10 | 0.08 % | 7.46 | 0.03 % | 13.70 | 0.05 % | 7.37 | 0.03 % | 13.85 | 0.06 % |
| Valencia | 10559 | 11.44 % | 10608.00 | 42.43 % | 10570.20 | 42.28 % | 10612.90 | 42.45 % | 10552.50 | 42.21 % |
| Total | 25000 | | 24999.97 | | 24999.99 | | 24999.97 | | 24999.95 | |
| | | $\chi^2_{3;99\%}$ | 1.25 | | 3.15 | | 1.40 | | 1.18 | |
| Muestra de validación 7 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1411 | 10.91 % | 1430.47 | 5.72 % | 1491.32 | 5.97 % | 1433.31 | 5.73 % | 1453.77 | 5.82 % |
| Barcelona | 12937 | 100.00 % | 12938.70 | 51.75 % | 12905.70 | 51.62 % | 12941.90 | 51.77 % | 12968.20 | 51.87 % |
| Bilbao | 10 | 0.08 % | 7.25 | 0.03 % | 13.53 | 0.05 % | 7.31 | 0.03 % | 14.51 | 0.06 % |
| Valencia | 10642 | 10.91 % | 10623.60 | 42.49 % | 10589.40 | 42.36 % | 10617.50 | 42.47 % | 10563.50 | 42.25 % |
| Total | 25000 | | 25000.02 | | 24999.95 | | 25000.02 | | 24999.98 | |
| | | $\chi^2_{3;99\%}$ | 1.34 | | 5.58 | | 1.40 | | 3.32 | |
| Muestra de validación 8 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1493 | 11.59 % | 1473.46 | 5.89 % | 1531.69 | 6.13 % | 1470.56 | 5.88 % | 1491.35 | 5.97 % |
| Barcelona | 12877 | 100.00 % | 12890.60 | 51.56 % | 12871.90 | 51.49 % | 12891.10 | 51.56 % | 12930.70 | 51.72 % |
| Bilbao | 13 | 0.10 % | 8.01 | 0.03 % | 13.23 | 0.05 % | 7.97 | 0.03 % | 15.55 | 0.06 % |
| Valencia | 10617 | 11.59 % | 10628.00 | 42.51 % | 10583.20 | 42.33 % | 10630.40 | 42.52 % | 10562.40 | 42.25 % |
| Total | 25000 | | 25000.07 | | 25000.02 | | 25000.03 | | 25000.00 | |
| | | $\chi^2_{3;99\%}$ | 3.39 | | 1.09 | | 3.55 | | 0.93 | |
| Muestra de validación 9 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1477 | 11.43 % | 1453.17 | 5.81 % | 1509.40 | 6.04 % | 1443.10 | 5.77 % | 1464.29 | 5.86 % |
| Barcelona | 12921 | 100.00 % | 12912.50 | 51.65 % | 12880.30 | 51.52 % | 12921.30 | 51.69 % | 12944.30 | 51.78 % |
| Bilbao | 11 | 0.09 % | 7.56 | 0.03 % | 13.42 | 0.05 % | 7.74 | 0.03 % | 15.23 | 0.06 % |
| Valencia | 10591 | 11.43 % | 10626.80 | 42.51 % | 10596.80 | 42.39 % | 10627.90 | 42.51 % | 10576.20 | 42.30 % |
| Total | 25000 | | 25000.03 | | 24999.92 | | 25000.04 | | 25000.02 | |
| | | $\chi^2_{3;99\%}$ | 2.08 | | 1.26 | | 2.29 | | 1.35 | |
| Muestra de validación 10 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1460 | 11.24 % | 1428.91 | 5.72 % | 1491.25 | 5.97 % | 1428.37 | 5.71 % | 1449.75 | 5.80 % |
| Barcelona | 12992 | 100.00 % | 12955.60 | 51.82 % | 12933.00 | 51.73 % | 12949.60 | 51.80 % | 12990.20 | 51.96 % |
| Bilbao | 13 | 0.10 % | 7.48 | 0.03 % | 14.41 | 0.06 % | 7.56 | 0.03 % | 14.88 | 0.06 % |
| Valencia | 10535 | 11.24 % | 10608.00 | 42.43 % | 10561.40 | 42.25 % | 10614.40 | 42.46 % | 10545.10 | 42.18 % |
| Total | 25000 | | 24999.99 | | 25000.06 | | 24999.93 | | 24999.93 | |
| | | $\chi^2_{3;99\%}$ | 5.36 | | 1.13 | | 5.35 | | 0.32 | |

(continúa en la siguiente página)

Tabla 4.9. Continuación 3/3.

Comparación de los valores observados con los valores predichos por los modelos MNL, ML, BC y BCML (muestras de validación adicionales)

| j | N_j | | \hat{N}_j | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|-------------------|-------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Alternativa portuaria | Valores observados | | MNL | | ML | | BCL | | BCML | |
| Muestra de validación 11 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1475 | 11.34 % | 1448.67 | 5.79 % | 1508.43 | 6.03 % | 1452.45 | 5.81 % | 1473.83 | 5.90 % |
| Barcelona | 13011 | 100.00 % | 12942.40 | 51.77 % | 12917.40 | 51.67 % | 12938.10 | 51.75 % | 12974.60 | 51.90 % |
| Bilbao | 13 | 0.10 % | 7.54 | 0.03 % | 14.09 | 0.06 % | 7.37 | 0.03 % | 14.02 | 0.06 % |
| Valencia | 10501 | 11.34 % | 10601.30 | 42.41 % | 10560.10 | 42.24 % | 10602.10 | 42.41 % | 10537.50 | 42.15 % |
| Total | 25000 | | 24999.91 | | 25000.02 | | 25000.02 | | 24999.95 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 5.74 | | 1.83 | | 6.02 | | 0.30 | |
| Muestra de validación 12 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1446 | 11.11 % | 1445.08 | 5.78 % | 1506.16 | 6.02 % | 1454.41 | 5.82 % | 1475.91 | 5.90 % |
| Barcelona | 13012 | 100.00 % | 12959.30 | 51.84 % | 12933.20 | 51.73 % | 12950.10 | 51.80 % | 12988.30 | 51.95 % |
| Bilbao | 10 | 0.08 % | 7.36 | 0.03 % | 12.89 | 0.05 % | 7.34 | 0.03 % | 14.15 | 0.06 % |
| Valencia | 10532 | 11.11 % | 10588.20 | 42.35 % | 10547.70 | 42.19 % | 10588.10 | 42.35 % | 10521.60 | 42.09 % |
| Total | 25000 | | 24999.94 | | 24999.95 | | 24999.95 | | 24999.96 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 1.46 | | 3.56 | | 1.61 | | 1.88 | |
| Muestra de validación 13 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1415 | 10.78 % | 1391.97 | 5.57 % | 1455.45 | 5.82 % | 1405.30 | 5.62 % | 1416.97 | 5.67 % |
| Barcelona | 13124 | 100.00 % | 13048.00 | 52.19 % | 13025.20 | 52.10 % | 13058.20 | 52.23 % | 13098.90 | 52.40 % |
| Bilbao | 14 | 0.11 % | 7.59 | 0.03 % | 13.12 | 0.05 % | 7.48 | 0.03 % | 13.92 | 0.06 % |
| Valencia | 10447 | 10.78 % | 10552.50 | 42.21 % | 10506.20 | 42.02 % | 10529.00 | 42.12 % | 10470.20 | 41.88 % |
| Total | 25000 | | 25000.06 | | 24999.97 | | 24999.98 | | 24999.99 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 7.30 | | 2.27 | | 6.71 | | 0.10 | |
| Muestra de validación 14 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1452 | 11.27 % | 1431.74 | 5.73 % | 1494.05 | 5.98 % | 1428.52 | 5.71 % | 1456.54 | 5.83 % |
| Barcelona | 12889 | 100.00 % | 12898.90 | 51.60 % | 12863.00 | 51.45 % | 12885.90 | 51.54 % | 12915.10 | 51.66 % |
| Bilbao | 10 | 0.08 % | 7.56 | 0.03 % | 13.44 | 0.05 % | 7.54 | 0.03 % | 14.01 | 0.06 % |
| Valencia | 10649 | 11.27 % | 10661.80 | 42.65 % | 10629.50 | 42.52 % | 10678.10 | 42.71 % | 10614.30 | 42.46 % |
| Total | 25000 | | 25000.00 | | 24999.99 | | 25000.06 | | 24999.95 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 1.10 | | 2.15 | | 1.27 | | 1.33 | |
| Muestra de validación 15 | | | | | | | | | | |
| Algeciras | 1470 | 11.23 % | 1454.87 | 5.82 % | 1515.25 | 6.06 % | 1463.21 | 5.85 % | 1480.58 | 5.92 % |
| Barcelona | 13095 | 100.00 % | 12992.00 | 51.97 % | 12975.70 | 51.90 % | 12990.60 | 51.96 % | 13038.40 | 52.15 % |
| Bilbao | 10 | 0.08 % | 8.05 | 0.03 % | 14.26 | 0.06 % | 7.96 | 0.03 % | 14.94 | 0.06 % |
| Valencia | 10425 | 11.23 % | 10545.00 | 42.18 % | 10494.80 | 41.98 % | 10538.00 | 42.15 % | 10466.00 | 41.86 % |
| Total | 25000 | | 24999.92 | | 25000.01 | | 25000.07 | | 24999.92 | |
| | | $\chi^2_{3,99\%}$ | 2.81 | | 4.19 | | 2.61 | | 2.12 | |

4.7. Análisis de escenarios

En esta sección se muestran las consecuencias prácticas de adoptar o no el BCML frente a los otros modelos en términos de sus capacidades predictivas. Se analiza la elección portuaria de seis envíos hipotéticos. En primer lugar, se define el escenario de base: se seleccionan dos provincias de origen y tres países de destino diferentes; se toman los datos de grúas y el grado de uso de las instalaciones portuarias para un año concreto. En segundo lugar, se plantean dos escenarios para ver cómo afecta un cambio en el grado de uso de las instalaciones portuarias a las probabilidades de elección de cada puerto. Finalmente, se comparan los resultados de los cuatro modelos.

Las provincias de origen seleccionadas son Madrid y Zaragoza; ambas se encuentran entre las principales provincias de origen de la base de datos. Como países de destino se eligen: Estados Unidos, Brasil y China. Estos países se encuentran entre los diez principales países de destino del caso de estudio y tienen una posición geográfica suficientemente diferenciada para poder percibir con claridad si se da un comportamiento diferente en los envíos.

Para cada uno de los envíos se calcula la distancia entre los puertos y: [i] la provincia de origen del comercio (DO_j); [ii] el país de destino del intercambio comercial (DD_j). Se considera el número de grúas pórtico de contenedores ($CR_j(t)$) que tenía cada puerto en el año 2012 y el indicador de uso de las instalaciones portuarias se calcula para el año 2011 ($TC_j(t-1)$).

El escenario base se muestra en la Tabla 4.10: por filas, los envíos; por columnas, las probabilidades de elección de cada puerto, para cada uno de los cuatro modelos calibrados. Para los cuatro modelos se puede observar que mientras para los envíos realizados desde Madrid (I, II y III) se da una fuerte preferencia por Valencia; si el envío se realiza desde Zaragoza (IV, V y VI) la preferencia es para Barcelona. Si atendemos al país de destino, para el MNL, BCL y BCML, la probabilidad de Barcelona aumenta para los envíos a China y la de Algeciras, Bilbao⁵ y Valencia para los envíos realizados a Estados Unidos o Brasil. Para el ML, la excepción son Valencia y Bilbao, cuya probabilidad de elección aumenta para los envíos a China realizados desde Madrid o Zaragoza.

En la parte inferior de la tabla se muestran las diferencias arrojadas por el modelo BCML *versus* los modelos MNL, ML y BCL. Aunque no hay diferencias excesivas, se puede apreciar cómo la probabilidad de elección de cada alternativa sería ligeramente subestimada o sobreestimada dependiendo si la predicción es realizada o no con el modelo BCML.

En el escenario (A) se plantea, *ceteris paribus*, un aumento de tráfico en el Puerto de Valencia que aumentaría el grado de utilización de sus instalaciones portuarias (se pasa de clase C a clase D). Los resultados recogidos en la Tabla

⁵ Para el BCML la probabilidad de Bilbao no varía ni con la provincia de origen ni con el país de destino.

4.11 confirman que la probabilidad de Valencia disminuiría en favor de las otras alternativas. Esto podría deberse, como se discute en la Sección 3.1, a la aparición de congestión. En este caso, el uso del modelo BCML en comparación con el resto arrojaría diferencias porcentuales cercanas al 10%.

En el segundo escenario propuesto (B), se plantea una bajada de tráfico en el puerto de Valencia que provocaría una reducción del grado de uso de sus instalaciones portuarias (paso de clase C a clase A). Un tráfico menor implica un menor impacto de las economías de aglomeración y escala o de los efectos de red, por lo que la probabilidad de selección del puerto de Valencia disminuiría y, en este caso, el descenso sería más pronunciado (véase la Tabla 4.12). Para este escenario, la diferencia en el pronóstico de la cuota de elección arrojado por el modelo BCML con respecto a los otros modelos alcanza diferencias porcentuales entre el 14% y el 18% para los casos más desfavorables.

Tabla 4.10
Análisis del escenario inicial

| Envío [†] | MNL | | | | ML | | | | BCL | | | | BCML | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val |
| I | 6.30 % | 14.33 % | 0.04 % | 79.33 % | 6.19 % | 10.27 % | 0.00 % | 83.54 % | 5.30 % | 20.93 % | 0.03 % | 73.74 % | 2.91 % | 17.43 % | 0.00 % | 79.66 % |
| II | 2.36 % | 19.72 % | 0.00 % | 77.91 % | 1.49 % | 12.71 % | 0.15 % | 85.66 % | 3.79 % | 23.21 % | 0.01 % | 72.99 % | 1.58 % | 20.34 % | 0.00 % | 78.07 % |
| III | 6.30 % | 14.33 % | 0.02 % | 79.34 % | 5.65 % | 10.72 % | 0.00 % | 83.63 % | 5.81 % | 20.30 % | 0.02 % | 73.87 % | 3.36 % | 16.94 % | 0.00 % | 79.69 % |
| IV | 0.30 % | 58.22 % | 0.03 % | 41.45 % | 1.61 % | 63.40 % | 0.00 % | 35.00 % | 0.71 % | 56.50 % | 0.02 % | 42.77 % | 0.86 % | 63.44 % | 0.00 % | 35.70 % |
| V | 0.09 % | 66.25 % | 0.00 % | 33.65 % | 0.96 % | 73.97 % | 0.04 % | 25.03 % | 0.48 % | 59.39 % | 0.01 % | 40.11 % | 0.46 % | 67.88 % | 0.00 % | 31.66 % |
| VI | 0.30 % | 58.23 % | 0.01 % | 41.46 % | 1.34 % | 63.27 % | 0.00 % | 35.38 % | 0.79 % | 55.67 % | 0.02 % | 43.52 % | 1.33 % | 62.15 % | 0.00 % | 36.51 % |
| | MNL- BCML | | | | ML- BCML | | | | BCL- BCML | | | | | | | |
| | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | | | | |
| I | 3 % | -3 % | 0 % | 0 % | 3 % | -7 % | 0 % | 4 % | 2 % | 4 % | 0 % | -6 % | | | | |
| II | 1 % | -1 % | 0 % | 0 % | 0 % | -8 % | 0 % | 8 % | 2 % | 3 % | 0 % | -5 % | | | | |
| III | 3 % | -3 % | 0 % | 0 % | 2 % | -6 % | 0 % | 4 % | 2 % | 3 % | 0 % | -6 % | | | | |
| IV | -1 % | -5 % | 0 % | 6 % | 1 % | 0 % | 0 % | -1 % | 0 % | -7 % | 0 % | 7 % | | | | |
| V | 0 % | -2 % | 0 % | 2 % | 1 % | 6 % | 0 % | -7 % | 0 % | -8 % | 0 % | 8 % | | | | |
| VI | -1 % | -4 % | 0 % | 5 % | 0 % | 1 % | 0 % | -1 % | -1 % | -6 % | 0 % | 7 % | | | | |

[†] I : Madrid - EE.UU
 II : Madrid - China
 III : Madrid - Brasil
 IV : Zaragoza - EE.UU
 V : Zaragoza - China
 VI : Zaragoza - Brasil

Tabla 4.11

Análisis del escenario (A): aumento del grado de uso de las instalaciones portuarias de Valencia

| Envío [†] | MNL | | | | ML | | | | BCL | | | | BCML | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val |
| I | 11.18 % | 25.41 % | 0.06 % | 63.35 % | 9.06 % | 19.46 % | 0.00 % | 71.48 % | 7.55 % | 29.81 % | 0.04 % | 62.60 % | 4.13 % | 24.36 % | 0.00 % | 71.50 % |
| II | 4.13 % | 34.49 % | 0.01 % | 61.37 % | 2.34 % | 23.19 % | 0.10 % | 74.37 % | 5.37 % | 32.92 % | 0.02 % | 61.69 % | 2.07 % | 28.29 % | 0.00 % | 69.65 % |
| III | 11.18 % | 25.41 % | 0.04 % | 63.37 % | 9.87 % | 19.39 % | 0.00 % | 70.74 % | 8.28 % | 28.93 % | 0.03 % | 62.76 % | 4.79 % | 23.79 % | 0.00 % | 71.42 % |
| IV | 0.38 % | 75.40 % | 0.03 % | 24.18 % | 3.03 % | 78.74 % | 0.00 % | 18.23 % | 0.86 % | 68.30 % | 0.02 % | 30.81 % | 1.15 % | 73.93 % | 0.00 % | 24.91 % |
| V | 0.11 % | 81.29 % | 0.00 % | 18.60 % | 0.49 % | 87.79 % | 0.15 % | 11.58 % | 0.58 % | 70.88 % | 0.01 % | 28.53 % | 0.51 % | 77.82 % | 0.00 % | 21.67 % |
| VI | 0.38 % | 75.41 % | 0.02 % | 24.18 % | 2.74 % | 78.72 % | 0.00 % | 18.55 % | 0.96 % | 67.55 % | 0.02 % | 31.47 % | 1.27 % | 73.02 % | 0.00 % | 25.71 % |
| | MNL- BCML | | | | ML- BCML | | | | BCL- BCML | | | | | | | |
| | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | | | | |
| I | 7 % | 1 % | 0 % | -8 % | 5 % | -5 % | 0 % | 0 % | 3 % | 5 % | 0 % | -9 % | | | | |
| II | 2 % | 6 % | 0 % | -8 % | 0 % | -5 % | 0 % | 5 % | 3 % | 5 % | 0 % | -8 % | | | | |
| III | 6 % | 2 % | 0 % | -8 % | 5 % | -4 % | 0 % | -1 % | 3 % | 5 % | 0 % | -9 % | | | | |
| IV | -1 % | 1 % | 0 % | -1 % | 2 % | 5 % | 0 % | -7 % | 0 % | -6 % | 0 % | 6 % | | | | |
| V | 0 % | 3 % | 0 % | -3 % | 0 % | 10 % | 0 % | -10 % | 0 % | -7 % | 0 % | 7 % | | | | |
| VI | -1 % | 2 % | 0 % | -2 % | 1 % | 6 % | 0 % | -7 % | 0 % | -5 % | 0 % | 6 % | | | | |

† I : Madrid - EE.UU
 II : Madrid - China
 III : Madrid - Brasil
 IV : Zaragoza - EE.UU
 V : Zaragoza - China
 VI : Zaragoza - Brasil

Tabla 4.12

Análisis del escenario (B): descenso del grado de uso de las instalaciones portuarias de Valencia

| Envío [†] | MNL | | | | ML | | | | BCL | | | | BCML | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val |
| I | 9.22 % | 20.96 % | 0.05 % | 69.77 % | 8.88 % | 18.08 % | 0.00 % | 73.05 % | 7.66 % | 30.23 % | 0.04 % | 62.07 % | 5.64 % | 34.50 % | 0.00 % | 59.86 % |
| II | 3.42 % | 28.61 % | 0.01 % | 67.96 % | 2.66 % | 21.42 % | 0.04 % | 75.88 % | 5.45 % | 33.38 % | 0.02 % | 61.15 % | 3.01 % | 39.24 % | 0.00 % | 57.76 % |
| III | 9.22 % | 20.96 % | 0.03 % | 69.79 % | 9.34 % | 17.07 % | 0.00 % | 73.59 % | 8.39 % | 29.35 % | 0.03 % | 62.23 % | 6.67 % | 33.24 % | 0.00 % | 60.10 % |
| IV | 0.36 % | 69.75 % | 0.03 % | 29.86 % | 2.89 % | 77.50 % | 0.00 % | 19.61 % | 0.87 % | 68.78 % | 0.02 % | 30.33 % | 1.15 % | 83.44 % | 0.00 % | 15.40 % |
| V | 0.11 % | 76.52 % | 0.00 % | 23.37 % | 0.82 % | 86.61 % | 0.09 % | 12.48 % | 0.58 % | 71.34 % | 0.01 % | 28.07 % | 0.83 % | 86.03 % | 0.00 % | 13.15 % |
| VI | 0.36 % | 69.76 % | 0.02 % | 29.86 % | 1.95 % | 78.13 % | 0.00 % | 19.93 % | 0.97 % | 68.03 % | 0.02 % | 30.98 % | 1.44 % | 82.67 % | 0.00 % | 15.89 % |
| | MNL- BCML | | | | ML- BCML | | | | BCL- BCML | | | | | | | |
| | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | Prob. Alg | Prob. Bar | Prob. Bil | Prob. Val | | | | |
| I | 4 % | -14 % | 0 % | 10 % | 3 % | -16 % | 0 % | 13 % | 2 % | -4 % | 0 % | 2 % | | | | |
| II | 0 % | -11 % | 0 % | 10 % | 0 % | -18 % | 0 % | 18 % | 2 % | -6 % | 0 % | 3 % | | | | |
| III | 3 % | -12 % | 0 % | 10 % | 3 % | -16 % | 0 % | 13 % | 2 % | -4 % | 0 % | 2 % | | | | |
| IV | -1 % | -14 % | 0 % | 14 % | 2 % | -6 % | 0 % | 4 % | 0 % | -15 % | 0 % | 15 % | | | | |
| V | -1 % | -10 % | 0 % | 10 % | 0 % | 1 % | 0 % | -1 % | 0 % | -15 % | 0 % | 15 % | | | | |
| VI | -1 % | -13 % | 0 % | 14 % | 1 % | -5 % | 0 % | 4 % | 0 % | -15 % | 0 % | 15 % | | | | |

† I : Madrid - EE.UU

II : Madrid - China

III : Madrid - Brasil

IV : Zaragoza - EE.UU

V : Zaragoza - China

VI : Zaragoza - Brasil

4.8. Conclusiones

En este capítulo se ha estudiado la importancia de considerar heterogeneidad en las preferencias de los decisores así como una influencia no lineal de los atributos en la utilidad portuaria. Son hipótesis que se antojan acordes con la realidad portuaria y que en la práctica habitual no se incluyen en los modelos. Los hallazgos expuestos revelan que tenerlas en consideración conlleva un mejor ajuste de los modelos y permite mejorar las predicciones arrojadas por los modelos.

Se calibraron y validaron cuatro modelos con las variables que en el Capítulo 3 resultaron significativas para explicar el comportamiento de la elección portuaria. En primer lugar, un modelo MNL que a pesar de asumir suposiciones demasiado restrictivas para estudiar la elección portuaria, sigue siendo el modelo más utilizado. En segundo lugar, un modelo ML con una especificación de coeficientes aleatorios que supera las limitaciones del MNL. A continuación, un modelo BCL que permitió comprobar la existencia de una influencia no lineal de las variables en la utilidad portuaria. Esto es importante porque se podría llegar a asumir erróneamente una heterogeneidad en las preferencias entre los decisores cuando realmente se debe interpretar como una variación sistemática entre situaciones de elección (no linealidad). Por último, un modelo BCML que aprovecha las ventajas de los dos modelos anteriores y permite usar una especificación no lineal con coeficientes aleatorios.

Se vio como los parámetros estimados por los cuatro modelos tenían el signo correcto y eran estadísticamente significativos. También se validaron los modelos y se concluyó que ninguno de ellos está sobre-especificado y que todos producían predicciones consistentes con los datos. Aunque las diferencias son modestas en términos de ajuste de ρ^2 y $\bar{\rho}^2$, el menor valor de log-verosimilitud se obtiene por el modelo BCML. El modelo BCML también tiene el menor *AIC* y *BIC*. Esto demuestra que tener en cuenta tanto la heterogeneidad en las preferencias (coeficientes aleatorios) como la variación sistemática entre las situaciones de elección (no linealidad) supone un ajuste significativamente mejor a los datos empleados para estudiar la elección portuaria.

Una implicación de los resultados, especialmente para los analistas encargados de modelar la elección portuaria, es que se debe prestar más atención a la posibilidad de que exista heterogeneidad en las preferencias de los decisores y a la influencia no lineal de los atributos. El análisis de escenarios ha demostrado que el uso de modelos con estructuras más avanzadas (BCML) frente a otros enfoques más básicos puede llegar a diferencias porcentuales que alcanzan el 15%.

Futuras líneas de investigación en este campo deberían enfocarse a capturar la heterogeneidad de las preferencias de todos los agentes decisores implicados. El modelo de clase latente (véase por ejemplo McFadden, 1986) es una opción a valorar.

5

Conclusiones y líneas abiertas para futuras investigaciones

Aunque en cada uno de los capítulos de esta tesis se presenta un apartado con las conclusiones correspondientes al contenido expuesto en cada uno de ellos, a continuación se realiza un resumen de las principales conclusiones que pueden extraerse de esta investigación.

5.1. Conclusiones

En el Capítulo 2 se desarrolló una metodología tanto gráfica como analítica para delimitar, caracterizar y analizar la evolución del *hinterland* de los puertos en estudio. El objetivo era establecer la existencia de competencia interportuaria por los envíos de *hinterland*. Para ello, la metodología evalúa dos cuestiones relevantes y complementarias en la configuración del *hinterland* portuario: su extensión geográfica y la concentración espacial de la generación de tráfico. Analíticamente se usaron dos índices espaciales: uno para cuantificar la extensión de su *hinterland* y otro para reflejar el grado de concentración en la generación del tráfico. Gráficamente, para visualizar el alcance geográfico, se superpuso el origen del tráfico del puerto en estudio (*hinterland real*) sobre el área total que genera el tráfico marítimo (*hinterland potencial*). Por otro lado, para ver el grado de concentración de la generación interior del tráfico marítimo, se realizaron mapas de coropletas que reflejaban la proporción de tráfico marítimo generado por cada unidad espacial sobre el total. Esta metodología no solamente permitió evaluar la evolución del desarrollo espacial de un puerto a lo largo del tiempo, sino también

comparar la evolución del liderazgo de una serie de puertos competidores. El interés del uso de la metodología propuesta se constató mediante la aplicación a los principales puertos españoles de contenedores. La principal evidencia empírica hallada fue que el *hinterland* del puerto de Valencia experimentó un desarrollo más extenso y mejor equilibrado que el resto de puertos durante el período analizado.

El objetivo del Capítulo 3 fue analizar cómo el grado de uso de las instalaciones portuarias puede influir en la elección portuaria en el marco de la competencia interportuaria. Se definió un indicador del grado de uso en base al tráfico de contenedores movidos por las grúas pórtico de descarga de contenedores a pie de muelle (STS). Este nuevo atributo se dividió en categorías, que se introdujeron en el modelo como variables dicotómicas. Para poner a prueba la hipótesis de trabajo se estimó en un modelo MNL cuya especificación incluía la distancia en origen, la distancia a destino, el número de grúas pórtico STS disponibles en el puerto y el grado de uso de las instalaciones portuarias. Se confirmó que todos los factores analizados eran relevantes en la elección del puerto (todos son estadísticamente significativos y presentan el signo esperado). En cuanto a cómo el grado de uso de las instalaciones portuarias afecta a la elección de puerto, los coeficientes estimados confirmaron la hipótesis de que cuanto más tráfico tiene un puerto, más atractivo resulta debido a las economías de aglomeración, escala y efectos de red, pero hay un umbral de saturación más allá del cual el atractivo del puerto disminuye. Se vio que, aunque implicaba un aumento del coste computacional, el umbral podía ser localizado con mayor precisión aumentando el número de categorías en las que se dividía el indicador de grado de uso. El caso de estudio analizó las exportaciones en contenedor que se canalizan a través de los principales puertos españoles peninsulares de contenedores. El valor del umbral obtenido para el caso de estudio está entorno a los 125000 TEUs/grúa, valor cercano al valor promedio observado para el indicador de productividad portuaria tanto en terminales de contenedores españolas como internacionales.

En el Capítulo 4 se estudió la necesidad de considerar la existencia de un comportamiento heterogéneo entre todos los agentes decisores así como una influencia no lineal de los atributos en la elección. Se propuso el uso de modelos flexibles que permitieran considerar heterogeneidad en las preferencias mediante el uso de coeficientes aleatorios y el uso de la transformada Box-Cox para obtener la forma funcional de la influencia no lineal de los atributos sin necesidad de establecerla a priori. Se estimaron, por máxima verosimilitud cuatro modelos diferentes: un modelo poco flexible (logit multinomial), un modelo logit mixto con coeficientes aleatorios que permitía considerar preferencias heterogéneas, un modelo logit Box-Cox con transformaciones Box-Cox en los atributos y un modelo logit mixto Box-Cox (BCML) que combinaba ambas. Los atributos considerados son los mismos que en el Capítulo 3. Los cuatro modelos

fueron validados verificando que no estaban sobre-especificados y que arrojaban predicciones consistentes con los datos. La log-verosimilitud más baja y el mejor ajuste en términos de los índices de bondad de ajuste ρ^2 y $\bar{\rho}^2$ se obtuvo para el modelo BCML. El modelo BCML también tuvo el AIC y el BIC más bajo. Para el caso de estudio, tener en cuenta tanto la heterogeneidad en las preferencias como la influencia no lineal de los atributos conllevó un mejor ajuste de los modelos. También se estudió la precisión de las capacidades predictivas de los cuatro modelos. Se plantearon seis escenarios hipotéticos diferenciados a nivel de envío y se compararon las diferentes capacidades predictivas ante un cambio en el indicador de grado de uso de las instalaciones portuarias. Se constató, en el caso más desfavorable, que el empleo del modelo propuesto supone diferencias en las predicciones de cuota de elección de algunos puertos entre el 14% y el 18%, con respecto a otros modelos que no incluyen alguna o ninguna de las dos características. Por ello, se concluyó que era recomendable considerar en los modelos de elección discreta aplicados a la elección portuaria tanto la heterogeneidad de preferencias como la influencia no lineal de las variables explicativas.

A la vista de las conclusiones anteriores, se puede decir que los objetivos específicos que se recogían en la introducción (Sección 1.2) se han alcanzado. Con respecto al primero, no solamente se ha establecido la existencia de competencia interportuaria por los envíos de *hinterland* de un conjunto de puertos, sino que se ha caracterizado, delimitado y analizado su *hinterland* portuario y, además, que se ha desarrollado una metodología gráfica y analítica que permite realizar comparaciones entre ellos. En relación con el segundo objetivo, se estudió la influencia del grado de saturación de las instalaciones portuarias en la elección portuaria. En cuanto al tercero de los objetivos, se ha demostrado que los modelos que consideran heterogeneidad aleatoria en las preferencias e influencia no lineal de las variables permiten explicar mejor las elecciones realizadas y pueden conducir a diferencias significativas en la prognosis.

Finalmente, se puede concluir que el *hinterland* sigue jugando un papel importante para el análisis de la competencia portuaria y que los modelos con estructuras más avanzadas tienen el potencial de conducir a un mejor rendimiento que los enfoques más básicos. La investigación está particularizada para el análisis de la competencia interportuaria de los principales puertos españoles peninsulares de contenedores pero es lo suficientemente general para ser aplicada a otros contextos geográficos.

Pero evidentemente, esta investigación está sujeta a una serie de limitaciones. La principal deriva de las bases de datos utilizadas. El hecho de que no se puedan relacionar entre sí, impide considerar las características de las empresas que realizan las exportaciones o importaciones, por lo que no se ha podido analizar la influencia de características individuales de la empresa, esto hace especialmente atractiva la utilización de heterogeneidad aleatoria en las preferencias. Tampoco

es posible tener en cuenta correlación entre observaciones.

Los puertos se enfrentan a circunstancias económicas y logísticas que cambian constantemente, y tienen un gran impacto sobre la actividad portuaria. La comunidad portuaria, y las autoridades portuarias en particular, tienen que evaluar constantemente sus objetivos y adaptar sus estrategias para lograr una ventaja que posicione a su puerto frente a sus competidores. Así, una vez finalizada la investigación de esta tesis, queda a disposición de los técnicos encargados de la planificación portuaria dos valiosas herramientas para la toma de decisiones y el diseño de políticas en el marco de la competencia interportuaria: una metodología que permite caracterizar, delimitar y analizar la evolución del *hinterland* portuario y un modelo econométrico validado para analizar la elección portuaria.

5.2. Líneas de investigación futuras

A partir del trabajo realizado en esta tesis, quedan abiertas diferentes líneas de investigación. Muchas ya se han ido describiendo a lo largo del texto. Se recapitulan a continuación las más destacadas:

- Extender la metodología a otros ámbitos geográficos, así como analizar otros posibles indicadores de grado de uso.
- Delimitación del *hinterland* a nivel de los mercados locales de empleo.

Un mercado local de empleo (LLM, *local labor market*) es una región funcional resultado de la unión de varios municipios y que constituye una comunidad única de empresas y personas. Cabe esperar que una acotación más precisa del espacio en el que se generan los flujos de tráfico marítimo permita incluir en los modelos de forma más exacta las variables económicas, sociales, culturales y geográficas vinculadas con el *hinterland*.

- Complementar la base de datos de la investigación con la realización de una encuesta tanto con preferencias reveladas como declaradas.

La modelización con datos mixtos de preferencias reveladas (PR) y preferencias declaradas (PD) es una de las herramientas más potentes en el campo de la elección discreta. Las preferencias declaradas permiten analizar nuevas opciones, establecer rangos de variación adecuados en las variables y evitar la multicolinealidad de los datos. Sin embargo, los resultados de estos estudios pueden no ajustarse a las elecciones reales, que se manifiestan en las PR. La combinación de PR con PD permite obtener buenos estimadores ajustados a la realidad.

- Estudiar las posibilidades de otros modelos para el análisis de la elección portuaria.

Por ejemplo, sería particularmente interesante el modelo de clases latentes (LCM, *Latent Class Model*; Greene y Hensher, 2003). El LCM se basa en la idea de que los individuos pertenecen a diferentes segmentos o clases y cada

clase tiene preferencias idénticas. El LCM añade una segmentación latente de la población; es decir, las clases no son directamente identificables a través de los datos, por lo que se estima la probabilidad de pertenencia a una clase junto con los parámetros que definen cada una de las clases.

Bibliografía

- Anderson, C. M., Opaluch, J. J., y Grigalunas, T. A. (2009). The Demand for Import Services at US Container Ports. *Maritime Economics & Logistics*, 11(2), 156–185. doi: 10.1057/mel.2009.4
- Ben-Akiva, M. E., y Lerman, S. S. (1985). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Bichou, K. (2013). An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking. *Research in Transportation Economics*, 42(1), 28–37. doi: 10.1016/j.retrec.2012.11.009
- Bichou, K., y Gray, R. (2005). A critical review of conventional terminology for classifying seaports. *Transportation Research Part A*, 39, 75–92.
- Bierlaire. (2016). *Estimating choice models with latent variables with PythonBiogeme* (Inf. Téc. n.º TRANSP-OR 160628). Transport and Mobility Laboratory, ENAC, EPFL.
- Bivand, R. (2015). *classInt: Choose Univariate Class Intervals. R package version 0.1-23*. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=classInt>
- Blonigen, B. A., y Wilson, W. W. (2006). International trade, transportation networks, and port choice. En *American Economic Association Annual Meeting*. Retrieved from <http://www.corpsnets.us/docs/PortDevInternalTransport/PortChoice114.pdf>
- Box, G. E. P. (1976). Science and Statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 71(356), 791–799. doi: 10.1080/01621459.1976.10480949
- Box, G. E. P., y Cox, D. R. (1964). An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 26(2), 211–252.
- Cassey, A. J., y Smith, B. O. (2014). Simulating confidence for the Ellison–Glaeser index. *Journal of Urban Economics*, 81, 85–103. doi: 10.1016/j.jue.2014.02.005
- China Ports. (2014). *China Ports Yearbook (In Chinese)*. Shanghai, China: Chinese Port Magazine Publisher.
- Consejo Superior de Cámaras de Comercio. (2014). *Directorio de Empresas Exportadoras e Importadoras (DEEI)*. Retrieved from [2016-03-01]<http://directorio.camaras.org/>
- Cullinane, K., y Wilmsmeier, G. (2011). The Contribution of the Dry Port Concept to the Extension of Port Life Cycles. En J. W. Böse (Ed.), *Handbook of terminal planning* (Vol. 49, pp. 359–379). New York, NY: Springer New York.
- De Jong, G., y Kroes, E. (2014). Discrete Choice Analysis. En *Analytical decision-making methods for evaluating sustainable transport in european corridors* (pp. 121–142). doi: 10.1007/978-3-319-04786-7_8

- Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales. (2014). *Datos Estadísticos de Comercio Exterior (DECE)*. Retrieved from [2016-03-01]http://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/datosabiertos/catalogo/hacienda/datos{}_estadisticos{}_Comercio{}_Exterior.shtml
- DIAN. (2012). *Registro de importación y exportación de la Dirección Nacional de Impuestos y Aduanas Nacionales*. Retrieved from [2016-03-01]<http://www.dian.gov.co/>
- Dirección General del Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2014). *Mapa Nacional Topográfico*. Retrieved from [2016-03-01]<http://www.ign.es/ign/layout/series.do>
- Drewry. (2014). *Container Terminal Capacity and Performance Benchmarks* (Inf. Téc.). London: Shipping Consultants Drewry.
- Ente público Puertos del Estado. (2016). *Estadísticas de tráfico portuario y memorias anuales*. Retrieved from [2016-03-01]<http://www.puertos.es/es-es/estadisticas/Paginas/default.aspx>
- Federal Maritime Commissioners (FMC). (2015). *U.S. Container Port Congestion and Related International Supply Chain Issues: Causes, Consequences and Challenges (An overview of discussions at the FMC port forums)* (Inf. Téc.).
- Feo, M., Espino, R., y García, L. (2011). An stated preference analysis of Spanish freight forwarders modal choice on the south-west Europe Motorway of the Sea. *Transport Policy*, 18(1), 60–67. doi: 10.1016/j.tranpol.2010.05.009
- Ferrari, C., Parola, F., y Gattorna, E. (2011). Measuring the quality of port hinterland accessibility: The Ligurian case. *Transport Policy*, 18(2), 382–391. doi: 10.1016/j.tranpol.2010.11.002
- Fisher, W. D. (1958). On Grouping for Maximum Homogeneity. *Journal of the American Statistical Association*, 53, 789–798.
- Fleming, D. K., y Hayuth, Y. (1994). Spatial characteristics of transportation hubs: centrality and intermediacy. *Journal of Transport Geography*, 2(1), 3–18. doi: 10.1016/0966-6923(94)90030-2
- García-Alonso, L., y Sánchez-Soriano, J. (2009). Port selection from a hinterland perspective. *Maritime Economics & Logistics*, 11(3), 260–269. doi: 10.1057/mel.2009.9
- García-Alonso, L., y Sánchez-Soriano, J. (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. doi: 10.1080/01441640902985983
- Garrow, L. A. (2010). *Discrete Choice Modelling and Air Travel Demand: Theory and Applications*. Ashgate Publishing, Ltd.
- Gaudry, M. J., y Wills, M. J. (1978). Estimating the functional form of travel demand models. *Transportation Research*, 12(4), 257–289.
- González, M. M., y Trujillo, L. (2009). Efficiency Measurement in the Port

- Industry: A Survey of the Empirical Evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, 43(2), 157–192.
- Gouveral, E., Rodrigue, J.-P., y Slack, B. (2012). The divergence of regionalization: the challenges of the mediterranean ports of europe. En *IAME Conference* (pp. 6–8). Taipei.
- Greene, W., y Hensher, D. (2003). A latent class model for discrete choice analysis: contrasts with mixed logit. *Transportation Research Part B*.
- Guerrero, D. (2014). Deep-sea hinterlands: Some empirical evidence of the spatial impact of containerization. *Journal of Transport Geography*, 35, 84–94. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2014.01.010
- Ha, M.-H., Yang, Z., Notteboom, T., Ng, A. K., y Heo, M.-W. (2017). Revisiting port performance measurement: A hybrid multi-stakeholder framework for the modelling of port performance indicators. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 103, 1–16. doi: 10.1016/j.tre.2017.04.008
- Hensher, D. A., y Greene, W. H. (2003). The Mixed Logit model: The state of practice. *Transportation*, 30(2), 133–176.
- Herfindahl, O. C. (1950). Concentration in the Steel Industry. *Columbia University*.
- Hess, S. (2005). *Advanced discrete choice models with applications to transport demand* (Tesis Doctoral). Retrieved from <http://www.cts.cv.ic.ac.uk/documents/theses/HessPhD.pdf>
- Hess, S., Bierlaire, M., y Polak, J. W. (2005). Estimation of value of travel-time savings using mixed logit models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(2-3), 221–236. doi: 10.1016/j.tra.2004.09.007
- Hess, S., Train, K. E., y Polak, J. W. (2006). On the use of a Modified Latin Hypercube Sampling (MLHS) method in the estimation of a Mixed Logit Model for vehicle choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(2), 147–163. doi: 10.1016/j.trb.2004.10.005
- International Association of Ports and Harbors (IAPH). (2015). *World Container Traffic Data 2015*. Retrieved from [2016-01-01]<http://www.iaphworldports.org/iaph/wp-content/uploads/WorldPortTraffic-Data-for-IAPH-using-LL-data2015.pdf>
- International Transport Forum (ITF). (2009). *Port Competition and Hinterland Connections*. Paris: OECD Publishing.
- Jenks, G. F., y Caspall, F. C. (1971). Error on Choroplethic Maps: Definition, Measurement, Reduction. *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2), 217–244.
- Kashiha, M., Thill, J.-C., y Depken, C. A. (2016). Shipping route choice across geographies: Coastal vs. landlocked countries. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 91, 1–14. doi: 10.1016/j.tre.2016.03.012

- Kaupilla, J., Martínez, L., Merk, O., y Benezech, V. (2016). *Capacity to Grow: Transport Infrastructure Needs for Future Trade Growth* (Inf. Téc.). ITF Corporate Partnership Board.
- Lawrence, C., Zhou, J., y Tits, A. (1997). *User's guide for CFSQP version 2.5: A C code for solving (large scale) constrained nonlinear (minimax) optimization problems, generating iterates satisfying all inequality. Technical Report TR-94-16r constraints* (Inf. Téc.). College Park: Institute for Systems Research, University of Maryland.
- Leal, E., Notteboom, T., y Sanchez, R. (2011). The spatial distribution of port activity : theoretical and methodological notes for modelling and research. En T. Notteboom (Ed.), *Current issues in shipping, ports and logistics* (pp. 521–542). Brussels : University Press Antwerp, 2011.
- Malchow, M. B., y Kanafani, A. (2001). A disaggregate analysis of factors influencing port selection. *Maritime Policy & Management*, 28(3), 265–277.
- Martínez Moya, J., y Feo Valero, M. (2016). Port choice in container market: a literature review. *Transport Reviews*, 1–22.
- McFadden, D. (1973). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. En *Frontiers in Econometrics* (pp. 105–142).
- McFadden, D. (1986). The Choice Theory Approach to Market Research. *Marketing Science*, 5(4), 275–297. doi: 10.1287/mksc.5.4.275
- McFadden, D. (2001). Economic choices. Nobel Lecture, December 2000. *The American Economic Review*, 91(3), 351–378.
- McFadden, D. (2002). The Path to Discrete-Choice Models. *ACCESS Magazine. University of California*(20), 2–7.
- McFadden, D., y Train, K. (2000). Mixed MNL models for discrete response. *Journal of Applied Econometrics*, 15(5), 447 – 470.
- Ministerio de Fomento. (2015). *Mapa oficial de carreteras* (49.^a ed.).
- Mohring, H. (1972). Optimization and Scale Economies in Urban Bus Transportation. *The American Economic Review*, 62(4), 591–604.
- Monios, J. (2011). The role of inland terminal development in the hinterland access strategies of Spanish ports. *Research in Transportation Economics*, 33(1), 59–66. doi: 10.1016/j.retrec.2011.08.007
- Monios, J., y Wilmsmeier, G. (2012). Giving a direction to port regionalisation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(10), 1551–1561.
- Monios, J., y Wilmsmeier, G. (2013). The role of intermodal transport in port regionalisation. *Transport Policy*, 30, 161–172.
- Nir, A.-S., Lin, K., y Liang, G.-S. (2003). Port choice behaviour—from the perspective of the shipper. *Maritime Policy & Management*, 30(2), 165–173. doi: 10.1080/0308883032000069262
- Notteboom. (2006). Port regionalization in Antwerp. *Ports are more than piers. De Lloyd, Antwerp*, 307–328.

- Notteboom. (2010). Concentration and the formation of multi-port gateway regions in the European container port system: An update. *Journal of Transport Geography*, 18(4), 567–583. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2010.03.003
- Notteboom, y Rodrigue, J.-P. (2005). Port regionalization: towards a new phase in port development. *Maritime Policy & Management*, 32(3), 297–313.
- Notteboom, y Rodrigue, J.-P. (2007). Re-assessing port-hinterland relationships in the context of global supply chains. *Ports, Cities, and Global Supply Chains*, 51–66.
- Notteboom, T. E. (2006). Traffic inequality in seaport systems revisited. *Journal of Transport Geography*, 14(2), 95–108.
- Nugroho, M. T., Whiteing, A., y de Jong, G. (2016). Port and inland mode choice from the exporters' and forwarders' perspectives: Case study — Java, Indonesia. *Research in Transportation Business & Management*. doi: 10.1016/j.rtbm.2016.03.010
- Orro, A. (2005). *Modelos de elección discreta en transportes con coeficientes aleatorios* (Tesis Doctoral, Universidad de A Coruña). Retrieved from http://caminos.udc.es/ferrotrans/orro/documentos/tesis_orro_final.pdf
- Orro, A. (2007). Random and systematic taste heterogeneity : Non-linear versus random coefficient models. En *Oslo Workshop on Valuation Methods in Transport Planning* (pp. 1–16). Oslo.
- Orro, A., Novales, M., y Benitez, F. G. (2005). Nonlinearity and Taste Heterogeneity Influence on Discrete Choice Models Forecasts. En *European transport conference, 2005*.
- Ortúzar, J. d. D. (2001). On the development of the nested logit model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(2), 213–216. doi: 10.1016/S0191-2615(00)00033-3
- Ortúzar, J. d. D., y Willumsen, L. G. (2011). *Modelling Transport* (Fourth ed.). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Paixao Casaca, A., Carvalho, S., y Oliveira, M. (2010). Port choice in the European short sea shipping market: the view of point of port authorities. En *IAME 2010 Annual Conference Proceedings*.
- Pallis, A. A., y Vitsounis, T. K. (2011). Port economics, policy and management: Content classification and survey. *Transport Reviews*, 31(4), 445–471.
- Pallis, A. A., Vitsounis, T. K., y De Langen, P. W. (2010). Port Economics, Policy and Management: Review of an Emerging Research Field. *Transport Reviews*, 30(1), 115–161. doi: 10.1080/01441640902843208
- Parola, F., Risitano, M., Ferretti, M., y Panetti, E. (2016). The drivers of port competitiveness: a critical review. *Transport Reviews*, 1–23.
- PIERS. (s.f.). *Port Import Export Reporting Service (PIERS) database*.
- Rodrigue, J.-P., Debie, J., Fremont, A., y Gouvernal, E. (2010). Functions and

- actors of inland ports: European and North American dynamics. *Journal of Transport Geography*, 18(4), 519–529. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2010.03.008
- Rodrigue, J.-P., y Guan, C. (2009). *Port-hinterland divergence along the North American Eastern Seaboard*.
- Rodrigue, J.-P., y Notteboom. (2006). *Challenges in the Maritime-Land Interface : Port Hinterlands and Regionalization* (Inf. Téc.). Korean Government, Ministry of Maritime Affairs & Fisheries.
- Rodrigue, J.-P., y Notteboom. (2010). Foreland-based regionalization: Integrating intermediate hubs with port hinterlands. *Research in Transportation Economics*, 27(1), 19–29.
- Roso, V., y Lumsden, K. (2010). A review of dry ports. *Maritime Economics & Logistics*, 12(2), 196–213. doi: 10.1057/mel.2010.5
- Roso, V., Woxenius, J., y Lumsden, K. (2009). The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland. *Journal of Transport Geography*, 17(5), 338–345. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2008.10.008
- SBC, y McValnera. (2014). *Estudio de costes de paso de contenedor por terminales*.
- SeaRates. (2015). *Freight Exchange platform*. Retrieved from [2016-03-01]www.searates.com
- Slack, B. (1985). Containerization, inter-port competition, and port selection. *Maritime Policy & Management*, 12(4), 293–303. doi: 10.1080/03088838500000043
- Steven, A. B., y Corsi, T. M. (2012). Choosing a port: An analysis of containerized imports into the US. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(4), 881–895.
- Tavasszy, L., Minderhoud, M., Perrin, J.-F., y Notteboom, T. (2011). A strategic network choice model for global container flows: specification, estimation and application. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1163–1172. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2011.05.005
- Tiwari, P., Itoh, H., y Doi, M. (2003). Shippers' Port and Carrier Selection Behaviour in China: A Discrete Choice Analysis. *Maritime Economics & Logistics*, 5(1), 23–39. doi: 10.1057/palgrave.mel.9100062
- Tongzon, J. L., y Sawant, L. (2007). Port choice in a competitive environment: from the shipping lines' perspective. *Applied Economics*, 39(4), 477–492. doi: 10.1080/00036840500438871
- Tovar, B., Jara-Díaz, S., y Trujillo, L. (2003). *Production and cost functions and their application to the port sector : a literature survey* (n.º 3123). Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/635851468778198532/Production-and-cost-functions-and-their-application-to-the-port-sector-a-literature-survey>
- Tovar, B., Jara-Díaz, S., y Trujillo, L. (2007). Econometric estimation of scale

- and scope economies within the Port Sector: a review. *Maritime Policy & Management*, 34(3), 203–223. doi: 10.1080/03088830701342932
- Train, K. (2009). *Discrete choice methods with simulation* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Train, K., y Sonnier, G. (2003). *Applications of Simulation Methods in Environmental and Resource Economics*. Berkeley.
- UNCTAD. (2015). *Review of Maritime Transport*.
- Van den Berg, R., y De Langen, P. W. (2011). Hinterland strategies of port authorities: A case study of the port of Barcelona. *Research in Transportation Economics*, 33(1), 6–14. doi: 10.1016/j.retrec.2011.08.002
- Vega, L. A., Cantillo, V. M., y Arellana, J. A. (2014). *Modelación de la elección de puerto desde una perspectiva desagregada: un análisis para los puertos colombianos*. Santander: XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística (PANAM 2014).
- Veldman, S., Garcia-Alonso, L., y Liu, M. (2015). Testing port choice models using physical and monetary data: a comparative case study for the Spanish container trades. *Maritime Policy & Management*, 1–14.
- Veldman, S., Garcia-Alonso, L., y Vallejo-Pinto, J. Á. (2011). Determinants of container port choice in Spain. *Maritime Policy & Management*, 38(5), 509–522. doi: 10.1080/03088839.2011.597450
- Veldman, S., Garcia-Alonso, L., y Vallejo-Pinto, J. A. (2013). A port choice model with logit models: a case study for the Spanish container trade. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 5(4/5), 373.
- Veldman, S., y Gopkalo, O. (2011). A Model on Port Basin Choice with Russian Container Trade. *Proceedings of the International Forum on Shipping, Ports and Airports (IFSPA) 2010*.
- Veldman, S. J., y Bückmann, E. H. (2003). A Model on Container Port Competition: An Application for the West European Container Hub-Ports. *Maritime Economics & Logistics Logistics*, 5(1), 3–22.
- Veldman, S. J., Bückmann, E. H., y Saitua, R. N. (2005). River Depth and Container Port Market Shares: The Impact of Deepening the Scheldt River on the West European Container Hub-Port Market Shares. *Maritime Economics & Logistics Logistics*, 7(4), 336–355. doi: 10.1057/palgrave.mel.9100142
- Wilmsmeier, G., Monios, J., y Lambert, B. (2011). The directional development of intermodal freight corridors in relation to inland terminals. *Journal of Transport Geography*, 19(6), 1379–1386. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2011.07.010
- Wilmsmeier, G., Tovar, B., y Sanchez, R. J. (2013). The evolution of container terminal productivity and efficiency under changing economic environments. *Research in Transportation Business and Management*, 8, 50–66.

- Witte, P., Wiegmans, B., van Oort, F., y Spit, T. (2014). Governing inland ports: A multi-dimensional approach to addressing inland port-city challenges in European transport corridors. *Journal of Transport Geography*, 36, 42–52. doi: 10.1016/j.jtrangeo.2014.02.011
- Woo, S.-H., Pettit, S. J., Kwak, D.-W., y Beresford, A. K. (2011). Seaport research: A structured literature review on methodological issues since the 1980s. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(7), 667–685. doi: 10.1016/j.tra.2011.04.014
- Yang, J., Wang, G. W., y Li, K. X. (2016). Port choice strategies for container carriers in China: a case study of the Bohai Bay Rim port cluster. *International Journal of Shipping and Transport Logistics*, 8(2), 129.
- Yap, W. Y., y Lam, J. S. (2006). Competition dynamics between container ports in East Asia. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(1), 35–51. doi: 10.1016/j.tra.2005.03.001
- Yeo, G.-T. G., Ng, A. K. A., Lee, P. T.-W. P., y Yang, Z. (2014). Modelling port choice in an uncertain environment. *Maritime Policy & Management*, 41(3), 251–267. doi: 10.1080/03088839.2013.839515